

고효율 Induction Heating 인버터를 위한 공진점 추적제어 기법

강경수, 김상언, 노정욱
국민대학교 전자공학과

Resonance point tracking control techniques of Induction Heating efficiency for inverter

Kyung Soo Kang, Sang Eon Kim, Chung Wook Roh
Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

ABSTRACT

기존 Induction Heating(IH) 인버터의 경우, 파라미터의 변화가 매우 크기 때문에 높은 Turn off 전류에서 스위칭 하여 전력 손실이 매우 커지는 문제점이 있다. 본 논문은 고효율 IH 인버터를 위한 공진점 추적 제어 기법을 제안한다. 기존의 IH 직렬 공진형 인버터의 경우에는 높은 Turn off 전류를 가지고 있기 때문에 손실이 매우 크고, Heat sink 크기가 커지는 단점이 있다. 반면 제안된 공진점 추적 제어 기법을 적용한 IH 직렬 공진형 인버터는 Turn off 전류가 매우 낮은 상태에서 영전압 스위칭을 하기 때문에, 전력 손실이 매우 작고 Heat sink 최소화 및 고효율화가 가능한 장점을 갖는다. 본 논문에서는 제안된 공진점 추적 제어 기법의 이론적인 특성을 분석하고 모의실험을 통해 확인하였으며, 3.6kW급 IH 직렬 공진형 인버터 회로에 적용하여 실험을 통해 우수성을 검증하였다.

1. 서론

최근 에너지 절약과 석유, 천연가스 같은 화석 연료를 사용하여 생기는 환경 문제를 해결하기 위해 여러 분야에서 많은 연구가 진행되고 있다. 산업계에서는 화석 연료를 사용하는 기구 대신 전기를 사용한 전기기기의 개발 연구가 활발히 진행되고 있는데, 특히 가열 원으로 사용되고 있는 유도가열 (IH, Induction Heating) 제품에 관심을 기울이고 있다. 최근 유도가열 제품에서는 직렬 공진형 인버터를 사용하여 전력 손실을 최

소화 하고 있다. 따라서 유도가열의 성능을 향상시키고 효율을 증대시키기 위해 많은 연구 개발이 이루어지고 있다. 현재 가정용 IH 시스템의 전원장치인 인버터 보드는 직렬 공진형 인버터로, 주파수 변조 제어 방식으로 구동하고 있다. 하지만 이러한 제어 방식은 용기의 재질, 적재 위치 변화에 의한 파라미터 변화에 따라 스위칭 손실이 커지기 때문에 효율이 감소되고, 제작단가가 높아지는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 직렬 공진형 인버터의 스위칭 손실을 줄여 효율을 증가시키고, Heat sink 크기를 최소화 하여 제작단가를 낮출 수 있는 공진점 추적 제어 기법을 적용한 IH 직렬 공진형 인버터를 제안한다.

2. 제안된 공진점 추적 제어 기법

그림 1은 제안된 공진점 추적 제어 기법을 적용한 IH 직렬 공진형 인버터 회로이다. 제안된 회로는 Rectifier, 2개의 IGBT, IH Coil, 2개의 공진 Capacitor를 사용하여 구성되어 있으며 IH Coil에 흐르는 공진 전류를 사용하여 부하에 전력을 전달한다. 아울러 제안된 공진점 추적 제어 기법을 적용한 IH 직렬 공진형 인버터는 전력 손실을 최소화 할 수 있기 때문에 낮은 입력 전력으로 최대 출력을 낼 수 있고, Heat sink 크기가 작아지기 때문에 시스템의 소형화와 저가형 구현에 유리한 장점이 있다.

2.1 제안된 공진점 추적 제어 기법의 원리

그림 2는 IH 인버터 스위치 전압 및 전류 파형도이다. IH Coil의 전기적 모델은 인덕턴스와 저항으로 근사화 되지만 파라미터 변화가 심하기 때문에 반드시 회로의 공진 주파수보다 큰 스위칭 주파수로 회로를 동작시켜야 한다. 또한 파라미터의 변화에도 영전압 스위칭(Zero Voltage Switching)을 하려면 Coil 인가전압과 전류의 위상차(Φ)를 크게 하여 동작시켜야 한다. 하지만 Φ 가 크면 Turn off 전류가 매우 크기 때문에 전력 손실이 크다. 따라서 Φ 를 최소화 하여 Turn off 전류를 최소화해야 한다.

