

유도가열 시스템의 자동 공진 추적기법

박지호*, 임상길*, 정대원**, 이상훈***, 박성준*
전남대학교*, 호남대학교**, 한국승강기대학***

Research for Automatic Resonant Tracking Method of induction heating systems

Ji Ho Park*, Sang Gil Lim*, Dae Won Jeong**, Sang Hoon Lee***, Sung Jun Park*
Chonnam National University*, Honam University**, Korea Lift College***

ABSTRACT

유도가열의 경우 고효율, 자동화, 에너지절약, 적정온도제어 등을 하기 때문에 작업환경의 개선 및 접근성에 대한 많은 이점이 있어 널리 이용되고 있다. 최근 공진특성을 이용한 고효율화를 이룬 전력변환기에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 공진을 이용한 유도가열의 경우 인덕턴스와 커패시턴스의 공진점을 추출해야하는데 작업자의 환경이나 코일의 재질 등이 균일하지 않으므로 매번 공진점을 추종해야하는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 자동으로 공진점을 추적하는 알고리즘을 제안하였고 실험을 통하여 이를 검증하였다.

1. 유도가열 시스템

페러데이의 전자기 법칙을 이용한 유도가열기는 일반적으로 물체의 가열을 위한 목적으로 사용된다. 최근 전력반도체의 눈부신 성장으로 인해 스위칭 범위가 수십kHz~수백kHz에 이르는 고주파 공진형 전력 변환기의 개발 및 연구가 활발히 진행되어 유도가열 시스템의 적용 범위가 확대되고 있다. 기본적으로 유도가열은 도체에 고주파 자장을 인가하게 되면 도체 내부에서 와전류가 발생하게 되는데 와전류는 도체가 가지고 있는 표피저항으로 인해 와전류 손실이 발생하게 되며 이 손실은 줄의 법칙에 따라 열에너지로 변환되어 나타난다. 때문에 고정 공진 주파수가 존재할 때 도체 혹은 피가열 물체를 두르고 있는 워킹 코일의 형상 및 인덕턴스의 균일화가 필요하게 된다. 이는 워킹 코일의 재질, 형상, 두께 등 다양한 사항들을 고려해야 하고 고주파 유도가열기에 사용되는 위상제어기는 인버터의 출력 전류 및 전압의 위상을 사용하여 공진주파수를 추종하게 된다. 이 방식의 경우 스위칭 서지 및 부하의 크기에 따라 위상 왜곡이 발생하여 정확한 공진 주파수의 추종이 어려운 단점이 있다. 본 논문에서는 부하의 크기 및 워킹 코일의 인덕턴스 변화에도 자동으로 공진 주파수를 효과적으로 추종하는 디지털 제어 알고리즘을 제안한다.^[1]

2. 공진형 고주파 유도가열 시스템

2.1. 기존의 고주파 공진형 유도가열 시스템

본 논문에서는 기본적으로 병렬 공진 방식과 전류형 인버터를 사용하여 유도가열 시스템을 구성하였다. 전류형 인버터의 경우 보호의 강인성에 대한 장점이 있으나 입력 측의 PFC

를 이루기 위한 복잡한 시퀀스 회로가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 토폴로지를 변형하여 PFC를 이루고 회로의 강인성을 확보한 전류형 인버터를 적용하여 유도가열 시스템을 구성하였다.

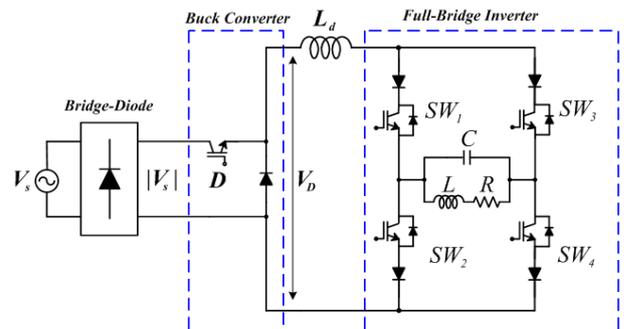


그림 1 본 논문에 적용한 유도가열 시스템
Fig. 1 Applied induction heating systems in this paper

그림 1과 같이 AC 전원을 정류하여 DC 전원으로 만들고 백 컨버터를 구성하여 입력측 전원을 제어한다. 제어된 전원은 전류형 인버터의 전원으로 이용 되고, 부하단은 커패시터와 인덕터를 병렬로 연결하여 공진을 이룬다. 워킹코일의 경우 일정한 임피던스 성분을 포함 하는데 워킹코일의 인덕턴스와 병렬로 연결된 커패시턴스의 값을 알게 되면 공진주파수를 추종할 수 있게 된다.

하지만 여기서 존재하는 인덕턴스의 경우 워킹 코일의 형상 및 재질 그리고 제작하는 제작자를 비롯해 여러 조건들에 의해 비균일한 인덕턴스가 생기게 되어 시스템을 제작할 때마다 인덕턴스를 측정하고, 이에 맞는 공진주파수를 새롭게 설정해줘야 하는 단점이 있다.

2.2. 공진형 유도가열 시스템의 자동 공진 추적기법

일반적으로 사용되는 공진 추적기법의 경우 부하상태의 변화에 따라 출력전압 및 전류를 센싱하여 가변되는 PWM을 추종하는 방식을 사용한다. 하지만 본 논문의 경우 일정한 PWM을 발생하고 있는 전력변환기에서 센서를 최소한으로 사용하여 디지털로써만 제어를 하는 방식을 채택하였다.

