

1MHz 헬리컬 ECR장치를 이용한 무선전력전송 모듈 개발

양해열, 임성진, 김성완, 박재현, 김창선
 목포대학교 전기공학과

The Development of 1MHz wireless power transmission module using Helical ECR device

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

ABSTRACT

The wireless power transfer system using electromagnetic resonance is consists of PFC circuit, LLC resonant converter, high frequency DC AC inverter and ECR devices for wirelessly transmitting the power. The output voltage of the module with free input voltage is 1MHz, 230V_p. As a experimental result, the wireless power transmission is confirmed and it is varified the validity of the experiment.

역률개선회로는 입력전류를 고주파로 CHOPPING 하여 입력전류가 입력전압과 동상의 정현파의 교류전류가 되도록 변환하여 역률이 "1"에 가깝게 하는 동작을 하며 승압용 인덕터, 스위칭 소자 (FET), 정류 다이오드, 필터용 커패시터로 구성된다.

PFC 회로는 AC 110 ~ 220V ±20%의 교류를 공급받아 브리지 다이오드로 전파 정류한 전원을 부스트 컨버터 방식의 역률 보상회로(스위칭주파수 65KHz)에 의해 고역률을 유지하며 직류 출력 (DC 385V)을 만든다. 이때의 역률은 정격출력에서 95%이상의 고역률을 만드는데 있다.

1. 서론

자기공진형 무선전력전송 시스템에 있어 역률 보정을 위한 PFC와 안정적인 전원 공급을 위한 DC LINK 컨버터와 DC를 고효율 AC로 변환시켜주는 인버터, 무선전력전송을 하기위한 ECR장치가 필요하다. 본 논문에서는 PFC의 출력 380V를 입력으로 하는 DC LINK 컨버터에서 출력으로 나오는 96V를 입력으로 하는 약 1MHz에서 동작하는 고주파 인버터와 헬리컬 타입의 ECR 장치를 설계하여 무선전력전송이 되는 것을 확인하였다.

2.2 LLC 하프 브리지 공진형 컨버터

역률 보상회로의 380V를 Class ϕ_2 고주파 인버터 회로에 맞는 96V로 안정적으로 공급해주기 위해 전력변환 컨버터가 필요하다. 컨버터의 중점 사항중 하나는 전력 밀도의 증가라고 할수 있다. 그림 1.3의 LLC 하프 브리지 공진형 컨버터는 모든 필수 기생 요소를 이용하여 ZVS(영전압 스위칭) 영역에서 동작이 가능하며, 무부하에서도 ZVS가 가능하다. 스위칭 주파수가 높아질수록 야기되는 주 스위칭 소자의 스위칭 손실 (Switching loss)를 감소시켜 효율을 높일 수 있다.

2. 고주파 공진형 인버터 모듈

2.1 PFC 회로 및 정류부

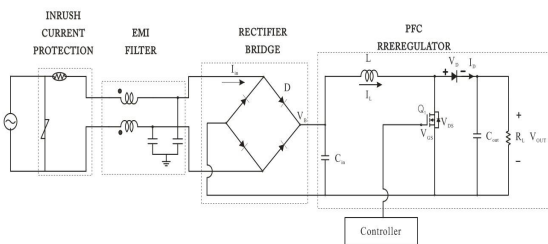


그림 1 PFC 블록도
 Fig. 1 PFC Block diagram

PFC 회로는 AC 90V ~ 264V 교류 전원을 공급받아 정격 출력 385V/0.4A를 출력되도록 설계 되었으며 돌입 전류 방지 회로, EMI 필터 회로, AC 정류회로, 역률 보상 회로와 보조 출력 회로로 구성되었다. 돌입전류 방지회로는 입력 스위치를 ON하는 순간에 큰 입력전류가 흐르므로 이 전류를 제한하는 회로이다. 커패시터 입력 방식의 정류 회로에서는 커패시터의 충전전류가 최대치의 형태로 흘러 역률 저하의 원인이 된다.

2.3 무선전력전송용 Class ϕ_2 인버터

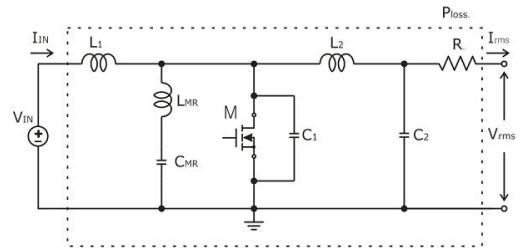


그림 2 무선전력전송 용 Class ϕ_2 인버터
 Fig. 2 Class ϕ_2 inverter for wireless power transfer

Class ϕ_2 인버터의 특성을 그대로 유지하면서, 헬리컬 타입의 ECR 장치로의 무선전력전송을 위해 그림 2와 같이 출력 측의 회로를 변경하였다. 인버터의 출력단은 ECR 장치의 소스 코일과 연결 된다. Class ϕ_2 인버터의 설계사양으로는 스위칭 주파수 $f_s = 1\text{MHz}$, 입력전압 $V_{IN} = 96\text{V}$ 로 설계하였으며, 이때의 출력전압 $V_{out} = 239\text{V}$ 이다. 이때의 인버터의 입·출력 효율은 72.4% 이다. 표 1에는 1.23MHz에서 동작하기 위한 Class

Φ_2 인버터의 소자값을 제시하였다.

