

균일한 자기장을 갖는 무선마우스 급전패드 및 리시버 설계

노은총, 이재홍, 길태익, 전우진, 김지환, 이승환
 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부

Design of Free-Positioning Transmitter and Receiver Coils for A Wireless Mouse

Eunchong Noh, Jaehong Lee, Taeik Gil, Woojin Jeon, Jihwan Kim, and Seung-Hwan Lee
 School of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul

ABSTRACT

이 논문은 무선 전력 전송을 이용하는 마우스의 급전 패드와 리시버 설계 방법을 제안한다. 마우스의 급전 패드는 코일의 턴간 간격을 불균등하게 조절하여 균일한 자기장을 급전 패드 상에서 얻게 하며, 집전코일은 급전코일과 비교해 크기가 작기 때문에 낮은 결합계수와 품질계수를 가져 원하는 전압을 얻기 어려운데 이를 위해 PCB 코일을 멀티레이어로 제작하고 PCB 패턴의 폭을 조절하여 높은 인덕턴스를 갖게 설계한 후 유한요소해석을 통해 설계한 시스템을 시험했다.

1. 서론

일반적으로 무선 전력 전송 시스템은 급전 측과 집전 측의 코일 중심이 일치해야 하며 그러지 않을 경우 결합 계수에 변화가 생겨 무선 전력 전송에 의도치 않은 변화를 야기한다. 특히, 무선 전력 전송 기술을 컴퓨터 입력 장치인 마우스에 적용할 경우 사용 중 위치가 계속해서 변하기 때문에 무선 전력 전송 시스템의 이러한 특성은 치명적이다.

이를 해결하기 위해 본 논문에서는 급전 영역내에서 일정한 자기장을 발생시켜 수신 코일의 위치가 변화하여도 일정한 결합 계수를 가질 수 있는 급전코일을 제안한다. 또한 낮은 결합 계수를 갖게 되는 넓은 급전코일과 작은 집전코일을 갖는 시스템에서의 무선 전력 전송을 위한 리시버 설계를 제안한다.

2. 제안하는 무선 전력 전송 마우스 시스템

2.1 제안하는 시스템 구조

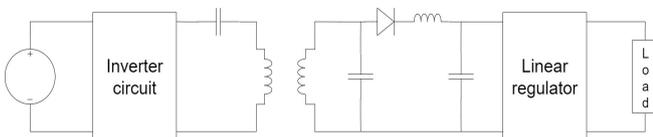


그림 1. 제안하는 시스템 구조

제안하는 시스템 구조는 그림 1과 같다. 컴퓨터의 USB 포트에서 나오는 DC 5V의 전원을 300 kHz의 AC 전압으로 바꾸주는 Half-bridge 인버터 회로, 직렬-병렬(SP) 공진 튜닝된 무선 전력 전송 급전 코일들, 집전코일에 유도된 AC 전압을 DC 전원으로 바꾸주는 Half-wave 정류기와 DC

전원이 원하는 1.5V의 일정한 전압으로 출력되게 하기 위한 리니어 레귤레이터 회로로 구성되어 있다.

2.2 균일한 자기장을 갖는 급전코일

마우스에 부착된 집전 코일의 위치 변화에도 일정한 결합 계수를 얻기 위해서는 급전 패드가 발생시키는 자기장 분포가 전 영역에서 일정해야 한다. 일정한 자기장 분포를 가지기 위해서는 코일의 턴간 간격을 불균등하게 조절하는 방법^[1]과 여러 개의 코일을 다른 위치에 배치하는 방법^[2]이 존재한다. 이 논문에서는 그림 2와 같이 코일의 턴간 간격을 조절하는 방법을 적용해 일정한 자기장 분포를 가진 급전패드를 PCB로 구현하였다.

2.3. 높은 인덕턴스를 가지는 집전코일

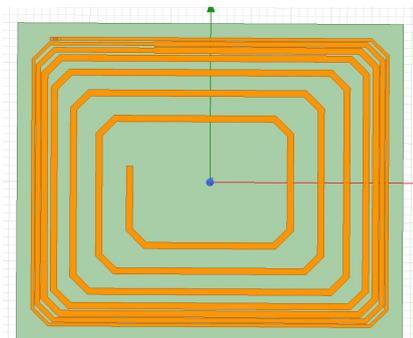


그림 2. 제안하는 PCB 급전코일 구조

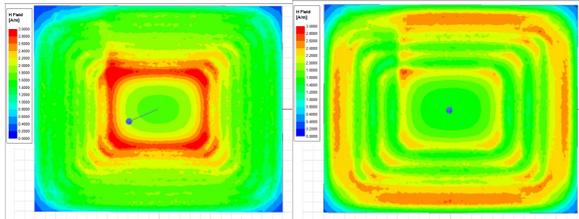
PCB를 이용하여 코일을 만드는 경우 제작단가가 낮아지는 장점이 있으나 리츠와이어 대비 높은 저항을 갖게 되는 단점이 존재한다. 코일의 저항이 높을 경우 낮은 품질계수를 얻게 되어 설계전압보다 낮은 전압이 유도되게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 PCB 코일을 리츠와이어의 구조를 모방한 형태로 병렬 멀티 레이어로 구성하여 만들 경우 근접 효과 (proximity effect) 를 감소시켜 낮은 저항을 얻을 수 있으나^[3] 복잡도가 상승해 제작단가가 높아지는 단점이 있으며, DC 저항만큼 저항을 감소시킨다 하더라도 집전코일 자체의 크기가 작기 때문에 높은 품질계수를 기대할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 코일을 직렬 멀티 레이어로 구성하여 높은 인덕턴스를 얻게 하여^[4] 설계전압 자체를 높이는 방식으로 원하는 전압이 유도되도록 하였다.

