

무접촉 충전기용 자리스 Half-Bridge 인버터

김윤성¹, 안태영², 최병조²
¹청주대학교 첨단공학부 ²경북대학교 전자·전기공학부

Self-Excited Half-Bridge Inverter for Contact less Charger

Yun-Sung Kim¹, Tae-Young Ahn², Byung-Cho Choi²
¹Chongju University, ²Kyungbuk National Univ.

Abstract - This Paper reports on an experimental and theoretical work about self excited Half-Bridge inverter for contact less battery chargers. The steady state characteristics of inverter are analysis and the experimental result for 500kHz, universal AC source input have been obtained. These inverter is suitable for the portable appliances with battery chargers such as cellular phone.

1. 서 론

최근 휴대형 전자 기기는 소자 및 설계기술의 급속한 발달과 함께 사용자의 요구로 인해 더욱 소형·경량화 되고 있으며, 기기 내부에서 필요한 자료 및 연산 처리능력이 비약적으로 향상됨에 따라 기능이 더욱 다양해지고 있는 추세이다. 이러한 휴대형 전자 기기의 특징은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫째로는 기기의 특성상 외형이 소형·경량이어야 하고, 둘째로는 기기에서 필요한 전기에너지는 2차 전지와 같은 한정된 에너지원을 통해서 공급받아야 하는 것이다. 따라서 제한된 에너지를 효율적으로 사용하기 위해서는 기기 자체의 전력변환 효율을 높여야하고, 2차 전지의 용량을 키워야한다. 세 번째의 특징은 2차 전지를 재충전시키기 위한 충전기가 반드시 필요하다는 것이다. 특히 휴대형 전자 기기 중에서, 휴대형 통신 기기 분야는 빠른 속도로 기술적 진보가 이루어지고 있으며, 이동성과 신뢰성 그리고 소형·경량화의 특성이 유난히 강조되고 있다. 국내의 경우 이미 많은 수의 단말기가 보급되었고, 관련된 시장규모가 점차 확대되어가고 있는 추세에 있다. 따라서 2차 전지를 필수적으로 사용하고 있는 단말기와 같이 공급되고 있는 배터리 충전기의 수량도 이미 상당량이 보급되었다. 이러한 배터리 충전기는 단말기 및 배터리의 형태나, 모델에 의존하게 되기 때문에, 제조회사 및 개발 모델에 따라 각각 서로 다른 충전기를 보유하고 있어야 하기 때문에 경제적 손실이 따르게 된다. 이러한 이유 때문에 휴대형 통신 기기를 제조하고 있는 제조회사에서도 향후 개발되는 모델에 대해서 충전기 및 배터리를 표준화하려는 준비가 진행되고 있다.

휴대형 통신 기기에서 사용되었던 기존의 배터리 충전기는 사용되고 있는 배터리와 충전기가 직접 전기적 접촉에 위해서 에너지를 전달하는 소위, 접촉식 충전방식이었다. 이러한 접촉식 충전기는 전기적 접촉을 위한 단자가 기기 외부에 나와 있기 때문에 기본적으로 일상 생활에서 필요한 방수 기능을 구현하기가 어렵고, 또한 기계적 접촉이 많아지기 때문에 기계적 피로에 의해 수명이 단축되며, 접촉불량에 의한 충전불량으로 배터리 및 기기 자체의 신뢰성에 나쁜 영향을 미치게 된다. 휴대형 통신기기의 충전기를 접촉식에서 무접촉식으로 바뀌면 다음과 같은 효과가 있다. 첫째로는 가장 많은 고장의 원인이 되는 접촉단자에 의한 접촉불량 문제를 해결할 수 있게 되어 신뢰성을 높일 수 있다. 둘째로는 배터리의 위치를 구애받지 않는 등, 통신 기기의 외형 설계를 자유롭게 할 수 있다. 셋째로는 외부에 전기적 접촉이 필요 없게 되어, 생활 방수가 가능한 단말기를 개발 할 수 있다. 넷째로는 원리적으로 배터리의 종류와 용량에 크게 의존하지 않기 때문에 충전기를 표준화 할 수 있으며, 이때 단말기는 기종마다 다른 충전기를 보유할 필요가 없어지기 때문에 경제적 손실을 줄일 수 있게 된다.

