

# 비접촉 전원공급 시 2차측 코일 제작을 줄이기 위한 2차측 정류부 효율 개선에 관한 연구

유주희<sup>1</sup>, 김춘삼<sup>1</sup>, 성원기<sup>2\*</sup>  
<sup>1</sup>강원대학교 제어계측공학과, <sup>2</sup>강원대학교 전자공학과

## An Efficiency Improvement of Secondary-Side Rectifier for Minimizing 2nd Coil-Making in Contact-less Power Supply

Joo-Hee Yu<sup>1</sup>, Choon-Sam Kim<sup>1</sup> and Won-Ki Sung<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Control & Instrumentation, Kangwon University

<sup>2</sup>Division of Electronic, Kangwon University

**요약** 본 논문은 코일 제작 시 고려사항인 1, 2차측 코일 인덕턴스, 턴수, 크기, 두께, 차폐지 등을 고려하여 리프 와이어로 나선형 코일을 제작하는데 이때 반자동화 권선기를 사용하게 된다. 1, 2차측 코일 사양을 정하여 코일을 제작할 때 다양한 사양의 리프 와이어와 나선형 코일을 필요로 하게 되는데, 이때 제작 비용, 기간, 제작 시 발생하는 불량 등으로 인해 코일 샘플 제작에 어려움이 발생하고 원하는 사양의 코일 품질 관리에도 어려움이 생기게 된다. 이를 개선하기 위해 2차측의 정류부를 개선함으로써 코일 설계 및 제작 시 다양한 코일 제작 사양의 범위를 좀더 포괄적으로 할 수 있으며 제작 시 발생하는 비용을 줄이고, 기간 단축 및 코일의 품질 관리를 개선하고자 한다.

**Abstract** The Spiral coil is made considering primary, secondary side coil inductance, turn number, size, thickness, and shielding area with the litz wire-type in case of manufacturing a coil, and at this time, the semi-automation winding machine is used. When deciding on primary and secondary side coil specification and manufacturing a coil, the spiral coil of a specification varied in the various litz wire of a specification is required, and at this time, a difficulty is generated by the manufacture cost, period which during, and failure the manufacture is generated in the coil sample making. A difficulty is in the desired coil quality control of a specification. Since improving the rectifier of the secondary side in order to improve this kind of problem, the range of the coil design and the during the manufacture, various coil manufacture specifications can be comprehensively made.

**Key Words** : Contactless power transfer system, Contactless transformer, RFID, Voltage phase, Alien load

### 1. 서론

최근 휴대용 기기의 비접촉 배터리 충전 및 전력공급에 관한 연구가 증가하고 있다. 기기와의 어떠한 접촉 없이 1차측에서 2차측으로의 전력을 전달하기 위하여 리프 와이어(Litz Wire)로 구성된 나선형 코일(비접촉 변압기)을 적용하고 비접촉 변압기의 에너지 전달 효율이 낮은 단점을 극복하기 위하여 직렬 공진형 컨버터를 이용한다. 그러나 이러한 나선형 코일을 시스템에 적용하기 위하여

코일 제작 시 다양한 사양의 리프 와이어로 다양한 사양의 나선형 코일을 필요로 한다[1,2]. 이때 코일의 제작 비용, 기간, 코일 제작 시 발생하는 불량 등으로 인하여 코일 샘플 제작에 어려움이 발생하고 원하는 사양의 코일 품질 관리에도 어려움이 따르고 있다. 이러한 코일 사양의 단점을 개선하기 위하여 2차측 정류부를 개선함으로써 코일 설계 및 제작 시 다양한 코일 제작 사양의 범위를 좀 더 포괄적으로 하여 코일 제작 시 발생하는 비용 및 제작 기간을 줄이고 코일의 품질 관리를 개선하고자

\*교신저자 : 성원기(sungwk@kangwon.ac.kr)

접수일 10년 12월 13일

수정일 (1차 11년 02월 14일, 2차 11년 03월 02일)

게재확정일 11년 03월 10일

한다.

