
Permalloy 를 이용한 효율적인 무선 전력송신 기술

황재영* · 정연호**

An Effective Wireless Power Transfer Technique using Permalloy

Jae-young Hwang* · Yeon-ho Chung**

요 약

일반적으로 무선(비접촉식) 충전 장치는 Ferrosilicon 혹은 Ferrite 와 같은 코어를 사용하여 충전 효율을 높이고 있다. 본 논문에서는 무선충전 장치에 있어서 투자율이 더 높은 Permalloy 를 이용하여 비접촉방식 충전 효율을 극대화한 무선 전력송신 기술을 제안한다. 기존의 Ferrosilicon 혹은 Ferrite 코어 재료보다 Permalloy 를 이용할 경우 높은 효율의 투자율을 얻을 수 있으며 기존 비접촉식 충전 기술과의 비교 실험을 통해 더 높은 충전 효율과 무선 충전 거리를 확보할 수 있었다. 본 연구에서 개발된 무선 전력송신 기술은 향후 소형 휴대용 충전기에 유용하게 적용할 수 있을 것이다.

ABSTRACT

This paper presents a wireless (contactless) charging technique with a new core material called permalloy. For charging portable devices wirelessly, ferrosilicon or ferrite has been conventionally used. Due to high permeability of permalloy, charging efficiency can be significantly improved and subsequently this high efficiency increases charging distance between charger and portable devices. Comparative experimental studies demonstrate that the charging performance and efficiency with permalloy employed are significantly improved. The proposed wireless charging techniques can be used to charge portable devices efficiently.

키워드

무선충전, 비접촉식 충전, 충전효율, 퍼멀로이

Key word

Wireless charging, Contactless charging, Charging efficiency, Permalloy

* 부경대학교 정보통신공학과

** 부경대학교 정보통신공학과 (교신저자)

접수일자 : 2009. 10. 13

심사완료일자 : 2009. 12. 01

I. 서 론

최근 휴대용 무선기기 사용의 급증으로 효율적인 충전 기술 개발의 필요성이 대두되고 있다. 특히 유선에 의한 전원 공급이 어려운 일부 소규모 공간 및 단순 휴대용 기기의 무선충전을 위한 범용 무선충전 기술 개발에 대한 관심이 고조되고 있다 [1].

기존의 개발된 무선전력 송신 기술은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 초고주파를 이용한 무선전력 전송 방식과 전자기 유도를 이용한 전력 전송 방식으로 나눌 수 있다. 초고주파를 이용한 무선 전력송신 방식의 경우 비교적 먼 거리의 전력송신이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 단점으로는 전력량이 미약하다. 반면에 전자기 유도방식의 경우는 구현이 용이하고 많은 전력을 송신할 수 있는 장점을 가지고 있으나 전력전송 거리가 상대적으로 짧다는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 초고주파 이용을 위한 무선 주파수 사용에 관한 관련 제약 사항을 피하고 단거리 무선전송 기술 구현을 위해 주로 테이프 기록장치용 헤드, 모터 덮개 및 CRT 차폐커버로 사용되는 Permalloy [2] 기반의 전자기 유도 방식을 이용한 효율적인 무선 전력전송 기술을 제안하고자 한다.

일반적으로 전자기 유도방식의 무선전송 기술에 있어서 핵심 부품으로 주로 Ferrosilicon 혹은 Ferrite 을 코어로 사용하고 있다. 이 코어는 투자율의 한계로 전송거리 확보가 어려워 비접촉식 단거리 무선전송에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 코어재료로 사용된 바가 없는 투자율 (Permeability) 과 합금 (Alloy) 이라는 두 단어의 합성어인 Permalloy 코어 재료를 사용하며, 동일한 두께를 사용한 다른 코어보다 높은 투자율을 가지고 있는 장점을 이용하여 무선 충전효율을 극대화하고자 한다.

기존에 개발된 무선전송 기술로는 전자기 유도를 이용하여 개발한 한림포스텍의 무선전송 기술[3] 이 있다. 이 기술은 충전기위에 휴대용 기기를 올려놓는 방식으로서 무선방식이라기 보다는 오히려 무플러그 (plugless) 방식의 기술이며 충전거리는 거의 확보가 되지 않고 있다.

