

자기적으로 결합된 PCB권선을 이용한 무접점 배터리 충전기

論 文

51B-1-3

A New Contactless Battery Charger Using Coupled Printed Circuit Board Windings

盧 宰 賢* · 車 憲 寧** · 崔 柄 朝*** · 安 泰 榮§

(Jaehyun Nho · Honnyoung Cha · Byungcho Choi · Taeyoung Ahn)

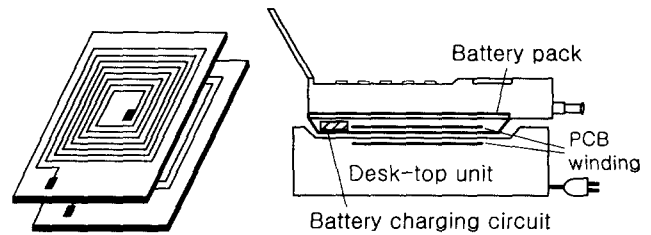
Abstract -The proposed contactless charger employs a pair of neighboring printed circuit board (PCB) windings as a contactless energy transfer device, thereby making it amenable to low-profile designs and suitable for applications to the portable telecommunication/computing electronics in which stringent requirements for height, space, and reliability have to be met. The performance of the proposed charger is confirmed with experiments on a prototype charger developed for cellular phones

Key Words : Contactless battery charger, PCB windings, Energy transfer circuit, Low-profile design

1. 서 론

휴대폰, 인터넷 폰, 노트북 등 휴대용 정보 기기 및 연산 기기에는 필연적으로 배터리를 내장하여 사용하고 있다. 이 경우 외부에 노출되어 있는 금속 단자를 통해 배터리를 충전하는 접촉형 충전방식이 현재 널리 사용되고 있다. 그러나, 접촉형 충전방식에는 다음과 같은 두 가지의 문제점이 있다. 첫째, 충전단자가 습기와 먼지에 노출되어 있을 경우 충전회로의 성능이 저하될 수 있다. 둘째, 외부에 노출되어 있는 충전용 금속 단자가 사용자의 의복과 접촉될 때 정전기가 과도하게 유길 수 있고, 이는 통신기기의 오동작을 초래하여 기기의 신뢰성을 저하시킬 수 있다. 이러한 접촉형 충전방식의 단점을 해결하기 위하여 자기결합을 이용한 무접점 충전 방식이 연구되고 있다.

본 논문에서는 무접점 에너지 전달 소자로 자기적으로 결합된 인쇄회로기판 (PCB) 권선^{[1]-[3]}을 이용한 무접점 배터리 충전회로를 제안한다. 그림 1(a)은 무접점 에너지 전달 소자로 사용된 한쌍의 PCB권선이다. 그림에서 보는바와 같이 1차측 권선과 2차측 권선은 각각 단면 PCB를 이용하여 제작되어 있다. 또한 에너지 전달 소자에 자성체 코어를 사용하지 않으므로 전체 충전회로를 박형으로 설계제작 할 수 있다. 그림 1(b)는 본 논문에서 제안하는 휴대폰용 무접점 충전기 구조이다. 충전기 본체 (Desk-top unit) 의 윗면에 부착된 1차 PCB권선과 배터리 팩의 밑면에 부착된 2차 PCB권선 사이의 자기결합을 이용하여 자성체 코어를 사용하지 않고 에너지를 전달한다.



(a) PCB 권선 (b) 휴대폰용 무접점 충전기

그림 1 본 논문에서 제안된 휴대폰용 무접점 배터리 충전기
Fig. 1 Proposed contactless battery charger

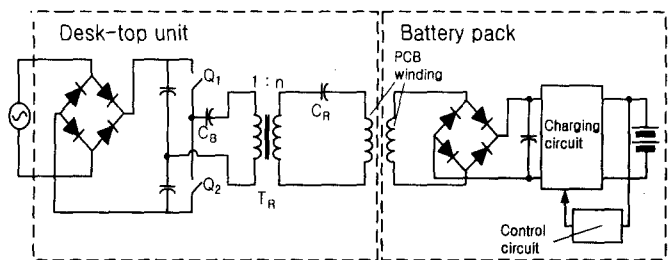


그림 2 무접점 충전기의 개략도
Fig. 2 Simplified circuit diagram of contactless charger

2. 무접점 충전회로 및 동작조건

무접점 충전기는 충전기 본체와 배터리 팩 속에 장착된 충전기의 2차측으로 구성되어 있다. 그림 2에 도시된 것처럼 충전기 본체는 저주파 정류회로, 허프브리지 (Half-bridge)