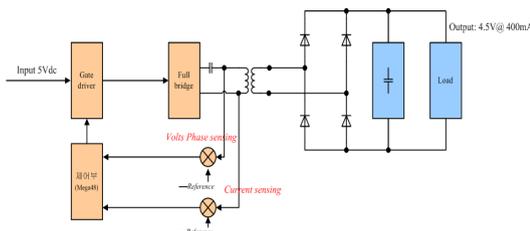
따라서, 본 논문에서는 ATMega48을 이용하여 시스템을 제어하고 기존의 비접촉 변압기 2차측 다이오드 정류부에 MOSFET를 적용하여 동기 정류 회로를 구성한다.

## 2. 본론

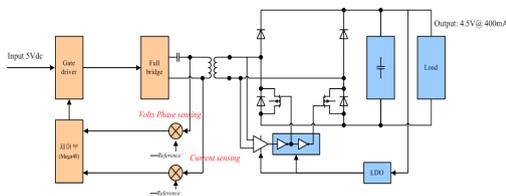
### 2.1 기존의 비접촉 전원공급 시스템

그림 1은 직렬 공진형 DC/DC 컨버터를 나타내고 있다. 1차측은 시스템 입력 전원인 직류 전원부, 비접촉 변압기 1차측에 교류 전압을 인가해주기 위한 인버터로 구성된다. 2차측은 1차측으로부터 인가된 교류 전압을 직류 전압으로 변환하는 다이오드를 이용한 정류부, 평활부 그리고 부하로 구성된다.

비접촉 전원공급 시스템에 적용되는 비접촉 변압기는 큰 공극으로 인하여 낮은 결합계수를 가지므로 에너지 전달 효율이 낮기 때문에 일반적인 PWM 컨버터는 사용이 불가능하다. 따라서 에너지 전달 효율이 낮은 단점을 극복하기 위해 높은 스위칭 주파수의 LC 직렬 공진형 풀-브리지 컨버터를 적용한다. 또한, 공진 주파수보다 스위칭 주파수를 높게 설정하여 유도성 스위칭 패턴으로 MOSFET를 스위칭하며 ZVS영역에서 적절한 데드타임을 설정하여 턴-온 손실과 턴-오프 손실을 줄인다[3,4]. 그러나 2차측 쇼트키 다이오드를 이용한 정류부는 부하로 전달되는 에너지에 전압강하를 일으켜 시스템이 동작하는 동안 지속적인 손실을 발생 시킨다.



[그림 1] 다이오드를 이용한 직렬 공진형 컨버터



[그림 2] MOSFET를 이용한 직렬공진형 컨버터

### 2.2 제안된 비접촉 전원공급 시스템

그림 2는 MOSFET를 이용한 공진형 컨버터를 나타내고 있다. 기존의 쇼트키 다이오드를 이용한 비접촉 전원공급 시스템의 정류부에는 다이오드의 전압강하로 인한 손실로 인해 시스템의 효율이 낮게 되는데 이러한 다이오드의 손실을 최소화하기 위해 MOSFET를 이용하여 동기식 정류(Synchronous Rectifier)를 하게 되면 MOSFET는 도통 시 다이오드보다 적은 전압강하를 가지므로 저전압의 회로에 있어서 높은 효율을 얻는데 매우 적합하다. 쇼트키다이오드를 사용했을 경우 순방향 전압강하 0.3[V]이므로 출력 전류가 400mA인 경우 다이오드 한 개당 120mW이상 손실이 발생하지만, 동기식 정류기를 사용했을 경우 MOSFET의  $R_{ds(on)}$ 이 64m $\Omega$ 이므로 같은 출력 전류인 경우 손실은 10mW로 줄어들게 된다. 쇼트키 다이오드에 대한 손실과 MOSFET 하나에 대한 손실을 나타내면 다음과 같다.