RF 를 이용한 무선전송 기술로는 PowerCast사에서 개발한 기술 [4] 이 대표적이다. 이 기술은 전송 어댑터

로부터 일정 범위에 위치한 수신기에 RF 로 충전하는 방식이다. 일정한 무선전송 거리 확보가 가능하며 전송 효율 또한 우수한 것으로 알려져 있으나 현재로서는 시제품 개발중인 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 전자기 유도방식을 이용하여 Permalloy 를 이용한 보다 효율적인 무선전송 기술 개발을 시도하고자 한다. 2장에서는 핵심 부품인 Permalloy 에 대한 특성 분석을 하였고 3장에서는 개발된 구현 회로를 설명하고 있으며 4장에서는 실험 결과 및 고찰을 제시하였으며 5장에서 결론을 맺었다.

II. Permalloy 의 특성

본 연구에서 무선 충전거리 개선을 위해 핵심적으로 사용한 부품은 Permalloy 로서 무선충전을 위해 필요한 높은 투자율을 가지고 있는 핵심 부품이다. 일반적으로 Permalloy 는 50% 니켈 합금으로 만들어진 Permalloy 와 78% 니켈 합금으로 만들어진 Permalloy 로 구분된다. 본 연구에서는 78% 니켈 합금의 Permalloy 를 사용하였으며 그 자기적 특성은 표 1과 같다.

표 1. Permalloy 의 자기적 특성 (자계강도: 0.4A/m)
Table 1. Magnetic characteristics of Permalloy

최소 투자율 (μi)	최대 투자율 (μm)	자속밀도 Bm(T)	자항력 Hc(A/m)	저항 μΩm
60000	180000	0.65	1.2	Above 0.55

표 1에서 알 수 있듯이 높은 투자율과 낮은 자항력을 가지는 소재로서 무선충전 기술에 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있다. 그리고 표 2 는 78% 니켈 합금의 유효 투자율을 보여주고 있다.

표 2. 유효 투자율 (78% 니켈 합금)
Table 2. Effective permeability of 78% Nickel alloy

두께 (mm)	투자율 (0.3kHz)	투자율 (1kHz)	투자율 (3kHz)
0.10	50000	34000	14500
0.20	27000	16000	-
0.35	15000	8000	

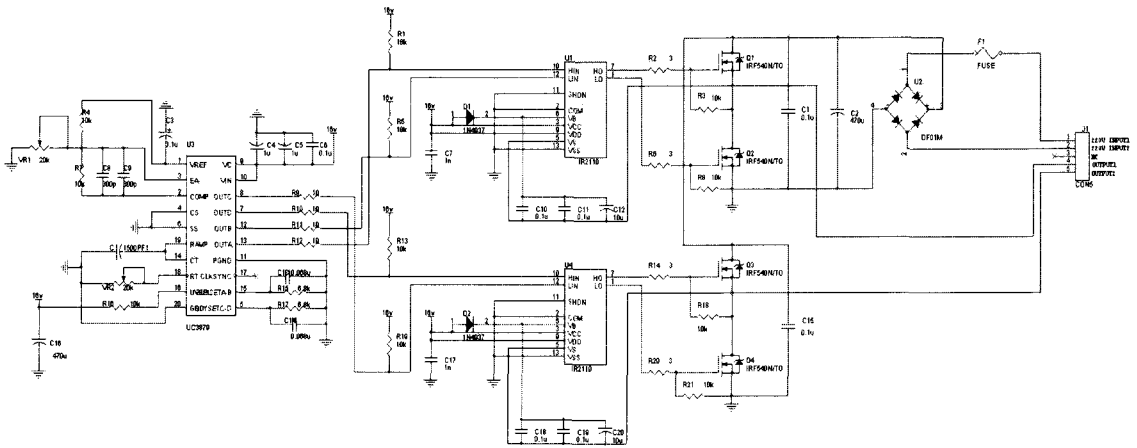


그림 1. 고주파 발생회로
Figure 1. Frequency generator (Basic circuits)

효율적인 무선충전 기술 개발과 충전거리에 관한 비교 분석을 위해 본 연구에서는 Permalloy를 필름 및 판형의 두 가지 형태를 모두 적용하여 실험하였으며 상호 실험 결과를 충전효율 측면에서 비교 분석하였다.