본 논문은 휴대형 통신 기기에서 사용되고 있는 기존의 접촉식 충전기의 단점을 해결하기 위해서 자리스 Half-Bridge 인버터를 무접촉 충전기에 적용한 결과에 대해 보고한 것이다. 본 논문에서 사용된 자리스 Half-Bridge 인버터는 일반적인 충전기에서 요구되고 있는 100 및 200V 계열의 AC 전압을 입력으로 하였고, 별도의 제어용 IC를 사용하지 않는 자리스이기 때문에 회로 구성으로 소자 수가 적고 회로가 간단하다는 특징이 있다. 또한 휴대전화와 같이 높은 주파수를 매개로 사용되고 있는 통신 기기는 충전기 출력에서 발생하는 고조파 성분을 억제할 필요가 있는데, 본 논문에서 사용된 회로방식은 출력전압과 전류가 모두 고조파 성분이 매우 적은 정현파 형태라는 것을 실험과 시뮬레이션을 통해 확인함으로써 휴대형 통신기기의 무접촉식 충전기에 적합하다는 것을 보였다.

2. 자리스 Half-Bridge 인버터

그림 1에는 본 논문에서 검토한 자리스 Half-Bridge 인버터의 기본회로가 나타나있다[1,2]. 이 회로는 직류전압을 입력으로 하고 있으며, 같은 용량을 갖는 두 개의 커패시터가 직류 입력 전압을 균등하게 나누어 갖게된다. 빠른 스위칭 주파수와 낮은 스위칭 손실을 얻기 위해서 스위칭 소자로는 M₁과 M₂로 표시된 두 개의 MOSFET를 사용하였으며, 최초 회로가 기동되기 위한 기동저항 R_S가 입력전압과 한 개의 MOSFET 게이트에 연결되어 있다. 그림 1의 회로에서는 정현파의 출력전압과 출력전류를 얻기 위해서 LLC 공진 회로를 이용하였으며, 구체적으로는 두 개의 공진 인덕터 L_S, L_P와 한 개의 공진 커패시터 C_P로 구성되어 있다. 한편 MOSFET M₁과 M₂의 게이트와 연결된 변압기 T₁₋₁과 T₁₋₂는 T₁과 공유되어 있고, 서로 반대 극성으로 연결되어 있기 때문에 T₁의 전압에 따라서 서로 반대 편은 턴온·턴오프 하게 된다. 두 개의 MOSFET 게이트는 커패시터와 다이오드로 구성된 게이트 구동회로를 갖고 있으며, 이러한 구동회로는 빠른 스위칭 속도와 안전한 구동회로로 알려져 있다. 또한 그림에서 알 수 있듯이 자리스 Half-Bridge 인버터의 기본회로는 별도의 제어용 IC를 사용하지 않기 때문에 사용된 소자 수가 적고, 회로구성이 간단하다는 것을 알 수 있다.

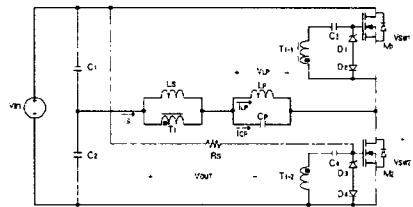


그림 1. 자리스 Half-Bridge 인버터의 기본회로

3. 정상상태 특성

그림 1의 자리스 Half-Bridge 인버터의 기본회로에 대한 기본적인 정상상태 특성을 살펴보기 위해서 상태별 동작설명과 특성식을 유도하였다. 우선 그림 1에 대한 정상상태의 등가회로를 그림 2에 나타내었으며, 각 스위치의 상태별 등가회로를 그

림 3에 나타나 있다. 또한 정상상태의 이론 파형을 그림 4에 나타나 있다. 그림의 등가회로 및 이론 파형으로부터 회로에 대한 상태별 동작은 다음과 같이 설명된다. 그림 1의 회로에서 초기에 입력전압 V_{in} 이 회로에 인가되면 기동저항 R_S 를 통해 전류가 M_2 의 게이트 기생 커패시터에 흐르게 되고, 충전된 전압에 의해서 스위치는 턴온 된다. 턴온 된 후, 전류 i_S 가 흐르게 되면, T_1 에 양의 전압이 유기 되고, 공유 결합된 T_{1-1} 의 전압에 의해 M_2 의 게이트 전압 V_{GS} 가 상승하고 이로 인해 스위치 M_2 는 더욱 가속화하여 포화영역으로 들어가게 된다. 이때의 등가회로가 그림 3 (a)에 나타나 있다. 한편 그림 4의 이론 파형에서 알 수 있듯이 M_2 를 통해 흐르는 전류 i_S 는 직선적으로 증가하며 이때 i_S 는 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$i_s = V_{GS} \cdot g_{FS} \quad (1)$$