$$P_{SCHOTTKY} = I_o V_f + I_o^2 R_B \quad (1)$$

$$P_{MOSFET} = \frac{1}{2} (R_{DS(ON)} I_o^2 D + C_i \left( \frac{V_o}{D} \right)^2 f) \quad (2)$$

$R_{DS(ON)}$  : MOSFET 드레인 - 소스간 ON 저항

$I_o$  : MOSFET를 흐르는 전류의 실효치

$V_o$  : 출력 전압,  $f$  : 스위칭 주파수

$C_i$  : MOSFET의 입력 캐패시턴스

$V_f$  : 다이오드 순방향 전압 강하

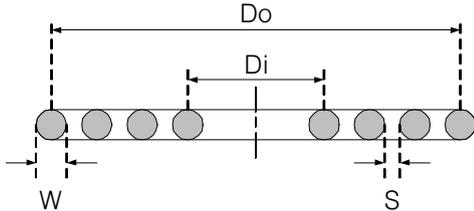
$R_B$  : 벌크 저항

시스템의 전체적인 제어는 전압 위상을 이용하여 L, C 공진 파형과 전류를 검출하여 ATmel 사의 ATMega48을 이용하여 정상 부하와 비정상 부하를 인식한다. 전압 위상 방식을 이용하는 비접촉 전원공급 시스템의 경우는 2차측에 부가적인 회로와 제어가 필요하지 않으므로 시스템의 소형 경량화에 적합한 제어 방식이다[5].

### 2.3 비접촉 코일 설계

비접촉 전원공급 시스템의 비접촉 변압기는 코일과 코일의 결합을 이용하여 1차측에서 2차측으로 에너지를 전달한다. 본 논문에 적용되는 나선형 코일은 리프 와이어 구조로 양면이 모두 노출된 구조이므로 자로를 형성하지 않는 코일의 한 쪽면은 페라이트 재질의 차폐지를 부착하여 누설 자속을 최소화 하면 비교적 높은 효율을 가질 수 있다. 나선형 코일 설계 절차는 나선형 코일 설계 공

식에 맞추어 샘플 코일을 제작하고 효율을 테스트 후 설계치와 실험치를 비교한다. 실험치를 기준으로 코일 사양을 정하고 다시 샘플 제작 및 실험을 통해 코일 설계를 최적화 한다. 그림 3은 나선형 코일을 설계하기 위한 그림을 나타낸 것이며 공식은 다음과 같다[6].



[그림 3] 나선형 코일 설계 시 고려사항

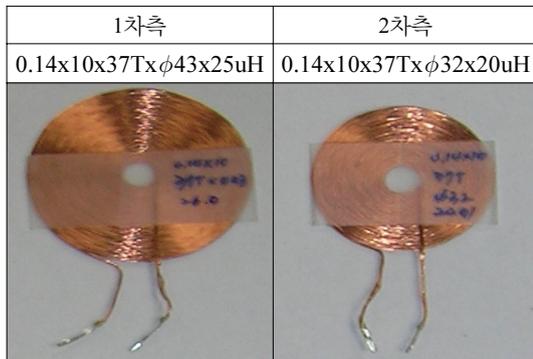
$$L = \frac{N^2 \times A^2}{30A - 11 \times Di} [\mu H] \quad (3)$$

$$A = \frac{Di + N(W + S)}{2} \quad (4)$$

$$Do = Di \times 1 + 2 \times N(W \times 1 + S \times 1) \quad (5)$$

$$W = \sqrt{S} \times 1.1125 \times a \quad (6)$$

- Di = Inner diameter in inches
- S = Distance between windings in inches
- W = Wire diameter in inches
- N = Number of turns, Do = Outer diameter
- L = Inductance, S = The number of strands
- a = Strand diameter



[그림 4] 적용된 나선형 코일

그림 4는 1, 2차측 코일을 나타낸 것이며, 1차측 코일 사양은 권선 굵기 0.14mm, 10가닥의 Litz 와이어로 37회

감은 내경 6mm, 외경 43mm이며, 2차측 코일 사양은 권선 굵기 0.14mm, 10가닥의 Litz 와이어로 37회 감은 내경 6mm, 외경 32mm이다.