* 盧 宰 賢 : 慶北大學 電子工學科 碩士課程
 ** 車 憲 寧 : (주) PSTEK 근무
 *** 崔 柄 朝 : 慶北大學 電子工學科 教授 · 工博
 § 安 泰 榮 : 淸州大學 尖端工學部 教授 · 工博
 接受日字 : 2001年 8月 20日
 最終完了 : 2001年 9月 23日

표 1 무접점 충전기의 동작조건 및 설계 사양

Table 1 Operational conditions and design specification of proposed charger

		Value	Unit
Desk top unit	Input voltage	85 - 270	VAC
	Input frequency	47 - 63	Hz
	Switching frequency	850	kHz
Secondary side	Charging time	1-2	Hours
	Battery dimension	55×31×5.5	mm
	Output voltage range	3.6 - 4.2	V
	Output current range	50 - 800	mA

직렬 공진 인버터, 그리고, 1차 PCB권선으로 구성되어 있다. 저주파 정류회로는 상용전원을 정류하여 하프브리지 직렬공진 인버터에 입력을 공급한다. 하프브리지 직렬공진 회로는 PCB권선의 누설 인덕턴스와 공진 커패시터사이의 직렬 공진을 이용하여 PCB권선에 정현파 전류, 전압을 인가한다. 자성체 코어를 사용하지 않으므로 PCB권선은 자화 인덕턴스가 매우 작다. 따라서, 과도한 순환전류가 PCB권선의 1차측 회로에 흘러 큰 전도 손실이 발생할 수 있다. 순환전류를 줄이기 위해 그림 2에 도시된 것처럼 PCB 권선 앞에 강압용 변압기를 삽입하였다.

충전기 2차측은 2차 PCB권선, 이에 연결된 고주파 정류회로, 소형으로 제작된 충전회로로 구성되어있고, 전체회로가 리튬 이온 (Lithium Ion) 배터리팩 내부에 장착되어있다.

제안된 무접점 충전기의 충전기 본체는 개방 루프 (Open loop) 상태로 동작하고, 충전기의 2차측에 배터리의 충전을 제어, 감시하는 기능이 내장되어있다. 따라서, 충전기 본체와 충전기의 2차측은 기능적으로 완전히 분리되어 있어 기존의 무접점 충전방식^[4]과 달리 추가적인 정보교환이 필요 없다. 본 논문에서 제안된 무접점 충전기의 동작조건 및 설계 사양은 표 1과 같다.

3. PCB 권선

3.1 PCB 권선 설계

일반적으로 PCB권선은 사각형과 나선형구조로 설계할 수 있다. 본 논문에서는 배터리의 모양을 고려하여 사각형 구조로 설계하였다. 표 2는 본 논문에서 설계된 1, 2차 PCB권선의 파라미터이다.

3.2 PCB 권선의 회로 모델

그림 3은 자기 결합된 PCB권선의 등가회로이다. 이 등가회로는 자기 결합된 인덕터 (Coupled inductors) 나 변압기를 모델링할 때 사용되는 일반적인 방식으로부터 유도하였다^[5]. 그림 3에서 R_1 ,

표 2 본 논문에서 사용된 PCB권선의 파라미터

Table 2 Parameters of PCB windings

Physical parameters of PCB windings			
Primary winding		Turns of trace	12 T
		Thickness of copper trace	75 μ m
		Distance between traces	0.45 mm
		Width of trace	0.96 mm
Secondary winding		Turns of trace	10 T
		Thickness of copper trace	same as the primary winding
		Distance between traces	same as the primary winding
		Width of trace	same as the primary winding

