

Induction Heating 구동회로의 스위치 내압 저감을 위한 ZVS 단일 스위치 인버터

강경수, 공성재, 양태철, 노정욱
국민대학교 전자공학과

ZVS single switch inverter for Reducing switch voltage stress of Induction Heating driving circuit

Kyung soo Kang, Sung jae Kong, Tae cheol Yang, Chung Wook Roh
Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

ABSTRACT

기존 Induction Heating용 인버터의 경우, 일반적인 Half Bridge 인버터를 사용하여 낮은 효율이 발생하기 때문에 고효율 구동이 어렵고, Single Switch 인버터를 사용할 경우 높은 전압 스트레스로 인해 고효율 및 고출력 IH 인버터 구동이 어려운 문제점이 있다. 본 논문은 Induction Heating용 인버터의 원가를 감소시키고 고효율/고출력을 낼 수 있는 스위치 내압 저감용 ZVS Single Switch 인버터를 제안한다. 기존의 IH 구동용 인버터를 사용할 경우에는 낮은 효율 및 높은 스위치의 전압 스트레스 때문에, 회로의 전체적인 부피가 커지고 제작단가가 증가하는 단점이 있다. 반면 제안된 회로는 IH 구동용 스위치 내압 저감이 가능한 ZVS Single Switch 인버터로써, 단일 스위치 회로 구현과 영진압 스위칭을 통해 높은 효율로 인버터 구동이 가능하고, 스위치 내압을 감소하였기 때문에 회로의 부피 및 원가를 감소시킬 수 있는 장점을 갖는다. 본 논문에서는 제안된 회로의 이론적 특성을 분석하고 모의실험을 통해 확인하였으며, 2.6kW급 IH 구동 인버터 회로에 적용하여 실험을 통해 우수성을 검증하였다.

1. 서론

최근 석유, 천연가스 같은 화석 연료 사용을 자제하고, 환경 문제를 해결하기 위해 여러 분야에서 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 산업계에서는 화석연료 사용 대신 전기를 사용한 전기기의 연구 개발이 활발히 진행되고 있는데, 특히 천연가스를 사용하고 있는 가스레인지의 대안으로 유도가열(IH, Induction Heating) 제품에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 유도가열 제품에서는 직렬 공진형 인버터를 사용하여 전력 손실을 최소화 하고 있다. 또한 최근에는 단일스위치 공진형 인버터를 사용하여 회로의 원가 및 부피를 최소화 하고 있다. 이처럼 유도 가열의 성능을 향상시키고 효율을 증대시키기 위해 많은 연구 개발이 이루어지고 있다. 현재 가정용 IH 시스템의 전원장치인 인버터 보드는 크게 Half Bridge형 직렬 공진형 인버터와 단일스위치 병렬 공진형 인버터를 채용하고 있다. 하지만 Half Bridge형 직렬 공진형 인버터는 2개의 스위치를 사용하고 Hard Switching 구동을 하기 때문에 효율이 낮고 제품의 원가 및 부피, Heat sink 크기가 매우 커지는 문제점 있으며, 단일스위치 병렬 공진형 인버터의 경우에는 구동 스위치의 전압 스트레스가 매우 높아 회로의 원가 및 부피가

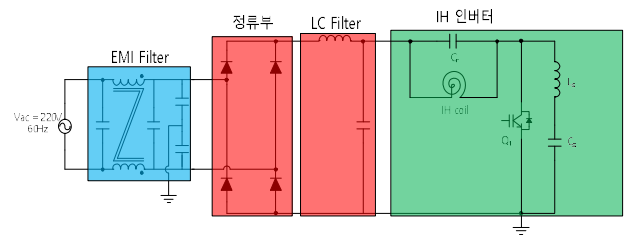


그림 1 제안된 IH 병렬 공진 내압 저감형 ZVS 단일 스위치 인버터 회로

Fig. 1 Proposed IH parallel resonant Reducing switch voltage stress ZVS Single Switch Inverter Circuit

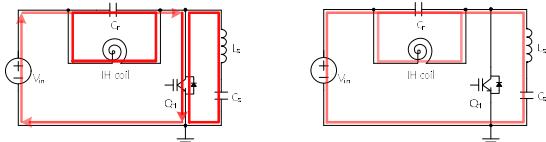
크게 증가하는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 단일스위치 공진형 인버터의 영진압 스위칭(ZVS)을 통해 높은 효율로 인버터를 구동시키고, 구동스위치 내압을 저감시켜 회로의 부피 및 원가를 최소화시킬 수 있는 IH 병렬 공진형 ZVS 단일 스위치 인버터를 제안한다.