단 g_{FS} 는 MOSFET의 Forward transconductance이다. 전류 i_S 가 계속 증가하게 되면, 식 (1)에 의해 스위치 M_2 는 더 이상 포화영역에서 동작하지 못하고 활성영역으로 이동하여 M_2 의 드레인 소스간 전압 V_{DS} 를 증가시키게 된다. 결과적으로 M_2 의 게이트 전압 V_{GS} 를 낮추게 되어 스위치 M_2 는 결국 턴 오프 하게 된다. 다음, 스위치 M_2 가 턴 오프 될 때 T_1 과 반대 극성을 가지고 있는 T_{1-2} 는 역기전력에 의해 M_1 이 턴 온 되고, 이때의 등가회로가 그림 3 (b)에 나타나 있다. 전류 i_S 는 M_2 가 턴 오프 되기 직전 최대 값을 갖게되며, 턴 오프 된 후 전류는 다시 감소하기 시작하여 음의 값을 갖게된다. 전류가 음의 최소 값에서 식 (1)에 의해서 M_2 가 턴 온 되고, 동시에 공유 결합된 변압기에 의해 M_1 은 턴 오프 되며, 스위치의 상태가 처음의 상태로 반복되면서 회로는 스스로 스위칭 하게된다. 또한 스위치의 상태가 대칭이며 같은 LLC 소자를 공유하기 때문에 동작시, 시비율은 0.5에 가깝게 되고, 스위칭 주파수는 회로의 공진 주파수와 거의 근접하게 된다. 이때 공진 주파수 ω_r 은 다음과 같다.

$$\omega_r = \sqrt{-\frac{1}{C_P} \left(-\frac{1}{L_P} + \frac{1}{L_S} \right)} \quad (2)$$

정상상태에서 출력전압을 구하기 위해서 LLC의 공진 회로에 인가된 펄스형태의 입력전압을 Fourier 변환하여 기본파 성분으로 근사하면 식 (3)과 같다.

$$V_{out} = V_m \sin \omega_r t \quad (V_m = 2 V_{in} / \pi) \quad (3)$$

이때 회로의 출력 부분인 인덕터 L_P 의 전압 V_{L_P} 와 전류 i_{L_P} 는 다음과 같이 구할 수 있다[3].

$$V_{L_P}(t) = \frac{V_m / C_P L_S}{\omega_r^2 - \omega_s^2} \sin \omega_r t \quad (4)$$

$$i_{L_P}(t) = \frac{V_m / C_P L_S L_P}{\omega_s (\omega_r^2 - \omega_s^2)} \sin(\omega_r t - 90^\circ) \quad (5)$$

식 (4) 및 (5)로부터, 회로의 출력에 해당하는 전압과 전류가 모두 정현파 형태를 나타내고 있기 때문에, 파형에 포함된 고조파 양이 매우 적으며, 따라서 높은 주파수를 매개로 하는 통신기기에 적합하다는 것을 알 수 있다.

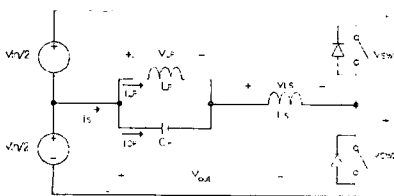
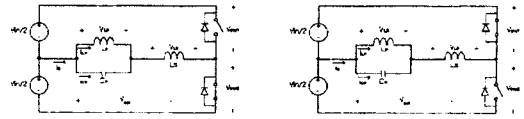