3. 시뮬레이션

3.1 코일 시뮬레이션

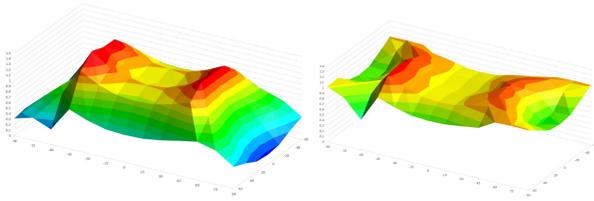
3.1.1 급전코일



(a) 일반 사각 코일 (b) 제안하는 코일
그림 3. 급전코일 자기장 분포 시뮬레이션

그림 3은 유한요소해석 소프트웨어인 ANSYS HFSS를 이용하여 급전코일의 자기장 분포를 시뮬레이션 한 것이다. 그림 3의 (a)는 턴간 간격이 일정한 일반적인 코일의 자기장 분포이며 (b)는 제안하는 코일의 자기장 분포이다.

수신 코일의 위치에 따른 결합계수의 변화를 측정하기 위해 집전코일에 채교하는 자기장을 면적분 하여 위치에 따른 결합계수를 구하였다. 그림 4는 정 중앙의 값을 1로 보았을 때의 위치에 따른 상대적인 결합계수를 나타낸 것이다. 좌측은 턴간 간격이 일정한 일반적인 코일의 경우이고 우측은 제안하는 코일의 경우이다.



(a) 일반 사각 코일 (b) 제안하는 코일
그림 4 집전코일 위치에 따른 결합계수

3.1.2 집전코일

표 1. PCB 패턴 폭에 따른 품질계수 변화

폭(mm)	$L_{rx}(\mu H)$	$R_{rx}(\Omega)$	결합계수	품질계수
1mm	7.701	2.607	0.02553	5.8577
0.8mm	11.443	2.295	0.02714	8.2666
0.6mm	12.855	2.262	0.02858	9.8490
0.4mm	14.579	2.351	0.03011	11.1530
0.3mm	15.456	2.493	0.03000	11.4074
0.2mm	16.181	2.993	0.03085	10.0648

3.5 turn, $f=300kHz$, 4 layer 2oz 1 2 mm X 5 0 mm PCB

일반적으로 코일의 지름이 커질수록 인덕턴스는 증가하며 PCB 패턴의 폭이 증가할수록 저항은 감소하게 된다. 그러나 PCB 패턴의 폭을 일정 이상 증가시키면 안쪽 턴의 코일의 지름이 감소하여 인덕턴스는 낮아지며 코일 중앙부의 자기장과 채교 하게 되어 저항은 커지게 되므로 품질계수는 오히려 낮아지게 된다. 이러한 이유로 먼저 PCB를 직렬 멀티 레이어로 구성하여 높은 인덕턴스를 얻고, 가장 높은 품질계수를 갖는 최적의 PCB 패턴 폭을 찾기 위해 코일의 가장 바깥 반지름은 고정된 채 패턴 폭만 변화시켜가며 집전코일의 인덕턴스와 저항을 시뮬레이션 하였다.

표 1을 보면 PCB 패턴의 폭이 0.6mm까지는 패턴의 폭을 줄여도 오히려 저항이 감소하며 0.3mm까지는 저항은 증가하나 인덕턴스가 증가하여 품질계수는 증가하게 된다. 또한 패턴의 폭을 감소시키면 안쪽 코일의 지름이 커지기 때문에 결합계수 또한 증가하게 된다.

4. 결론

급전코일의 턴간 간격을 불균등하게 조절할 경우 턴간 간격이 균일한 경우보다 균등한 자기장 분포를 얻을 수 있으며 이러한 급전코일 상에서는 집전코일의 위치를 변화시켜도 일정한 결합계수를 얻어 무선 전력 전송의 위치자유도가 높아지게 된다. 또한 PCB 코일의 폭을 조절하여 더 높은 품질계수와 높은 결합계수를 갖는 코일을 제작할 경우 무선 전력 전송 마우스의 성능을 향상시킬 수 있었다.

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 - 현장 맞춤형 이공계 인재 양성 지원 사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2017H1D8A1030582).

참고 문헌

- [1] Joaquin J. Casanova, "Transmitting Coil Achieving Uniform Magnetic Field Distribution for Planar Wireless Power Transfer System", IEEE Radio and Wireless Symposium, pp. 530-553, San Diego, CA, USA, 2009.
- [2] Eberhard Waffenschmidt, "Free positioning for inductive wireless power system", IEEE Energy Conversion Congress and, pp. 3480-3487, Phoenix, AZ, USA, 2011.
- [3] Ignacio Lope, "Design and Implementation of PCB Inductors With Litz-Wire Structure for Conventional-Size Large-Signal Domestic Induction Heating Applications", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 51, No. 3, May/June 2015.
- [4] Ashraf B. Islam, "Design and Optimization of Printed Circuit Board Inductor for Wireless Power Transfer System", SCIRP Circuits and Systems, Vol.4 No.2, April 2013.