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

Part	Value
R_I [Ω]	4 [Ω]
L_1 [μH]	3.5 [μH]
L_2 [μH]	8.2 [μH]
L_{MR} [μH]	12 [μH]
C_1 [pF]	600 [pF]
C_2 [nF]	2 [nF]
C_{MR} [pF]	300 [pF]

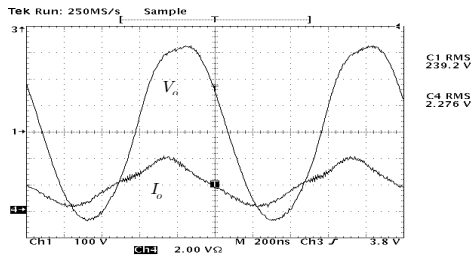


그림 3 $V_o(100V/div), I_o(2A/div)$ 실험파형
Fig. 3 Experimental waveforms of V_o and I_o

3. 헬리컬 공진 코일

3.1 헬리컬 공진 코일 설계 및 실험

무선전력전송을 위하여 헬리컬 타입의 송·수신 코일의 설계와 더불어 ECR 장치의 공진주파수를 인버터의 출력 주파수인 1MHz에 근접하게 설계해야 한다. 소스코일에는 약 $f_s=1MHz$ 인버터 출력이 인가되며, 그에 따라 ECR 장치의 설계가 필요하다.

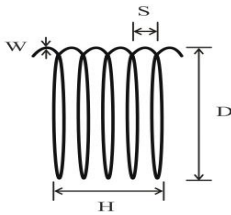


그림 4 헬리컬 코일 구성도
Fig. 4 Configuration of the Helical coil

$$L(nH) = \frac{D^2 N^2}{0.45D + H} \quad (1)$$

$$C(pF) = \frac{De_r}{11.45 \cosh^{-1}[(N-1)(S-W)/W]} \quad (2)$$

$$R_{ac}(\Omega) = \sqrt{\frac{\mu_0 \omega_A}{2\sigma}} \frac{l}{4\pi W} \quad (3)$$

Diameter(D) : 헬리컬 코일의 전체 반경, 단위 mm
Height(H) : 헬리컬 코일의 전체 길이, 단위 mm
Wire diameter(W) : 헬리컬 코일의 두께, 단위 mm
Turn spacing(S) : 코일과 코일사이의 거리, 단위 mm
Number of turns(N) : 코일의 감은 횟수
Dielectric constant(ϵ_r) : 유전상수

Permeability in vacuum(μ_0) : 진공에서의 투자율
Angular frequency(ω_A) : 각 주파수
Conductivity of the conductor(σ) : 도체의 도전율
Length of the coil(l) : 도선의 전체 길이
Resonant frequency(f_R) : 공진 주파수



그림 5 무선전력전송 ECR 장치(60W 전구 점등)
Fig. 5 ECR device for wireless power transfer(60W light-bulb)

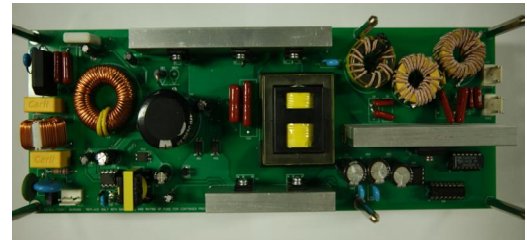


그림 6 고주파 인버터 모듈
Fig. 6 High frequency inverter module

4. 결론

본 논문에서의 PFC와 LLC를 사용한 무선전력전송용 1MHz 공진형 고주파 인버터모듈과 헬리컬 타입의 ECR 장치를 설계하였다. 실험결과 160cm 거리에서 60W 백열전구를 점등시켜 인버터모듈과 1MHz 헬리컬 ECR 장치의 설계에 대한 타당성을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Philip C. Todd, "UC3854 Controlled Power Factor Correction Circuit Design," Application note U 134, Unitrode Corporation.
- [2] Hee Jun Kim, Chang Sun Kim, Jonh Hwa Won, Yoon Hyeo Kim, "The development of zero voltage switching multi resonant converter for 8mm camcorder", JTC CSCC Vol.1, pp.201-206, July, 1994.
- [3] Otiner Kilgenstein, "Switched mode power supplies in practice," John Wiley & Sons, Inc., 1989.
- [4] "High Power Inverter EMI characterization and Improvement Using Auxiliary Resonant Snubber Inverter" December 17, 1998 Blacksburg, Virginia.
- [5] Yaroslav Urzhumov, David R. Smith, "Metamaterial Enhanced Coupling between Magnetic Dipoles for Efficient Wireless Power Transfer", pp. 1-23, 16. Feb. 2011