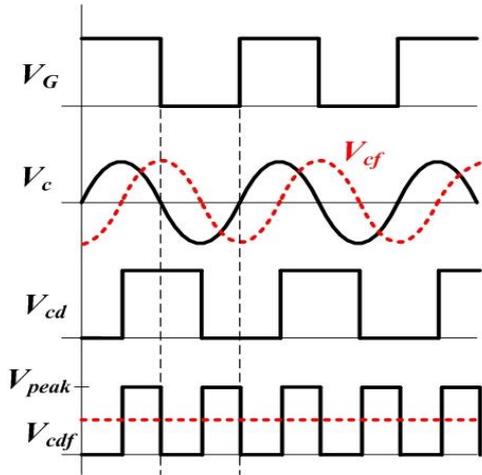


그림 2 제안한 자동공진추적기법 알고리즘
Fig. 2 Proposed automatic resonant tracking algorithm

그림 2에 보여지는 V_G 는 인버터에서 스위치에 인가되는 전압이고, V_c 는 부하단 커패시터의 전압이다. 이 두 전압이 동위상일때 우리는 공진이라 칭한다. 여기서 V_c 를 All Pass Filter를 거쳐 90° 지연시킨 것이 V_{cf} 이다. 이렇게 지연된 V_{cf} 를 기준으로 V_{cd} 라는 디지털 신호를 발생시킨다. 이렇게 발생된 V_G 와 V_{cd} 를 EX OR 게이트를 거치게 되면 최종적으로 V_{peak} 이고 Duty비 0.5를 가지는 V_{cdf} 가 발생하게 된다. V_{cdf} 의 평균 전압은 V_{peak} 가 5V라고 가정할 때 평균 2.5V가 된다.

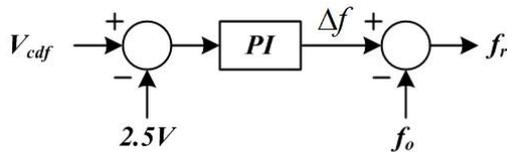


그림 3 제안된 알고리즘의 블록도
Fig. 3 Proposed algorithm block diagram

이와 같은 과정을 얻어내게 되면 PI제어를 통해 공진 주파수를 추종하는 방식을 사용하고 이를 블록도로 나타내면 그림 3과 같다. 여기서 2.5V를 기준으로 일정 전압 ΔV 의 변동까지는 허용 주파수로 인식하며, 이를 벗어날 경우 다시 공진 주파수를 추정한다.

3. 실험 결과

본 연구에서 제안한 자동 공진 추적 알고리즘에 관한 출력 파형은 그림 4에 나타나 있다. 기본으로 스위칭 하는 스위칭 전압 V_G 와 90° 지연된 V_{cd} 파형을 나타내고 있으며 이를 EX OR 시킨 V_{cdf} 이 최종적으로 출력됨을 확인 할 수 있다.

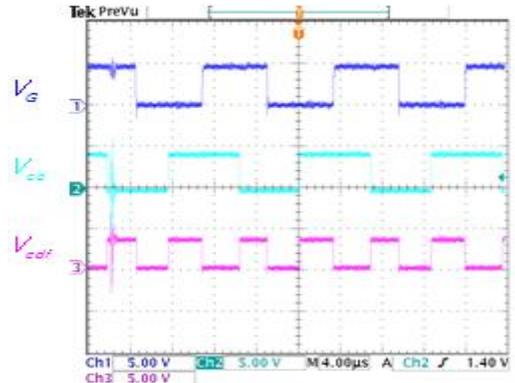


그림 4 알고리즘이 적용된 출력 파형
Fig. 4 Output wave of applied algorithm

여기서 V_{cdf} 의 경우 Peak 전압이 5V 이며 평균 전압은 2.5V임을 확인 할 수 있다. 이에 따라 공진 주파수의 허용 범위임을 확인하고 그에 따른 스위칭 주파수를 설정하게 된다. 설정된 공진주파수으로써 인버터의 스위칭을 하게 된다.

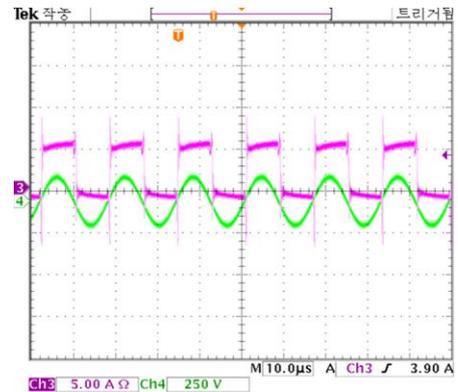


그림 5 자동공진 추종 출력 파형
FIG. 5 Output waveform of automatic resonance tracking

그림 5는 자동공진 추적 알고리즘을 통한 허용주파수 범위 내의 출력파형이다. 허용주파수는 약 60~70kHz 사이로 설정하였다.

4. 결론

본 논문에서는 공진형 인버터를 사용한 유도가열 시스템의 자동 공진 추적기법으로 워킹 코일의 인덕턴스 변화에도 자동으로 공진점을 추종함으로써 유도가열 시스템의 편의성을 향상시키고, 피가열 물체에 의한 공진점 변화를 추종함으로써 신뢰성을 확보하였다.

참고 문헌

[1] L. Grajales, J. A. Sabate and F. C. Lee. "Design of a 10kW, 500kHz Phase-Shifted Controlled Series-Resonant Inverter for Induction Heating". IEEE-IAS Conf. Rec., Vol 2. pp. 843-849. 1993.