2. 제안된 IH 병렬 공진 내압 저감형 ZVS 단일 스위치 인버터

그림 1은 제안된 IH 병렬 공진 내압 저감형 ZVS 단일 스위치 인버터 회로이다. 제안된 회로는 1개의 IGBT, IH Coil, 1개의 공진 Capacitor, C_s , L_s 를 사용하여 구성되어 있으며 IH Coil에 흐르는 공진 에너지가 부하, 즉 IH 용기에 전달되어 유도가열하게 된다. 아울러 제안된 인버터는 C_s , L_s 를 통해 전압 스트레스를 크게 감소시킬 수 있기 때문에 낮은 내압의 IGBT를 채용가능하며, ZVS 동작을 통해 전력 손실 최소화 및 제품 및 시스템의 소형화/저가형 구현에 매우 유리한 장점이 있다.

2.1 제안된 IH 병렬 공진 내압 저감형 ZVS 단일 스위치 인버터 회로의 동작 원리

그림 2는 스위치 상태에 따른 전류 도통 경로를 보이고 있다. 각 모드별 등가회로 동작은 다음과 같다. 그림 2(a)는 스위치 Q1이 도통되는 경우이다. 이때는 IH Coil에 전류가 흐르는 구간으로 2차측의 에너지를 전달하는 구간이다. 또한 C_s , L_s 는 서로 공진하는 구간이다. 그림 2(b)는 스위치 Q1이 차단되는



(a) Mode 1 (Q1 switch on) (b) Mode 2 (Q1 switch off)

그림 2 스위치 상태에 따른 도통 경로

Fig. 2 Conductive path according to switch status

경우이다. 이때는 IH Coil에 전류가 감소하는 구간으로 스위치 전압이 상승하는 구간으로, 스위치 전압은 IH Coil, Cr, Cs, Ls 가 서로 공진하여 상승하게 된다.

그림 3은 제안된 IH 병렬 공진 내압 저감형 ZVS 단일 스위치 인버터의 Gate에 따른 스위치 전압 파형도이다. 제안 회로의 ZVS 스위칭 구동을 위해서는 스위치 양단 전압이 영전압 일 때, 스위칭을 해야 한다. 따라서 MCU를 이용해 스위치의 전압이 영 전압일 때 스위칭 한다. 이를 통해 Turn off 전력 손실을 최소화 할 수 있다.

2.2 제안된 IH 병렬 공진 내압 저감형 ZVS 단일 스위치 인버터의 실험결과

제안된 IH 병렬 공진 내압 저감형 ZVS 단일 스위치 인버터의 타당성 및 우수성을 위해 2.6kW급 IH 구동용 인버터 회로를 위한 시작품을 제작하여 다음과 같은 실험결과를 제시한다. 제안 회로를 제어하기 위해 MCU를 사용하였으며 설계를 위한 입출력 사양과 실험에 사용된 주요 파라미터는 다음과 같다.

- 입력 전압 : 220V_{ac}
- 최대 출력 전력 : 2.6kW
- 인버터 스위칭 주파수 : 24kHz
- IGBT : IHW30N160R2(1600V/30A)
- L_s : 13uH / 공진 캐패시터 C_s : 300nF
- Controller : MCU(Atmega128)

그림 4는 IH 병렬 공진 내압 저감형 ZVS 단일 스위치 인버터를 적용한 IH Coil 및 유도 가열용 Plate 연동 실험 파형이다. 그림 4(a)는 제안 회로의 시작품 및 실험 사진이고, 그림 4(b)는 제안 회로의 Gate에 따른 스위치 전압 V_{ce}, Coil 전류 I_{coil} 파형이다. 스위치 양단 전압 V_{ce} 및 IH Coil 전류는 이론적 분석과 동일함을 확인하였다. IH 구동 특성상 Plate의 위치에 따른 ZVS 동작도 가능함을 확인하였다. 또한 스위치의 전압 스트레스는 기존 대비 20%이상 감소하여 낮은 내압의 스위치