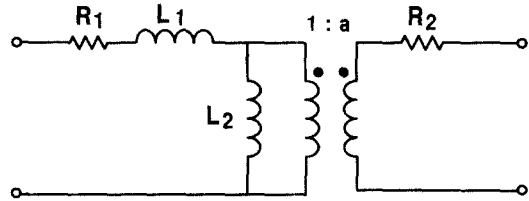


그림 3 PCB권선의 등가회로

Fig. 3 Equivalent circuit for coupled PCB windings

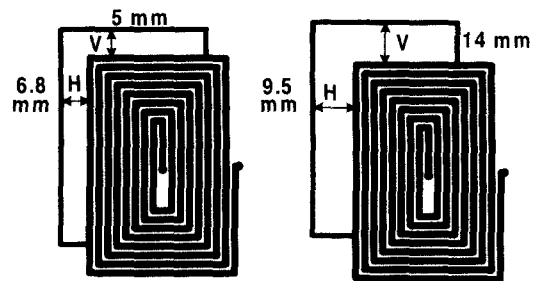


그림 4 PCB 권선의 어긋남

Fig. 4 Misalignment of PCB windings.

R_2 는 1, 2차측 권선 저항을 나타내고, L_1 은 PCB권선의 등가 누설 인덕턴스, L_2 는 PCB권선의 등가 자화 인덕턴스를 나타낸다. 또한, 파라미터 a는 등가회로에 사용된 이상변압기의 권선비이다.

1차측과 2차측 PCB권선 사이에 기생 커패시터가 존재하나, 그 값은 수 pF정도이고 고 주파 영역 (10MHz) 에서만 회로에 영향을 준다. 제안된 무접점 충전기의 스위칭 주파수는 850 kHz이므로 그림 3의 등가회로에는 기생 커패시터의 영향이 고려되지 않았다^{[6][7]}.

충전기의 실용성을 확인하기 위해 다음과 같은 연구를 수행했다. 첫째, PCB권선 사이의 간격을 2.4 mm에서 4.8 mm 까지 단계적으로 변화시키면서 충전기의 성능을 연구하였다. 또한, 그림 4에 도시된 것처럼 PCB권선이 어긋난 경우를 해

표 3 PCB권선의 파라미터

Table 3 Equivalent circuit parameters for PCB windings

Misalign ment factor	Distance between windings (gap)	Parameters: $R_l = 0.51\Omega$ and $R_l = 0.51\Omega$ for all cases		
		L_1	L_2	a
$H = V = 0$	2.4mm	2.6 μH	1.8 μH	1.28
	3.2mm	3.0 μH	1.4 μH	1.47
	4.0mm	3.3 μH	1.1 μH	1.63
	4.8mm	3.5 μH	0.9 μH	1.81
$H = 6.8mm$ $V = 5.0mm$	2.4mm	2.8 μH	1.6 μH	1.37
$H = 9.5mm$ $V = 14mm$	2.4mm	3.9 μH	0.5 μH	2.52

석하였다. 그림 4에서 1차 PCB권선과 2차 PCB권선의 어긋난 정도를 두개의 파라미터 V, H를 사용하여 나타내었다. 표 3은 위에서 설명한 조건에서 측정된 PCB권선의 등가회로 파라미터이다. PCB권선 사이의 간격이 증가할수록 누설 인덕턴스는 증가하고, 자화 인덕턴스는 감소하며 권선비는 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 PCB권선 간격이 증가할수록 자기 결합률이 낮아지기 때문이다. 또한, PCB권선이 어긋난 경우에서도 위와 비슷한 현상이 발생한다.

4 에너지 전달 회로 해석

4.1 에너지 전달 회로의 등가 회로 및 전압전달함수

그림 5는 본 논문에서 제안된 무점접 충전기의 등가회로이다. 이 등가회로는 공진형 컨버터를 모델링 하는 방식을 이용하여 유도하였다.^[8] 등가 회로는 세 부분으로 구성되어있다.

첫째 단은 저주파 정류회로의 직류 모델이며, V_l 는 스위치 네트워크의 입력전압을 의미하고 I_l 는 저주파 정류회로로 유입되는 전류의 평균치이다.

둘째 단은 공진형 회로의 전압, 전류의 기본과 성분만을 고려한 교류 모델이며, $V_{\pi}(t)$ 은 강압용 변압기에 인가되는 구형파 전압의 기본과 성분이고, $I_{\pi}(t)$ 은 1차측 PCB권선으로 유입되는 전류의 기본파이다. 한편, R_e 는 2차 PCB권선에 연결된 부하 측을 대체한 등가저항이다.