III. 제안기술 회로 구현

1장에서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 전자기 유도 방식을 적용하여 Permalloy를 응용한 효율적인 무선충전 기술을 개발하는 것이다. 전자기 유도 방식은 도체의 주변에서 자기장을 변화시켰을 때 전압이 유도되어 전류가 흐르는 현상을 말하는 것으로 이를 수식으로 나타내면 식 (1) 및 (2)와 같다.

$$\Phi = BA \tag{1}$$

$$\epsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} \tag{2}$$

식 (1)에서 Φ 는 자기 선속 (Weber) 이며 B 는 자기장 (N/Am), A 는 자기장이 지나는 면적 (m²)을 나타낸다. 그리고 식 (2)에서 ϵ 는 유도 기전력 (Volts), $d\Phi/dt$ 는 Φ 의 시간 (sec)에 대한 변화량 (Weber)을 나타낸다. 여기

서 주목해야할 것은 유도되는 자기장의 전달 특성을 개선하기 위하여 상대적으로 효율이 높은 여러 가지 코어가 사용된다.

가장 일반적으로 사용되는 코어 재료로는 페로실리콘 (Ferrosilicon)으로서 연결 자성재료의 일종으로 철에 소량의 규소를 첨가하여 제조한 강판으로 가격이 싸고 여러 자기 특성이 뛰어나 전력기기의 철심에 주로 사용이 되고 있다 [5]. 페로실리콘은 보통 저주파 (수백 Hz)에서 주로 사용이 많이 되고 있는데 일반적인 상용 전원에서 사용이 적합하나 손실이 높다는 단점이 있다.

다른 코어 재료로는 페라이트 (Ferrite)로 900℃ 이하에서 안정한 체심 입방결정 (Body-centered cubic crystal)의 철에 합금원소 또는 분순물이 녹아서 만들어진 고융체이다. 고주파 (수십 KHz 이상)에서 사용하며 페로실리콘 (Ferrosilicon)보다 높은 효율을 가진다.

본 연구에서 제안하는 효율적 무선충전 기술을 위한 회로 구현을 보다 용이하게 하고 측정에 사용되는 관련 파라미터의 조정을 편리하게 하기 위해 보조 회로를 먼저 구현하였다. 이 보조 회로는 입력 주파수와 전압을 임의로 조절하면서 효과적으로 실험을 수행할 수 있게 설계되어 있다. 이 보조 회로는 FET와 IC를 이용하였으며 주파수 생성은 IC UC3879를 이용하여 구현하였다. 사용자가 희망하는 주파수는 아래와 같이 얻을 수 있다. 먼

저 위상 천이 (퍼센트로 표시) 는

$$\Theta = \frac{200}{T} \Phi \quad [\%] \quad (3)$$

로 표시할 수 있으며 여기서 T 는 주기, Φ 는 위상천이 0° 에서의 출력 스큐(skew)를 나타낸다. 그리고 위상천이 0% 는 0° , 100% 는 180° 에 해당한다. 그리고 지연시간 τ 는

$$\tau = T \left(\frac{1}{2} - D \right) \quad (4)$$

이며 D 는 duty cycle 를 나타낸다. 여기서 저항을 이용하여 지연시간을 조절할 수 있는데 식 (5) 를 이용하여 가능하다.

$$\tau = 0.89 \times 10^{-10} \times R \quad [\text{sec}] \quad (5)$$

여기서 저항값 R 의 범위는 1.9k Ω 에서 10k Ω 사이의 값을 주로 사용한다.

주어진 회망 주파수 f 에 대해서 타이밍 콘텐서 값 (CT) 은 식 (6) 과 같이 얻을 수 있다 [6]. 여기서 D_{lim} 은 최대 선형 듀티사이클 값을 나타낸다.

$$CT = \frac{D_{lim}}{1.08 \cdot (RT) \cdot f} \quad (6)$$

여기서 RT 는

$$RT = \frac{25}{10mA \cdot (1 - D_{lim})} \quad (7)$$

보조회로인 주파수 발생 회로의 구현은 그림 1에서 보여주고 있다. 그림 2는 UC3879의 출력 파형이고 그림 3은 최종 구현한 회로의 결과 파형이다.