[표 1] 시스템 주요 부품

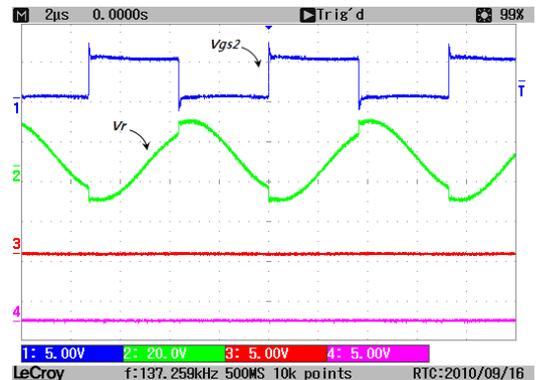
Parameter	Value
입력 전압	DC 5 [V]
출력 전압(부하 시)	DC 4.5~6.5 [V]
출력 전류(최대)	400 [mA]
스위칭 주파수	137kHz
MOSFET	FDC5612(50V@4.3A, R <sub>dson</sub> : 64mΩ)
정류다이오드	MBR130(30V@1A)
제어기	ATMega48

### 2.4 실험 결과

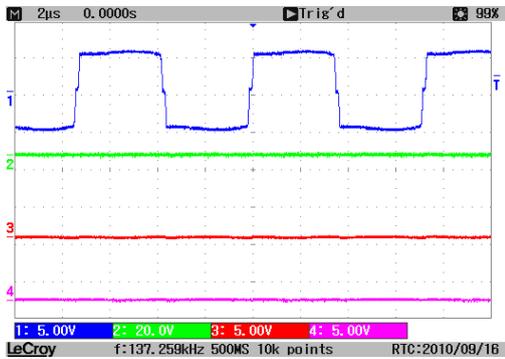
2차측 정류부에 MOSFET를 적용하여 동기 정류 하였으며 그림 3의 설계 식에 의하여 그림 4의 코일을 시스템에 적용하였다. 3 [W]급 비접촉 전원공급 시스템을 설계하고 실제 1차측과 2차측 기구물 사이 간 두께를 고려하여 코일 간 간격을 3 [mm]로 적용하였다. Agilent 사의 6060B 전자 부하를 이용하여 2차측 부하의 테스트를 수행하였다. 그림 5는 기존 다이오드 정류부 적용 시 파형을 나타낸다.

그림 5는 기존 다이오드 정류부 적용 시 파형을 나타낸다.

(a)의 1번은 1차측 MOSFET 게이트 신호 파형을 나타낸 것이고, (a)의 2번은 1차측 공진 전압 파형을 나타낸 것이다. (b)의 1번은 2차측 코일의 양단 전압을 나타낸 것이다. (b)의 1번의 high, low 구간은 쇼트키 다이오드 전압강하만큼의 손실 발생 구간이다.



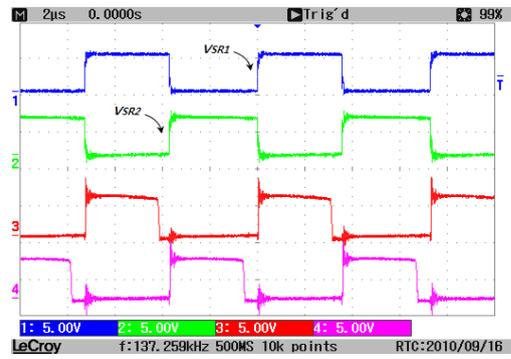
(a)



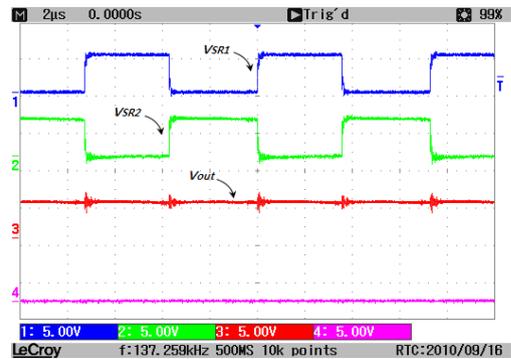
(b)