셋째 단은 배터리 충전 회로의 입력 전압, 전류로부터 유도한 직류 모델이며, V_o 는 충전회로의 입력 전압이고 I_o 는 충전회로에 유입되는 전류의 평균치이다. 따라서 등가 부하저항 R 은

$$R = \frac{V_o}{I_o}$$

이다.

표 4는 에너지 전달회로의 등가회로에 관련된 변수와 전압, 전류원의 표현식이다.

그림 5의 등가회로와 표 4를 이용한 에너지전달 회로의 전압 전달 함수(M)를 구하면 아래와 같다.

$$M = \frac{V_o}{|V_s|} = \frac{n}{2} \left| \frac{l}{\left(\frac{L_1+L_2}{aL_2} - \frac{l}{\omega^2 a C_R L_2}\right) + j\left(\frac{a\omega L_1}{R_e} - \frac{a}{\omega C_R R_e}\right)} \right| = \frac{n}{2} \left[\left(\frac{L_1+L_2}{aL_2} - \frac{l}{\omega^2 a C_R L_2}\right)^2 + \left(\frac{a\omega L_1}{R_e} - \frac{a}{\omega C_R R_e}\right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

이다. 그리고

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_R}} \quad (2)$$

$$Q = \frac{a\sqrt{L_1 / C_R}}{R_e} \quad (3)$$

로 정의된다.

이 식은 4.3절에서 에너지 전달회로를 설계할 때 중요한 관계식으로 사용된다.

4.3 에너지 전달 회로 설계

본 논문에서는 PCB권선 사이의 간격을 2.4 mm을 기준으로 하여 에너지 전달회로를 설계제작 하였다. 또한, 입력전압 변화, PCB권선 사이의 간격변화, PCB권선의 어긋남 등을 고려하여 회로 변수를 결정하였다.

강압용 변압기 및 PCB권선 설계 :

본 논문에서 강압용 변압기는 PCB권선에 인가되는 전압을 줄이기 위해 권선비를 1 : 0.125로 설계하였다. 그 결과 PCB권선의 입력전압을 37 V로 낮추었다.

PCB권선은 배터리 충전 시 1차, 2차 PCB권선의 단면이 정확히 일치되지 않아도 충전기능이 크게 저하되지 않도록 1차 PCB권선 면적을 2차 PCB권선 면적보다 크게 설계하였다. 또한, 권선과 권선 사이의 간격은 가능한 좁게, PCB권선 폭은 가능한 넓게 설계하여 자기 결합률을 높이고 이와 동시에 권선 저항을 줄였다.

제안된 충전회로에서는 PCB 권선비를 12 : 10으로 설계하였다.

공진 주파수 :

본 연구에서 사용된 것과 같은 직렬공진 회로에서는 영전압 스위칭을 구현하기 위해서 회로의 스위칭 주파수를 공진 주파수 보다 크게 설정하여야한다.^[8] 따라서, 스위칭 주파수 설계에 앞서 에너지 전달회로의 공진 주파수를 우선 선정하여야한다. 공진 주파수가 작으면 스위칭 주파수도 작아지고, 이는 결과적으로 PCB 권선 자화 인덕턴스의 임피던스를 감소

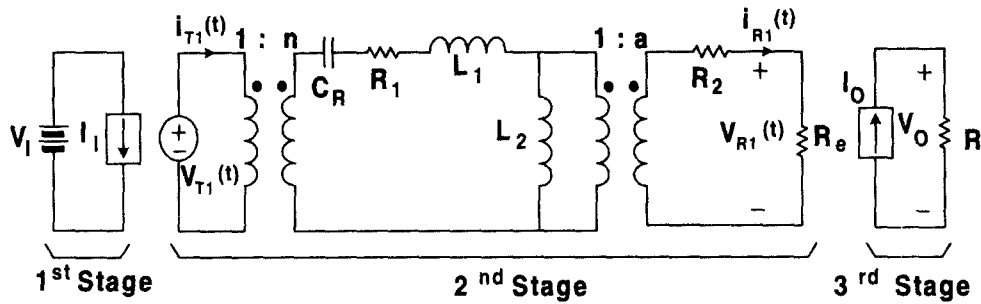


그림 5 에너지 전달 회로의 등가 회로
Fig. 5 Circuit Model of Energy Transfer Circuit

표 4 에너지 전달 회로의 등가회로에 관련된 파라미터와 수식
Table 4 Circuit variables and parameters for circuit model of energy transfer circuit