그림 3은 공진점 추적 제어 기법의 동작원리 파형도이다. 공진점 추적 제어는 IH Coil에 흐르는 전류의 절대치($|I_L|$)와 최소 기준 Turn off 전류 (I_{th})를 비교하여 인버터 스위치 Q_1 , Q_2 의 상태를 변화한다. IH Coil에 흐르는 전류의 절대치가 I_{th} 보다

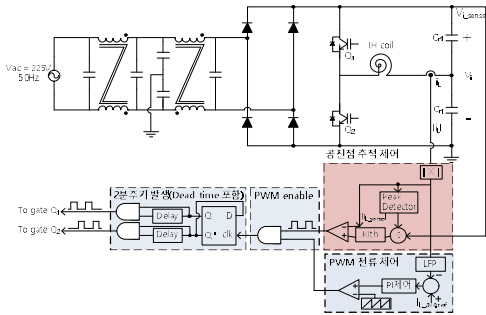


그림 1 공진점 추적 제어 기법을 적용한 제안 IH 직렬 공진형 인버터 회로도

Fig. 1 Proposed IH series resonant Inverter circuit of applying resonance point tracking control techniques

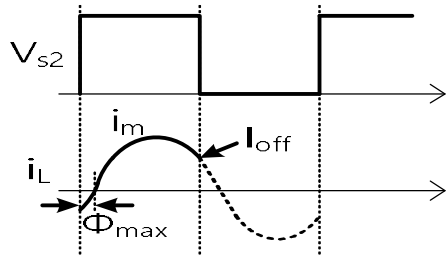


그림 2 IH 인버터 스위치 전압 및 전류 파형도
Fig. 2 Waveform of IH inverter switch voltage and current

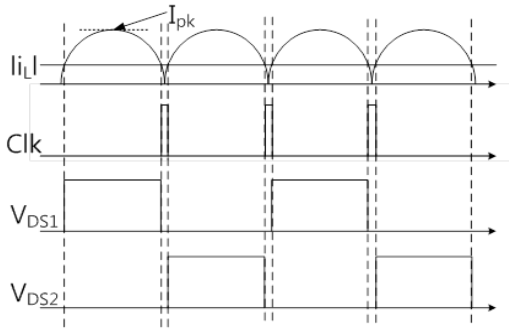


그림 3 공진점 추적 제어 동작원리 파형도
Fig. 3 Waveform to resonance point tracking control operation principle

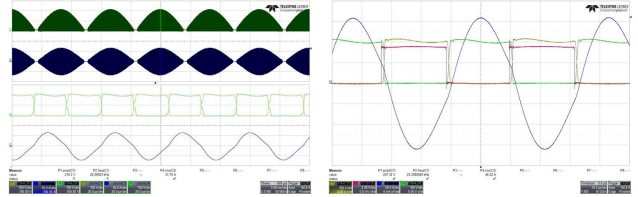
작을 경우 Clk을 발생시키게 되며, Clk이 High이면 스위치 상태를 변화시킨다. 이때 설정한 I_{th} 와 I_L 이 교차하는 곳에서 스위치 상태가 변하기 때문에 Turn off 전력 손실을 최소화할 수 있다.

2.2 제안된 공진점 추적 제어 기법을 적용한 Induction heating 인버터의 실험 결과

공진점 추적 제어 기법을 적용한 Induction heating 직렬 공진형 인버터의 타당성 및 우수성 검증을 위해 3.6kW Induction Heating 인버터 회로를 위한 시작품을 제작하여 다음과 같은 실험결과를 제시한다. 공진점 추적 제어를 위해 DSP를 사용하였으며 설계를 위한 입출력 사양과 실험에 사용된 주요 파라미터는 다음과 같다.