[그림 5] 기존 다이오드 정류부에 대한 실험

그림 6은 제안된 MOSFET 정류부 적용 시 파형을 나타낸 것이며, (a)의 1번은 1차측 스위칭 파형을 나타낸 것이고 (a)의 2번은 1차측 공진 전압 파형을 나타낸 것이다. (b)의 1번은 2차측 코일 양단 전압을 나타낸 것이며 (c)의 1~4번은 1차측 Full bridge MOSFET의 게이트 입력 신호를 나타낸 파형이다. (d)의 1, 2번은 1차측 Full bridge MOSFET 게이트 신호를 나타낸 것이며 3번은 2차측 출력 전압을 나타낸 것이다.



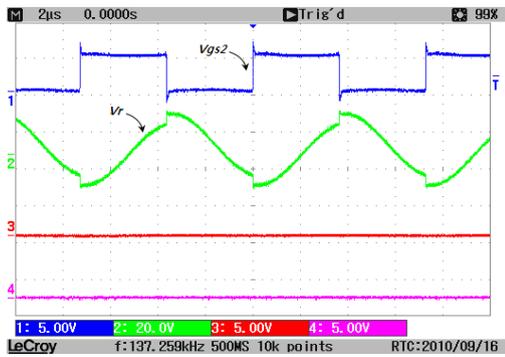
(c)



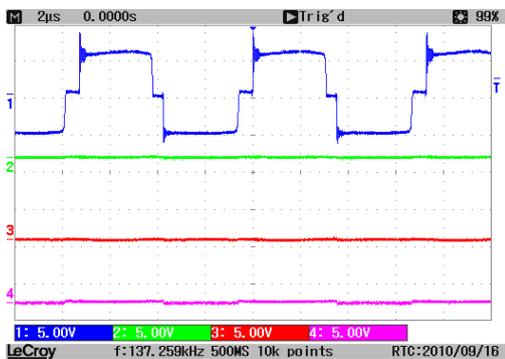
(d)

[그림 6] 제안된 MOSFET 정류부에 대한 실험

그림 (b)의 high, low 구간은 MOSFET의 R<sub>ds(on)</sub> 전압 강하만큼의 손실 발생 구간이며 이는 쇼트키 다이오드 보다 손실을 적게 할 수 있다. 표2는 다이오드 방식과 동기정류 방식의 실험치를 나타낸 것이다. 그림 7은 실험치 그래프를 나타낸 것이며 본 논문에서 제안된 MOSFET 정류부가 기존 정류방식에 비해 약 3 [%]정도의 효율 상승을 나타내는 것을 알 수 있다.



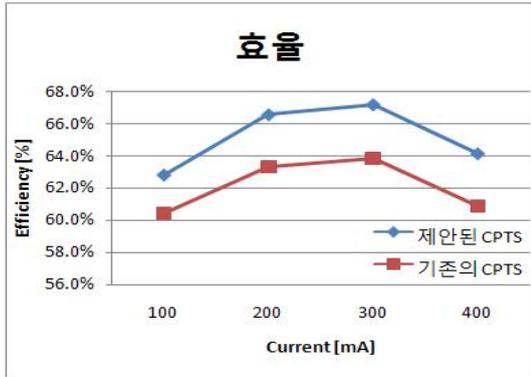
(a)



(b)

[표 2] 정류부에 따른 실험치

구분	1차측		2차측		효율 (%)
	전압 (V)	전류 (mA)	전압 (V)	전류 (mA)	
기존	5	114	6.3	-	-
		191	5.8	100	60.4
		331	5.2	200	63.3
		452	4.8	300	63.8
		573	4.4	400	60.9
개선	5	117	7.8	-	-
		187	5.9	100	62.8
		327	5.4	200	66.5
		452	5.1	300	67.2
		579	4.6	400	64.1