	Expressions
First stage	$v_I = \frac{1\sqrt{s}}{2}, I_I = \frac{2I_{T1}}{\pi} \cos \phi_T$ $1\sqrt{s} : \text{Amplitude of line voltage}$
Second stage	$v_{T1}(t) = \frac{4V_I}{\pi} \sin \omega_s t$ $I_{T1}(t) = I_{T1} \sin(\omega_s t - \phi_T)$ $v_{R1}(t) = V_{R1} \sin(\omega_s t - \phi_R)$ $I_{R1}(t) = I_{R1} \sin(\omega_s t - \phi_R)$ $R_e = \frac{8}{\pi^2} R$
Third stage	$I_O = \frac{2}{\pi} I_{R1}, R = \frac{V_O}{I_O}$

시켜 전체 시스템의 효율을 낮춘다. 반면, 공진 주파수가 너무 높으면 스위칭 주파수도 높아지므로 반도체 소자의 스위칭 손실과 코어 손실, 또한 기타 기생 성분들에 의한 손실이 증가하여 효율은 낮아진다. 따라서, 공진 주파수는 이 두 영향을 고려하여 설계하여야 한다.

식 (2)에 의해 공진 주파수는 PCB 권선의 누설 인덕턴스와 공진 커패시터에 의해 결정되어진다. 본 논문에서는 공진 커패시터를 20 nF으로 선정하였고 공진 주파수는 PCB 권선 간격 2.4 mm일 때 700 kHz이다.

스위칭 주파수:

에너지 전달회로의 스위칭 주파수는 다음과 같은 두 조건을 고려하여 설계되어야 한다.

첫째, 하프브리지 직렬 공진 컨버터가 영전압 스위칭 (ZVS)을 하기 위해 스위칭 주파수(f)가 공진 주파수(f0)보다 커야 한다^[8]

$$\frac{f}{f_0} \geq 1$$

둘째, 본 논문에서 사용된 충전회로의 정상적인 동작을 위해 에너지 전달회로의 출력전압 (충전회로의 입력전압)

은 8.2V에서 20V사이에 있어야 한다^[9].

그림 6은 에너지 전달회로의 출력전압 곡선이다. 입력전압, PCB 권선 간격 그리고, PCB 권선 어긋남이 변화할 때 식(1)을 이용하여 PSpice로 시뮬레이션 한 결과를 실험 결과 데이터와 비교하여 도시한 그래프이다. 본 논문에서 충전회로의 동작점을 $V_O=13 V, I_O=0.29 A$ 로 선정하였고, 따라서 충전회로 부분을 45Ω으로 대체하여 에너지전달회로의 부하로 사용하였다. 실험 결과 입력전압이 증가하면 에너지 전달 회로의 출력전압이 선형적으로 증가하고 (그림 6(a)), PCB 권선 사이의 간격이나, PCB 권선의 어긋남이 커지면 출력전압은 낮아진다.(그림 6(b),(c)) 전반적으로 시뮬레이션과 실험결과가 잘 일치함을 알 수 있다.

그림 6(d)는 그림 6(a),(b),(c)를 종합한 출력전압 곡선이다. 이 출력전압 곡선에서 앞에 설명한 두 가지 조건을 만족하는 영역을 표시하면 빗금친 부분이 된다. 이 결과에 따라 에너지 전달 회로의 스위칭 주파수를 850 kHz로 설계하였다.

