

인터리브드 방식과 전류원 인버터를 통한 단조용 유도가열 전원장치 설계

이창우, 최승수, 김인동, 정장한, 서동환
부경대학교 전기공학과, (주)가운

Design of induction heating power supply for forging by interleaved method and current source inverter

Changwoo Lee, Seung Soo Choi, In Dong Kim, Jang Han Jung, Dong Hoan Seo
Pukyong National University, Gaon Co., LTD.

ABSTRACT

유도가열은 전자기 유도 현상을 이용하여 금속체를 직접 가열하는 방식이며 높은 변환 효율로 전기에너지를 열에너지로 변환할 있다. 이로 인해 금속의 단조, 용해, 표면경화, 풀림 등 여러 응용분야를 통해 철강 및 기계 산업에 기여하고 있다. 단조용 유도가열기 전원장치는 높은 전력용량을 사용하여 주로 SCR을 이용한 위상제어 정류기를 적용한다. 하지만 입력단의 저 역률 및 전류의 THD가 높은 단점을 가진다. 따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 단조용 유도가열 작업에 맞는 인터리브드 방식의 벽 컨버터와 전류원 인버터를 사용한 고효율 유도가열 전원장치를 제안한다.

로방식은 직렬 공진회로방식에 비해 가열코일에 흐르는 전류가 인버터 전류용량의 Q배에 해당되는 큰 전류를 흘려 코일내 단조용 금속의 급속 가열을 용이하게 하는 장점을 가지고 있다. 하지만 입력단의 저 역률 및 전류의 THD가 높은 단점을 가진다. 따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 단조용 유도가열 작업에 맞는 인터리브드 방식의 벽 컨버터와 부하 탱크회로의 공진주파수와 전류원 인버터 동작주파수와 같게 제어하는 알고리즘을 통해 고효율 유도가열 전원장치를 제안한다.

2. 본 론

2.1 제안하는 전원 장치의 전력 회로

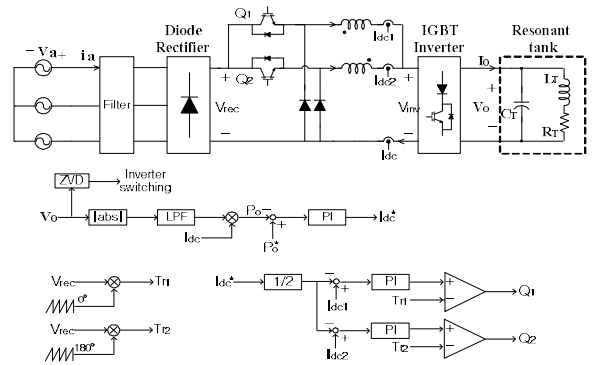
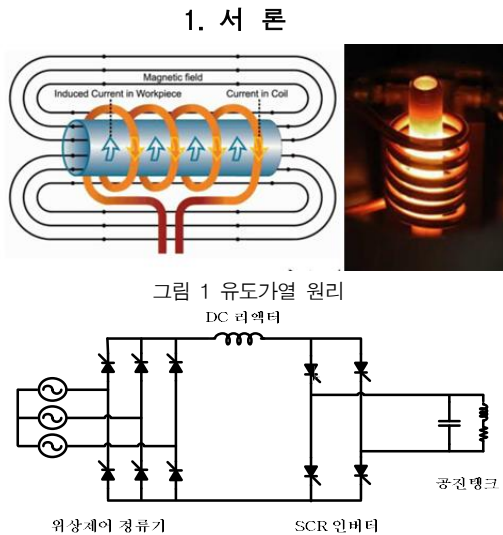


그림 3 제안하는 단조용 유도가열 전원 장치

유도가열은 그림1과 같이 전자기 유도현상을 이용하여 교번 자계에 의해 도체나 자성체에 발생하는 와전류손 또는 히스테리시스 손을 통해 금속체를 직접 가열시키는 방법으로 전기에너지를 연전달 매질을 이용하지 않고 많은 양의 열에너지로 짧은 시간 내에 변환시켜 코일 내 도체를 가열 할 수 있다. 이로 인해 철강 산업과 기계 산업의 발달과 더불어 금속의 단조, 용해, 표면경화, 풀림등 주요 응용분야에 널리 사용되고 있다. 이로 인해 현재 널리 사용되고 있는 단조용 유도가열 전원장치는 높은 전력용량을 필요로 하기에 SCR과 같은 전력반도체를 사용한 전원장치로 병렬 공진회로 방식을 적용한다. 병렬공진회

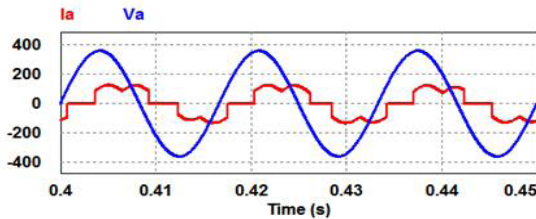
그림 3은 본 논문에서 제안하는 단조용 유도가열 전원 장치 회로도 이다. 제안하는 단조용 유도가열 전원장치는 역률 개선용 입력 필터+다이오드 정류기+2상 인터리브드 방식의 벽컨버터+IGBT 인버터로 구성된 회로이다. 정류기의 출력 전압을 조절하기 위해 위상제어를 사용하는 SCR과 달리 2상 인터리브드 방식의 벽 컨버터를 추가하여 온도에 따른 부하 변동에 대해 일정한 전력을 공급한다. 또한 인터리브드 방식을 통해 DC LINK 전류 리플은 최대한 줄일 수 있도록 한다. 또 한 적합한 IGBT를 이용하여 유도가열 부하탱크의 공진주파수와 같은 스위칭 주파수로 동작함으로써 공진 회로 내에 무효전력, 스위칭으로 인한 손실을 감소시켜 넓고 안정된 출력을 얻을 수 있도록 전체적인 유도가열의 원리와 등가회로를 해석하여 실제 부하회로에 대한 시뮬레이션을 통해 안정성과 효율성이 좋은 유도가열 전원장치 시스템을 결정하였다.

