

共振回로를 이용한 誘導加熱用 部分循環電流形 사이크로컨버터에 관한 研究

金 炫 中 曹 圭 珉 金 榮 石

仁荷大學校 電氣工學科

A Study of the Partial Circulating Current Type Cycloconverter with a Resonant Circuit for Induction Heating

Kim, Hyun Jung Cho, Kyu Min Kim, Young Seok

Dept. of Electrical Eng., INHA University

Abstract

This paper presents a study of the partial circulating current type cycloconverter with a resonant circuit for induction heating. A method of input power factor improvement is proposed. Since the circulating currents flow through the circulating current reactors, the output currents are continuous and sinusoid. The proposed cycloconverter can keep the displacement factor at 1.0 by PWM control method regardless of load.

The control functions are derived, the operational principles are described and the simulation and experimental results are presented.

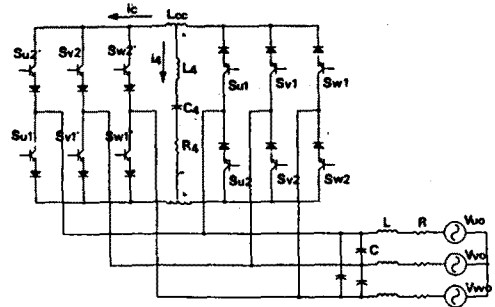


그림 1. 주회로도

1. 서론

유도가열용 전원장치로서는 주회로가 간단하고 전력제어가 용이한 고주파 인버터가 널리 사용되고 있다. 그러나 인버터는 변환효율이 낮고 입력측에 무효전력과 고조파가 발생하는 단점이 있다. 그러므로 변환효율을 향상시키고 무효전력과 고조파저감을 동시에 실현할 수 있는 유도가열용 전원장치로서 비순환전류형과 순환전류형의 장점을 이용한 부분순환전류형 사이크로컨버터를 유도가열용 전원으로써 제안한다. 부분순환전류형 사이크로컨버터는 전류의 절환시점에서는 순환전류형 사이크로컨버터로 동작하고 그 외의 구간에서는 비순환전류형으로 동작하여 안정된 동작을 하며 변환효율을 증대시킬 수 있다.

본 논문에서는 그 동작원리를 논하고 그에 따른 제어함수 및 상태방정식을 도출하여 시뮬레이션과 실험을 통해 제안된 사이크로컨버터가 상용주파전력을 고주파전력으로 직접 변환하여 변환효율을 개선하고, 무효전력을 제어함으로써 입력전압과 입력전류의 위상이 거의 일치하여 입력기본파역률이 1이 되고 입력전류도 거의 정현파가 되어 종합입력역률을 1에 가깝게 할 수 있음을 보인다.

2. 주회로 구성

그림 1은 제안된 사이크로컨버터의 주회로구성을 나타낸다. 주회로는 3상상용전원, 입력필터, 사이크로컨버터, 순환전류리액터, 부하회로로 구성되며 입력필터부의 R은 필터리액터의 권선저항이고 L은 필터인덕턴스이다. 필터콘덴서 C는 L과 입력필터부를 구성하고 스위칭에 의한 고조파전류를 흡수하며 스위칭 주파수가 높은 경우에는 콘덴서 C는 작아도 된다. 그리고 부하회로는 유도가열부하 R4, L4와 역률개선을 콘덴서 C4에 의한 직렬공진회로를 구성한다. 순환전류리액터는 양 컨버터의 사이에 구성되며 부하와 연결된다.

3. 제어함수와 동작원리

입력전원 1주기는 각각의 대소관계에 의해 그림 2와 같이 6개의 mode로 나눌 수 있다. 입력 선간전압이 부하측으로 전력을 공급하기 위해서는 입력전류를 정현파로 하는 것이 좋다. 그래서 본 논문에서는 입력전류를 정현파에 근사시키기 위하여 3 종류의 입력 선간전압 V_{uv}, V_{vw}, V_{wu} 를 사용하여 출력전압을 실현하고 있다. 이를 2상 스잇칭으로 실현하면 그림 2에 표시된 것과 같이 mode 1에 있어서는 u상 전압이 최대이기 때문에 이용할 수 있는 입력 선간전압은 V_{uv}, V_{wu} 이다. 그러므로 다음의 관계를 이용한다.

$$V_{ab} = a_0 * V_{uu} + a_2 * V_{uv} + a_1 * V_{wu} \quad (1)$$

$$\text{단, } a_0 + a_1 + a_2 = 1 \quad (2)$$

(1)식의 a_1 은 V_{vw} 가 출력되는 기간이고, a_2 는 V_{uv} 가 출력되는 기간이며, a_0 은 0 전압을 출력하고 출력전압 조절을 위한 기간이다.