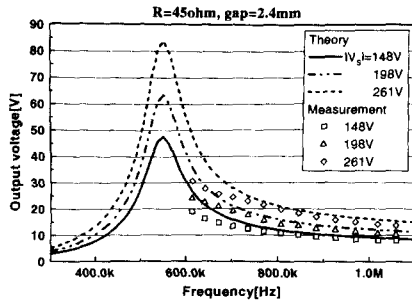
4.4 실험 결과

그림 7은 PCB 권선 간격이 2.4 mm 일 때 1차 PCB 권선에 걸리는 전류, 전압 파형이다. 이 파형은 220 Vac 입력전압, 400 mA 전류부하 조건에서 측정되었다. 공진 커패시터와 PCB 권선의 인덕턴스의 필터링효과 때문에 전류, 전압 파형은 거의 정현파에 가깝다. 이런 기본파 성분에 가까운 파형들은 PCB 권선에서 발생할 수 있는 EMI문제를 줄이는데 크게 도움이 된다. 제한된 충전기의 실장 실험 과정에서 심각한 EMI문제는 발생하지 않았다. 그림 8(a)는 400 mA 전류부하를 연결한 상태에서 입력전압과 PCB 권선 간격을 변화시키면서 측정한 효율 그래프이다. 효율은 PCB 권선 간격이 2.4 mm이고 입력전압이 190 Vac일 때 64%로 가장 높다. 한편, PCB 권선 간격이 증가하면 효율은 낮아진다.

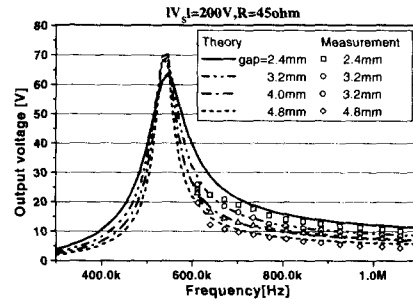
그림 8(b)는 220 Vac 입력전압에서 부하전류와 PCB 권선 간격을 변화시키며 측정한 효율 그래프이다. 최고 효율 63%는 2.4mm의 PCB 권선 간격, 600mA 전류부하에서 측정되었다.

손실은 주로 1차측 스위칭소자, 2차측 정류 다이오드 그리고 PCB 권선의 권선 저항(winding resistance)에서 발생한다.

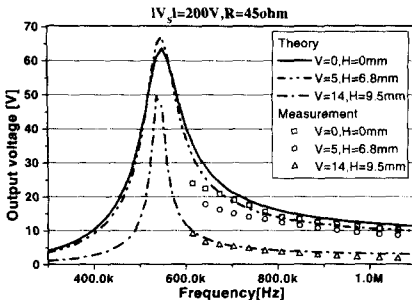
PCB 권선을 설계할 때 권선 수를 증가시키면 자화 인덕턴스가 커지므로 자화 전류를 줄인다. 하지만, 권선 저항이 증가하므로 손실은 증가한다. 따라서 PCB 권선 설계 시 이 두 영향



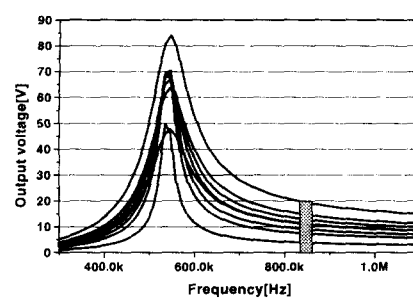
(a) 입력전압의 변화에 대한 출력 전압 곡선



(b) 권선 사이 간격변화에 대한 출력전압곡선



(c) 권선면의 어긋난 정도에 대한 출력전압 곡선



(d) 모든 경우를 고려한 출력전압곡선

그림 6 에너지 전달회로의 출력전압 곡선

Fig. 6 Output voltage of energy transfer circuit

을 고려하여 최적의 조건을 찾아야 한다

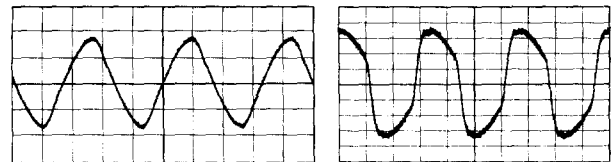
그림 8에 제시된 효율을 측정할 때 제어회로 손실과 저주파 정류회로 손실은 포함하지 않았다. 만약 이 손실을 포함한다면 효율이 조금 낮아진다.