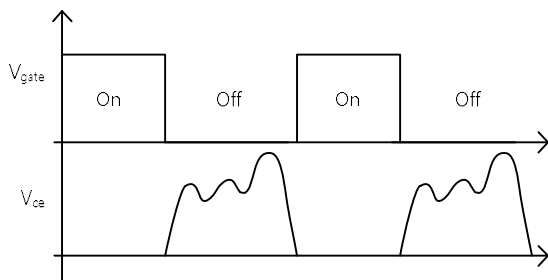
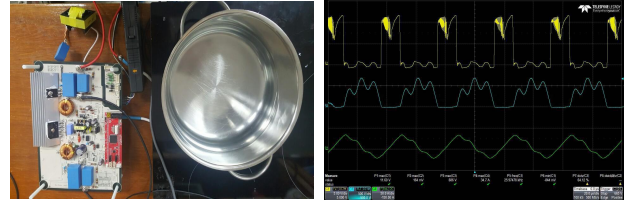


그림 3 Gate에 따른 스위치 전압 파형도

Fig. 3 Waveform of switch voltage to Gate signal



(a) 제안 회로의 시작품 및 실험 사진

(b) 제안 회로의 주요 파형

그림 4 제안 회로의 시작품 및 주요 파형

Fig. 4 Proposed Circuit Prototype and Main waveforms

채용이 가능해 제품의 원가 및 부피 최소화가 가능함을 검증하였다. 따라서 위의 실험 결과를 통해 제안된 회로는 높은 효율을 통해 IH 구동용 인버터 회로의 소형화 및 저가형 구현이 가능함을 확인하였으며, IH 뿐만 아니라 고전력, 고전압을 요구하는 공기청정기, 의료기기, 백색가전 등 다양한 분야에서도 적용이 가능할 것으로 예상된다.

3. 결론

기존 Induction Heating용 인버터의 경우, 일반적인 Half Bridge 인버터를 사용하여 낮은 효율이 발생하기 때문에 고효율 구동이 어렵고, Single Switch 인버터를 사용할 경우 높은 전압 스트레스로 인해 고효율 및 고출력 IH 인버터 구동이 어려운 문제점이 있다. 이러한 이유로 기존 IH 구동용 인버터를 사용할 경우에는 낮은 효율 및 높은 스위치의 전압 스트레스 때문에, 회로의 전체적인 부피가 커지고 제작단가가 증가하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 단일스위치 공진형 인버터의 영전압 스위칭을 통해 높은 효율로 인버터를 구동시키고, 구동스위치 내압을 저감시켜 회로의 부피 및 원가를 최소화시킬 수 있는 IH 병렬 공진형 ZVS 단일스위치 인버터를 제안하였다. 이론적 분석과 모의실험을 통해 제안회로의 타당성 검증하였으며, 2.6kW급 IH 병렬 공진 내압 저감형 ZVS 단일 스위치 인버터 구동회로 시작품을 제작하여 실험을 수행하였다. 실험 결과 제안된 IH 병렬 공진 내압 저감형 ZVS 단일 스위치 인버터는 부하 변동에도 ZVS 동작이 가능함을 확인하였다. 또한 스위치의 전압 스트레스는 기존 대비 20%이상 감소하여 낮은 내압의 스위치 채용이 가능해 제품의 원가 및 부피 최소화가 가능함을 확인하였다. 최종적으로 제안된 회로는 높은 효율을 통해 IH 구동용 인버터 회로의 소형화 및 저가형 구현이 가능할 뿐만 아니라, 고전력, 고전압을 요구하는 친환경 관련제품, 의료기기, 백색가전 등 다양한 분야에서도 적용이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구는 솔루엠(주)의 연구비 지원으로 수행되었음

참고 문헌

- [1] S. R. Ghuge, M. R. Roda, "Summary Of Overall Topologies Of An Induction Cooker For Home Use", Energy Systems and Applications, 2015 International conference, pp. 655 657.
- [2] 강경수, 김상언, 노정욱 "고효율 Induction Heating 인버터를 위한 공진점 추적제어 기법", 전력전자학회, 2014년도 전력전자학술대회 논문집, pp. 75 76.