- 입력 전압 : 220V_{ac}
- 최대 출력 전력 : 3.6kW
- 공진점 추적 제어 구간 스위칭 주파수 : 45kHz
- IGBT : FGH40N60SMD(600V/40A)
- DSP : TMS320X28335
- IH Coil : 55uH
- 공진 캐패시터 : $C_{r1}, C_{r2} = 170nF$

그림 4(a)는 제안된 공진점 추적 제어 기법을 적용한 IH 직렬 공진형 인버터 회로의 3.6W급 스위치 양단 전압(V_{ds}), IH Coil 전류 파형이고 그림 4(b)는 V_{ds} , IH Coil 전류 확대 파형이다. 스위치 V_{ds} 전압 파형과 IH Coil 전류 파형은 앞서 제시한 이론적 분석과 동일함을 확인할 수 있었다. 또한 낮은 Turn off 전류에서 영전압 스위칭을 하기 때문에 전력 손실을 최소화할 수 있어 최대 94.2%의 높은 효율로 동작하여 제안 기법을 적용한 인버터 회로의 우수함을 실험을 통해 검증하였다.



(a) V_{ds} , IH Coil 전류 파형 (b) V_{ds} , IH Coil 전류 확대 파형
그림 4 공진점 추적 제어 기법을 적용한 제안 회로의 주요 전압 전류 파형

Fig. 4 Main voltage and current waveforms to applying resonance point tracking control techniques

다. 따라서 위의 실험 결과를 통해 제안된 기법을 적용한 공진점 추적 제어 기법은 Turn off가 높아 효율이 낮은 다른 전자제품 회로에도 적용 가능할 것으로 기대된다.

3. 결론

기존의 Induction Heating 인버터 동작의 경우 주파수 변조 제어방식으로 부하 파라미터(R_{eq} , L_{eq})에 의해 결정되는 공진주파수에 상관없이 영전압 스위칭(Zero Voltage Switching)이 가능한 높은 스위칭 주파수로 동작한다. 또한 이러한 인버터 구동 제어 기법은 높은 Turn off를 가지기 때문에 전력손실이 매우 크다. 따라서 발열량이 많아 Heat sink 크기가 증가하고 이로 인해 시스템 전체의 부피 증가 및 제작 단가가 증가하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존 IH 직렬 공진형 인버터를 공진점 추적 제어기법으로 동작하여 낮은 Turn off 전류를 가지고 ZVS 할 수 있는 공진점 추적 제어 기법을 적용한 IH 인버터를 제안하였다. 이론적 분석과 모의 실험을 통해 제안회로의 타당성 검증하였으며, 3.6kW급 IH 직렬 공진형 인버터 구동회로 시작품을 제작하여 실험을 수행하였다.

실험 결과 제안된 공진점 추적 제어 기법은 부하의 변화에도 공진점 추적을 하여 낮은 Turn off 전류를 갖는 것을 확인하였다. 또한 스위칭 전력 손실을 최소화 하여 발열량이 감소하였고 Heat sink를 최소화 하였으며, 효율 또한 우수함을 확인하였다. 최종적으로 제안된 공진점 추적 제어 기법은 부하 변화가 큰 IH 인버터 회로에 매우 적합할 뿐만 아니라, 부하 변화가 많고 높은 Turn off 전류를 가지는 다른 전자제품 회로에도 적용 가능할 것으로 기대된다.

본 연구는 삼성전자(주)의 연구비 지원과 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학ICT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA 2014 H0301 14 1005)

참고 문헌

- [1] Bishwajit Saha, Khairy Fathy, Soon Kurl Kwon, Hyun Woo Lee, and Mutsuo Nakaoka, "Induction Heated Load Resonant Tank High Frequency Inverter with Asymmetrical Auxiliary Active Edge Resonant Soft Switching Scheme", 전력전자학회, 2006년도 전력전자학술대회 논문집, pp. 200-202.
- [2] 강경수, 김상연, 노정욱 "Fan Motor 구동용 인버터의 내압 저감을 위한 Dual 공진 강압형 DC/DC 컨버터", 전력전자학회, 2013년도 전력전자학술대회 논문집, pp. 362-363.