IV. 실험 및 고찰

3장에서 설명한 회로를 이용하여 제안하고 있는 Permalloy 를 이용한 무선충전 실험을 수행하였다. 실험은 입력전원의 주파수, 코일의 두께, 1,2차측 코일의 쇠교수 그리고 입력 전압을 변수로 하여 입력 전압에 대한 충전 거리를 측정하면서 실험을 하였다.

입력전압의 주파수는 가청주파수를 초과하는 범위에서 100 KHz까지로 하여 측정을 하였고 그에 대한 결과는 그림 4 와 같다. 여기서 입력 전압은 40V, 이격 거리는 40mm로 하였다.

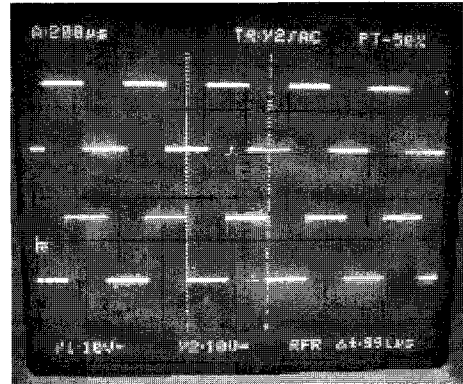


그림 2. UC3879 출력 파형
Figure 2. Output waveform of UC3879

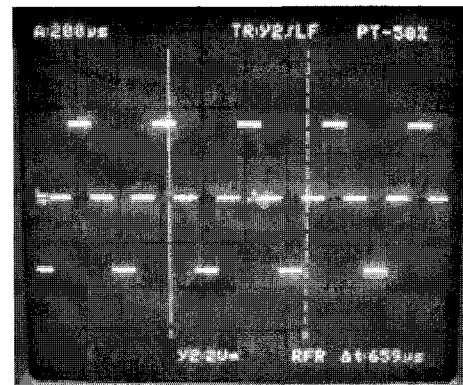


그림 3. 최종 회로 출력 파형
Figure 3. Output waveform of frequency generator

그림 4에서 보면 약 80KHz부터는 더 이상 효율이 높아지지 않음을 알 수 있다.

그림 5는 1차, 2차 코일의 두께에 따른 출력전압에 대해 보이고 있다. 이때 사용한 코일은 에나멜 코일이다. 그래프에서 보듯이 코일의 두께가 두꺼울수록 출력 전압이 높아짐을 알 수 있다.

그림 6은 1차, 2코일의 쇠교수에 따른 출력전압 변화를 보이고 있다. 쇠교수가 많을수록 전압이득이 좋아지는 하나 150 turn 이상의 경우 부피가 커지는 문제점이 있다.

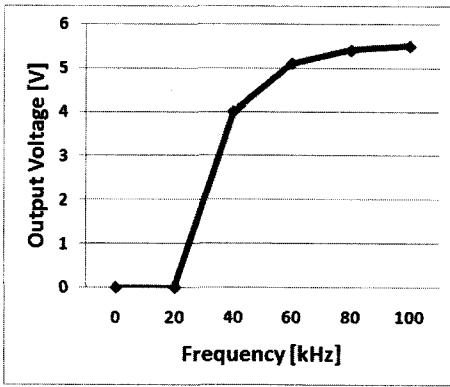


그림 4. 주파수에 의한 전력전달 효율
Figure 4. Power transfer efficiency by frequency

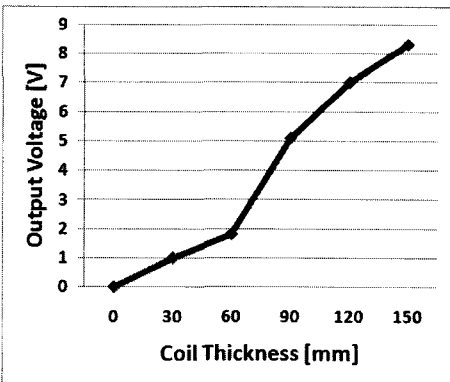


그림 5. 두께에 의한 전력전달 효율
Figure 5. Power transfer efficiency by thickness

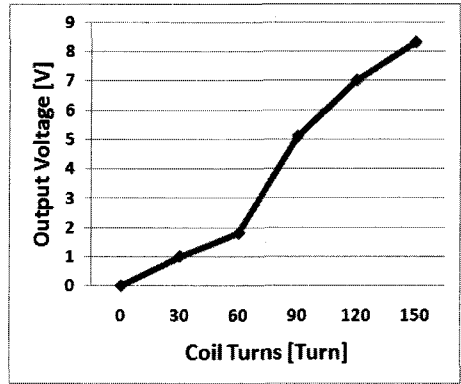


그림 6. 코일 쇠교수에 의한 전력전달 효율
Figure 6. Power transfer efficiency by coil turns

그림 7은 Ferrite와 Permalloy의 출력 전압을 비교 실험한 결과이다.