[그림 7] 정류부에 따른 효율 곡선

### 3. 결론

본 논문에서는 비접촉 전원공급 시스템의 2차측 정류부의 손실을 최소화 하기 위하여 MOSFET를 적용하여 동기 정류기를 제안하였다. 정류부 개선전에는 2차측 출력 전압 사양인 4.5Vdc ~ 6.5Vdc를 만족하기 위한 인덕턴스 사양은 1차측은 25 [uH]의 오차범위 2 [%]인 24.5 [uH] ~ 25.5 [uH]이며, 2차측은 20[uH]의 오차범위 2 [%]인 19.6 [uH] ~ 20.4 [uH]이었으나, 정류부 개선후에는 인덕턴스 사양을 1차측은 25 [uH]의 오차범위 5 [%]인 23.75 [uH] ~ 26.25 [uH]와 2차측은 20[uH]의 오차범위 5 [%]인 19.0 [uH] ~ 21.0 [uH]로, 정류부 개선전에 사용할 수 없었던 코일을 정류부 개선 후에는 사용 할 수 있게 되었다. 따라서 코일 제작 시 불량률을 낮출 수 있게 되었으며, 큰 공극으로 인하여 낮아지는 효율은 동기 정류를 이용함으로써 기존의 비접촉 전원공급 시스템보다 효율이 개선됨을 실험 결과를 통하여 확인하였다.

### 참고문헌

[1] Chacrles R. Sullivan, "Cost-Constrained Selection of Strand Diameter and Number in a Litz-Wire Transformer Winding", IEEE Trans. POWER Electronics, Vol. 16, pp. 281-288, march. 2001.

[2] Cang G. Kim, Dong H. Seo, Jung S. You, Jong H. Park and Bo H. Cho, "Design of a Contactless Battery Charger for Cellular Phone," APEC'2000, vol. 2, pp. 769-773, 2000.

[3] Eun-Soo Kim, Hwan-Kook Song, Joo-Hun Kim, Hyun-Kwan Lee, Yoon-ho Kim, "Efficiency characteristics

of a half-bridge series resonant converter for the contactless power supply", APEC 2008, 32nd Annual IEEE, pp. 1555-1561, may. 2008.

[4] Dong A. G. Pedder, Andrew D. Brown and J. Andrew Skinner, "A Contactless Electrical Energy Transmission System", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 46, No. 1, pp. 23-30, 1999.

[5] 유주희, 김춘삼, 성원기, 심재선, "무접점 전원공급 시스템을 위한 새로운 제어 알고리즘에 관한 연구", 강원지부 합동학술대회 논문집, Vol. 2, No. 1, pp 1-5, 2010.

[6] Flat spiral coil inductor calculator, www.circuits.dk.

유 주 희(Joo-Hee Yu)

[정회원]



- 2009년 2월 : 강원대학교 제어계측공학과(공학사)
- 2011년 2월 : 강원대학교 제어계측공학과(공학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 방재기술전문대학원 방재설비전공(박사과정)

<관심분야>

무접점 전원공급, 무선 전력 전송 등

김 춘 삼(Choon-Sam Kim)

[정회원]



- 1984년 2월 : 동아대학교 전기공학과(공학사)
- 1988년 2월 : 중앙대학교 전기공학과(공학석사)
- 1993년 2월 : 중앙대학교 전기공학과(공학박사)
- 2001년 미국 Univ. of Akron 방문연구교수
- 1994년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 제어계측공학과 교수

<관심분야>

전력변환장치, 무선 전력 전송 등

성 원 기(Won-Ki Sung)

[정회원]



- 1980년 2월 : 중앙대학교 전자공학(공학사)
- 1982년 2월 : 중앙대학교 전자공학(공학석사)
- 1987년 2월 : 중앙대학교 전기공학(공학박사)
- 1986년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 전자정보통신공학부 교수

<관심분야>  
전력변환장치 등