그림 2. 정상상태 등가회로



(a) 스위치 ON상태 (b)스위치 OFF 상태
그림 3. 상태별 등가회로

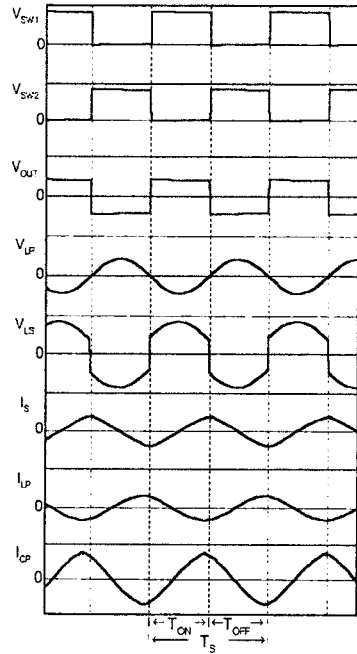


그림 4. 정상상태 동작 파형

4. 실험 결과

본 논문에서 검토한 자력식 Half-Bridge 인버터에 대한 정상상태 동작설명 및 해석결과를 검증하기 위해 인버터 회로를 제작하여 실험하였다. 본 논문에서 사용된 실험회로가 그림 5에 나타나 있다. 회로의 입력전압은 100V 및 200V 계열의 교류전압을 모두 사용할 수 있도록 배전압 정류기를 사용하였으며, 입력전압에 따라 자동적으로 배전압 및 동전압 정류기로 사용할 수 있도록 자동선택 스위치(A. S. SW : Auto selection switch)를 사용하였다. 공진 회로에서 사용된 소자는 각각 $L_S=120\mu\text{H}$, $L_P=200\mu\text{H}$, $C_P=1.5\text{nF}$, 스위치는 IRF840를 사용하였다. 또한 회로의 출력 부분에는 별도의 2차 측 회로를 구성하여, 직류전압으로 변환 될 수 있도록 고주파 정류기를 구성하였고, 저항 부하를 회로의 최종부하로 사용하였다. 그림 6에서는 실험회로에서 얻어진 각 부분의 실험 파형을 나타낸 것이다. 그림으로부터, 정상상태에서의 실험 파형은 앞 절에서 설명한 동작 설명 및 그림 4의 이론 파형과 일치하고 있다는 것을 알 수 있었으며, 출력부분의 전압 및 전류의 파형이 모두 정현파에 가깝다는 것을 알 수 있다. 그림 7은 자동선택 스위치를 사용한 정류기의 출력전압을 나타낸 것이다. 그림으로부터 교류입력전압이 80V 275V로 변화할 때 정류된 직류전압은 200V 400V로 기존의 정류방식에 비해 전압변동이 약 반으로 줄어든다는 것을 알 수 있다. 그림 8에서는 입력전압에 대한 자력식 인버터의 스위칭 주파수를 측정하여 나타낸 것이다. 측정 결과로부터 저항 부하가 무 부하에서 50Ω까지 변화되었을 때 스위칭 주파수는 약 500-560kHz로 변화한다는 것을 알 수 있다. 또한 교류입력전압 변화에 대해 2차 측의 정류된 전압을 측정하고, 그 결과를 그림 9에 나타내었다. 그림으로부터 직류 출력전압은 부하에 의존하고 있으며, 사용된 부하범위 내에서 출력전압은 10V에서 20V 이내로 제한된다는 것을 알 수 있다.