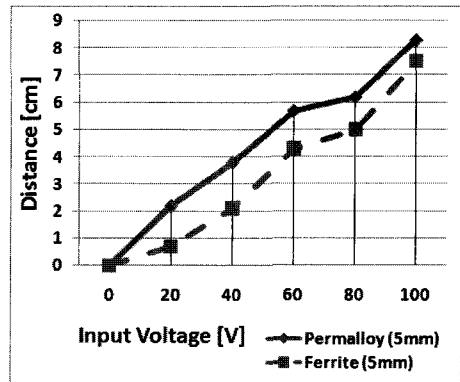


그림 7. 전력전달 효율 비교
Figure 7. Comparison of power transfer efficiency

앞서 그림 5에서 두께에 따라 전력전달 효율이 증가함을 알 수 있었다. 여기서 Ferrite 5mm와 Permalloy 5mm의 전력전달 효율을 비교한 실험 결과가 그림 7에서 보여주고 있다. 다시 말해 동일 입력 전압에 대해 Permalloy가 더 높은 충전거리를 얻을 수 있음을 확인할 수 있으며 입력전압의 증가에 따라 충전거리도 증가함을 알 수 있다. 따라서 Permalloy를 이용하여 높은 충전거리 확보가 가능하며 두께와 충전거리의 선형 관계로 볼 때 일정한 두께의 Permalloy를 적용할 경우 상용 충전거리 확보도 가능함을 알 수 있다.

상기 실험 결과를 종합해보면 80kHz 에서 1차, 2차 코일의 쇠교수가 클수록, 입력 전압이 클수록 높은 효율의 출력전압을 얻을 수 있으며 충전거리도 증가함을 확인할 수 있었다. 또한 코어의 두께가 두꺼울수록 효율이 증가함을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 연구에서는 기존의 비접촉식 방식에 의한 비소켓(non-socket) 충전이 아닌 무선 충전기술 개발을 목표로 투자율이 높은 Permalloy 를 사용하여 무선충전 효율의 극대화를 시도하였다. 기존의 코어 재료를 이용한 충전 방식과 비교한 결과, Permalloy 를 이용할 경우 더 높은 효율과 무선 충전거리를 얻을 수 있었다.

국내외에서 향후 이동기기의 무선충전 수요에 대비하여 충전 효율의 극대화를 위해 본 기술을 적용할 수 있을 것이며 보다 실용적인 충전거리 확보를 위해 주파수, 두께 등을 고려하여 보다 향상된 무선충전 기술을 개발할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Jennifer Chu, "Wireless Power," Technology Review, March/April 2008
- [2] Nakano Permalloy Co., Ltd.
<http://www.nakano-permalloy.co.jp>
- [3] 한림포스텍 <http://www.hanrim.com/>
- [4] 파워캐스트 <http://www.powercastco.com/>
- [5] Jorgenson, J. D. et. al. Minerals Yearbook 2006: Ferroalloys, United States Geological Survey.
- [6] IC UC3897 Data Sheet
- [7] Texas Instruments, <http://www.unitrode.com>

저자소개

황재영 (Jae Young Hwang)



2010년 부경대학교
전자정보통신공학 (공학사)
2010년 부경대학교 정보통신공학과
석사과정

※관심분야: USN, 전력전자

정연호 (Yeon Ho Chung)



1984년 경북대학교 전자공학과
(공학사)
1992년 The Imperial College, Univ.
of London, U.K. (공학석사)

1996년 Liverpool University, U.K. (공학박사)
1995년 영국 Freshfield Comm. Ltd.
2006년 미국 펜실베이니아주립대학교 객원교수
2001년-현재 부경대학교 정보통신공학부 교수
※관심분야: 적응 변조 및 부호화 기술, 반송파 간섭
신호 기술, OFDM, IDMA