5. 리튬 이온 배터리 충전회로

리튬 이온 배터리 충전회로는 정 전압, 정 전류 충전기능이 필요하다. 본 연구에서는 LT1571-5를 사용하여 충전회로를 설계하였다^[9]. 이 충전회로는 8.2V-20V의 전압범위에서 동작하고, 충전전류는 1.5A까지 가변되며 충전전압은 4.2V로 제어된다. 그림 9는 본 연구에서 제작한 무접점 배터리 충전기의 2차측 모양이다. 그림 9(a)에 도시된 것처럼 충전기의 2차측을 양면 PCB에 제작하였다. 리튬이온 배터리, 고주파 정류회로 그리고, 충전 제어 회로는 앞면에, 2차 PCB권선은 뒷면에 제작하였다. 그림 9(b)는 무접점 충전기의 2차측 부분을 장착한 휴대폰의 전체 모양이다. 충전기의 2차측은 박형으로 설계, 제작되어 배터리 팩 속에 쉽게 내장되어 질 수 있다.

6. 무접점 충전기의 성능

그림 10(a)는 제안된 무접점 충전기의 충전 파형이다. 600mA의 정 전류 충전상태에서 4.2V 정전압 충전상태로 변화되는 과정을 보여준다. 그림 10(b)는 800mA 정 전류 충전 조건에서 측정된 효율과 4.2V 정 전압 충전의 조건에서 측



(a) 전류파형 (1A/div, 200ns/div) (b) 전압파형 (10V/div, 200ns/div)

그림 7 PCB권선의 1차측 전류, 전압 파형

(a) 전류파형 (1A/div, 200ns/div) (b) 전압파형 (10V/div, 200ns/div)

Fig. 7 Primary current, voltage waveform of PCB windings

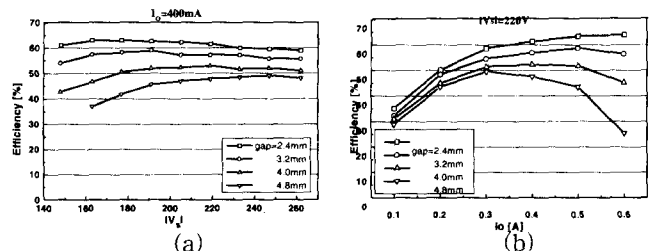


그림 8 에너지 전달 회로의 효율

Fig. 8 Efficiency of energy transfer circuit

정한 충전기의 전체 효율이다. 정 전류 충전 시 효율은 약 50%, 정전압 충전 시 40%이다.

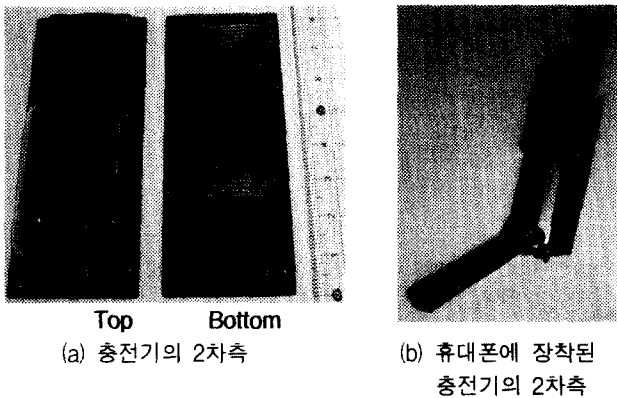


그림 9 제안된 무접점 충전기의 외형

Fig. 9 Secondary side of proposed charger

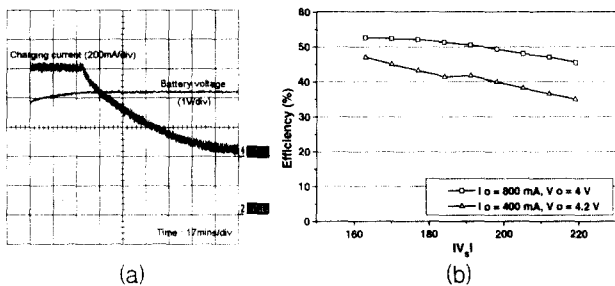


그림 10 무접점 충전기의 성능

(a) 배터리 충전 파형 (b) 무접점 충전기의 전체 효율

Fig. 10 Performance of prototype charger.