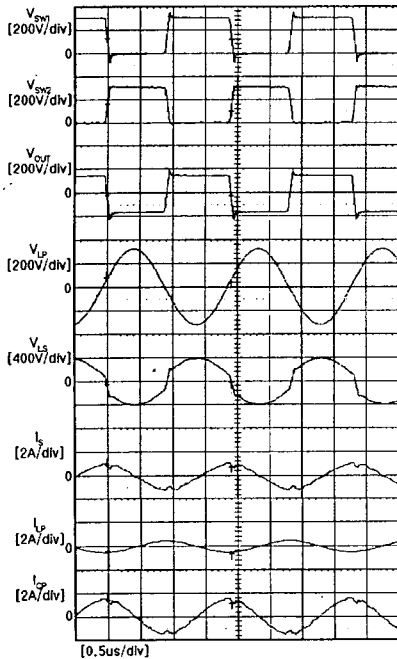


그림 6. 정상상태 실험 파형

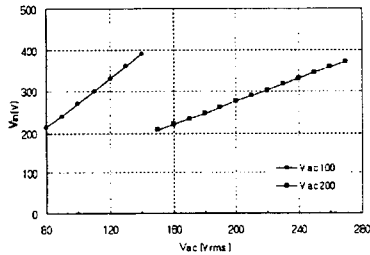


그림 7. 입력전압

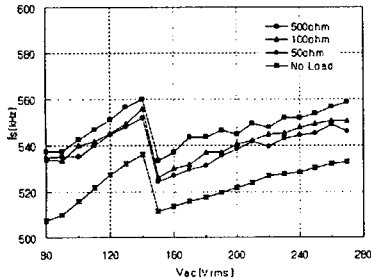


그림 8. 입력전압과 스위칭주파수

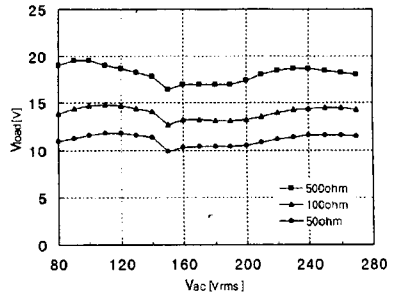


그림 9. 2차 측 부하전압

5. 결 론

본 논문은 휴대형 통신 기기에서 사용되고 있는 기존의 접촉식 충전기의 단점을 해결하기 위해서 자려식 Half-Bridge 인버터를 무접촉 충전기에 적용한 결과에 대해 보고한 것이다. 본 논문에서 사용된 자려식 Half-Bridge 인버터는 일반적인 충전기에서 요구되고 있는 100 및 200V 계열의 AC 전압을 입력으로 하였고, 별도의 제어용 IC를 사용하지 않는 자려식이기 때문에 회로 구성으로 소자 수가 적고 회로가 간단하기 때문에 제조가격을 낮출 수 있다는 특징이 있다. 또한 휴대전화와 같이 높은 주파수를 매개로 사용되고 있는 통신 기기는 충전기 출력에서 발생하는 고조파 성분을 억제할 필요가 있는데, 본 논문에서 사용된 회로방식은 출력전압과 전류가 모두 고조파 성분이 매우 적은 정현파 형태라는 것을 실험과 시뮬레이션을 통해 확인함으로써 휴대형 통신기기의 무접촉식 충전기에 적합하다는 것을 보였다. 회로의 스위칭 주파수 약 500kHz로 고주파에서 동작하며, 스위칭 주파수는 입력 교류전압에 의존하고, 약 10%정도 내에서 제한 된다는 것을 실험결과로부터 알 수 있었다. 향후에는 경박단소화 되고 있는 단말기 및 배터리에 효율적인 전력 전달과 소형 박형의 2차 측 충전회로를 구성하기 위해서 2차의 변압기 구조에 대한 연구와 2차 측 회로를 포함한 정상상태 해석에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 첨단대학교 정보통신연구센터의 지원에 의한 것입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Chin Chang, Joseph Chang, Gert W. Bruning, "Analysis of the Self-Oscillating Series Resonant Inverter for Electronic Ballasts", IEEE trans. Power Electronics, vol. 14, no 3, May 1999.
- [2] T. Fukue, K. Harada, Y. Ishihara, F. Okamoto, "A novel light-control circuit in self-excited electric ballast for the electrodeless fluorescent lamp", Technical Report of IEICE, EE97-56, Jan. 1998.
- [3] Dong Hyun Park, Hee Jun Kim, Kee Yun Joe, Mun Ho Kye, "Zero-Voltage-Switching High Frequency Inverter for Electrodeless Fluorescent Lamp", Proceedings of APEC, vol. 2, pp.2035-2040, May 1998.

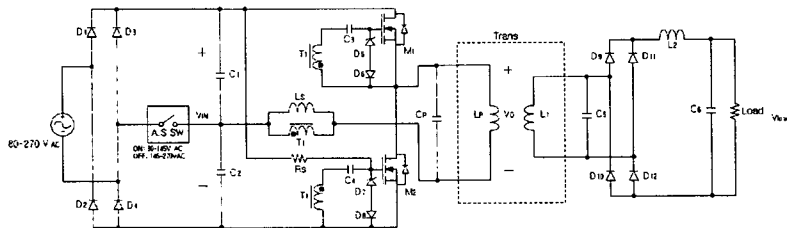


그림 5. 실험회로