2.2 시뮬레이션

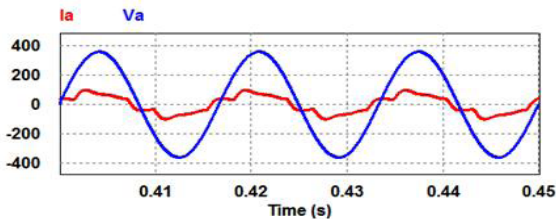
표 1 코일내 가열체 유, 무에 대한 공진탱크 부하의 특성변화

구분	1 kHz		4 kHz		10 kHz		
	R [mΩ]	L [uH]	R [mΩ]	L [uH]	R [mΩ]	L [uH]	
중 코 일	무부하	8	24.8	14.5	24.4	24.2	
	전부하	77.7	32.1	162	25.7	267	23.2
대 코 일	무부하	9	24.3	15.6	23.9	27	23.7
	전부하	101	33.8	209	25.6	345	22.43
	전부하	27	26.7	94	24.9	255	26.2

기존의 유도 가열기를 통해 가열 전 코일의 가열체 유, 무에 대한 인덕터 및 부하는 표 1과 같다. 입력 선간 전압은 AC 440V 60Hz, 출력 전력은 40kW로 일정하게 유지하도록 전력 제어하며 DC LINK 전류 리플은 20% 이내로 각 상의 인덕터를 설계 하였으며 AC 필터를 통해 역률은 95%, 입력 전류 THD는 25%이내로 설계 조건에 두고 기존의 유도가열 전원장치와 비교 하였다.

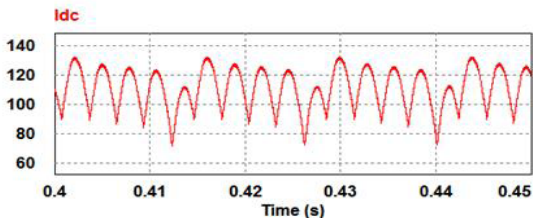


(a) 기존의 단조용 유도가열 장치

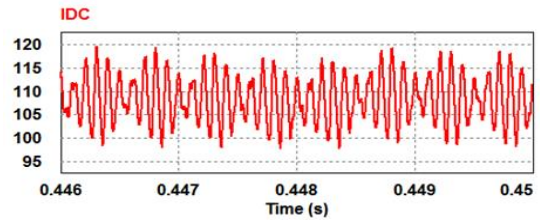


(b) 제안하는 단조용 유도가열 장치

그림 4 각각의 전원장치에 대한 입력 측 상 전압, 선 전류 파형



(a) 기존의 단조용 유도가열 장치



(b) 제안하는 단조용 유도가열 장치

그림 5 각각의 전원장치에 대한 DC Link 전류 그래프 파형

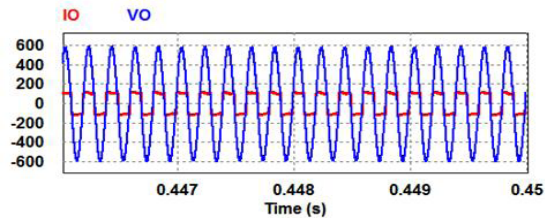


그림 6 공진주파수 5kHz에 대한 인버터 출력 측 전압, 전류 파형 표1을 바탕으로 $R_f=0.15\Omega$, $C_f=103\mu F$, $L_f=25\mu H$ 선정 하였으며 이때 공진주파수는 5kHz 이다. 그림 4와 같이 40kW에서 제안하는 유도가열 장치의 역률은 95%, 선 전류의 THD는 19.2%이다. 그림 5에서는 출력 전류 i_o 는 176.97A, 출력 전압 v_o 는 252.46V이며 이때 인버터 입력 리플을 ΔI_{dc} 는 12.69%이며 기존의 유도가열 장치에 비해 좋은 특성을 가지고 있다. 그림 6에서는 부하의 공진주파수와 동일한 주파수로 인버터가 동작한다.

3. 결론

본 논문에서는 기존의 유도가열전원 장치의 개선사항을 바탕으로 단조용 고효율 고폭률 대전력 유도가열 전원장치를 위한 정류기 토폴로지를 제시하였으며 시뮬레이션을 통해 그림 3과 같이 제시한 다이오드 정류기+2상 인터리브드 방식의 벽 컨버터+IGBT 인버터로 구성된 전원장치의 특성이 더 뛰어나다는 것을 확인 하였다. 따라서 단조용 유도가열 시스템에서 제안하는 전원장치의 시스템이 많이 사용 될 것으로 예상된다.

이 논문은 중소기업청에서 지원하는 2016년도 산학협력 기술개발사업(No.C0442428)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고 문헌

- [1] D. M. Divan and G. L. skibinski, "Zero Switching Loss Inverters for High Power Applications," IEEE IAS, Rec., vol. 25, no. 4, pp. 634 643, 1989.
- [2] R. Fuentes, "Design Aspects and Experimental Results of a High Power Factor Induction Heating System" 2009 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, pp. 373 377, 2009