7. 결 론

본 논문에서는 자기적으로 결합된 PCB 권선을 이용한 무접점 배터리 충전기를 제안하였다. 제안된 무접점 배터리 충전기는 자성체 코어를 사용하지 않는 PCB 권선을 이용하기 때문에 충전회로가 기존의 배터리팩의 두께에 큰 영향을 미치지 않으며, 따라서 충전기를 박형으로 설계할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 충전회로가 효율적으로 에너지를 전달하기 위한 최적의 스위칭 주파수를 선택하는 방법을 제안하였고, 그 결과는 해석과 설계 방법을 통하여 검증하였다. 또한 무접점 배터리 충전기의 전체 성능을 확인하기 위해서 리튬이온 배터리를 사용하는 휴대폰에 무접점 배터리 충전기를 실장하여 실험하였으며, 그 결과 정상적인 배터리 충전을 수행하고 있음을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제안된 무접점 충전 방식은 휴대폰뿐만 아니라, 유사한 배터리 용량을 갖는 휴대형 정보기기에도 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 삼성 전자 무선사업부 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] S. Y. R. Hui, S.C. Tang, and H. Chung, Coreless printed-circuit board transformer for signal and energy transfer, *IEE Electronics Letters*, vol. 36, no. 11, pp. 943-944, 2000.
- [2] S.C. Tang, S. Y. Hui, H. Chung, Coreless planar printed-circuit-board (PCB) transformer: A fundamental concept for signal and energy transfer, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 15, no.5, pp.931-940, Sep. 2000.
- [3] S.C. Tang, S. Y. Hui, H. Chung, A low-profile power converter using printed-circuit board (PCB) power transformer shield with ferrite polymer composite, in *Proc. IEEE Power Electronics Specialists Conference*, pp.1279-1284, 2000.
- [4] C. Kim, D. Seo, J. You, J. Park and B. Cho, Design of a contactless charger for cellular phone, in *Proc. IEEE APEC00*, Feb. 2000, pp.769-773.
- [5] J. W. Nilsson, and S. A. Riedel, *Electronic circuits*, Prentice Hall, New Jersey, 2001, 6th Ed. Appendix C, pp. 993-1001.
- [6] S.Y.R. Hui, S.C. Tang and H. Chung, "An accurate circuit model for coreless PCB-based transformers," *European Power Electronics Conference*, Trondheim, Norway, September, 1997.
- [7] S.Y.R. Hui, H. Chung, and S.C. Tang, "Coreless printed circuit board(PCB) transformers for power MOSFET/IGBT gate drive circuits," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol.14, pp.431-437, May 1999.
- [8] R.L. Steigerwald, "A Comparison of Half-Bridge Resonant Converter Topologies," *IEEE Trans. Power Electronics*, Vol. 3, No.2, April, 1988.
- [9] LT1571 Data Sheet. Linear Technology Co., Milpitas, CA, 2000.

저 자 소 개



노재현 (盧宰賢)

1975년 11월 22일생. 2000년 대구대 공대 전자공학과 졸업(학사). 2001년 경북대 대학원 전자공학과 석사 과정.
Tel : 053-940-8673
E-mail : jhnoh015@hanmail.net



최병조 (崔柄朝)

1957년 10월 12일생. 1980년 한양대 공대 전자공학과 졸업(학사). 1992년 Virginia Tech. 전기공학과 졸업(공학박사). 1993년 1월~1996년 2월 삼성전자 수석연구원. 현재 경북대 전자전기 컴퓨터학과 부교수.
Tel : 053-950-6603
Fax : 053-950-5505
E-mail : bchoi@ee.knu.ac.kr



차헌녕 (車憲寧)

1972년 10월 17일생. 1999년 경북대 공대 전자전기공학부 졸업(학사). 2001년 경북대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 현재 (주) PSTEK 근무.
Tel : 053-940-8673
E-mail : chn92@hanmail.net



안태영 (安泰榮)

1984년 한양대 공대 전자공학과 졸업(학사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년九州대 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1995년 일본 세이코 전기 연구원. 1996년 삼성전자 반도체 선임연구원. 1997년~현재 청주대학교 첨단공학부 조교수.
Tel : 043-229-8439
E-mail : tyahn@chongju.ac.kr