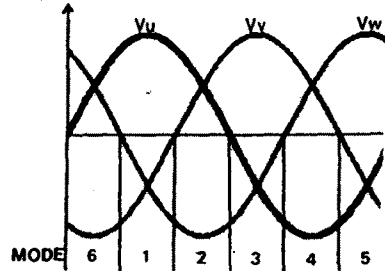


그림 2. 전원전압파형과 mode 구분

여기서 a0, a1, a2가 제어함수가 되고 이것은 2 종류의 입력 선간전압을 출력반주기내에서 출력하는 비율을 표시한다.

제어함수 a1, a2는 다음과 같다.

$$a1 = \frac{(V_{vw} - V_{wu}) * V_{ab}}{V_{uv}^2 + V_{vw}^2 + V_{wu}^2}$$

$$a2 = \frac{(V_{uv} - V_{vw}) * V_{ab}}{V_{uv}^2 + V_{vw}^2 + V_{wu}^2} \quad (3)$$

다른 mode에 있어서의 제어함수 a1, a2도 위와 같은 방법으로 구할수 있다.

이상의 제어함수를 이용한 동작원리는 다음과 같다. 부하 공진주파수에 동조하여 선간전압의 차에 의해 구분된 각 mode별로 양의 출력전류가 흐르는 구간은 출력전압지령치 Vab*, 음의 출력전류가 흐르는 구간은 -Vab*를 발생함으로써 부하에 교류가 인가되도록 한다. 그리고 부하전류가 0인 점에서 선간전압을 인가시킴으로써 스위칭 스트레스를 저감시키고 사이크로컨버터측에서 본 부하역률을 개선하며 큰 선간전압을 출력반주기내에서 부하전류가 클 때 인가하여 입력전류가 거의 정현파에 가까운 형태를 가지게 한다. 그리고 전류의 절환시점에서는 순환전류형으로 동작하여 정공과 부근의 콘버터를 동시에 동작시켜 양단에 같은 전압이 인가되어 순환전류리액터의 양단에 전압이 인가되지 않고 자기유발성분에 의해 순환전류가 양 콘버터에 흐르게 되어 전류의 단속없이 부하전류는 연속적으로 정현파가 된다. 그리고 그외의 구간에서는 비순환전류형으로 동작하여 전류의 부하에 따라 정공 및 부근콘버터중 한 콘버터만이 동작하여 부하에 전력을 공급한다.

그림 3에 mode 1의 예로서 출력 한 주기의 파형 및 스위칭 패턴을 나타내었다.

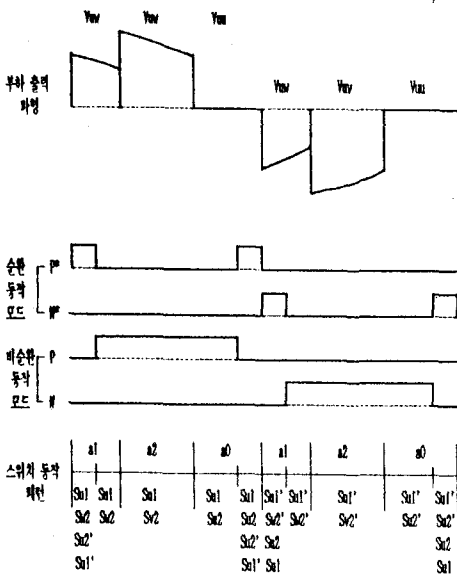


그림 3. 출력한주기의 파형 및 스위칭 패턴

4. 제어회로의 구성

그림 4는 전체 시스템의 블록도이다. 입력전원은 입력필터부 및 사이크로컨버터를 통해 전력을 공급하고 있다. 점선으로 표시된 부분은 제어부로서 사이크로컨버터의 스위칭소자를 구동시키기 위한 제어신호를 발생시킨다. 입력전원 U

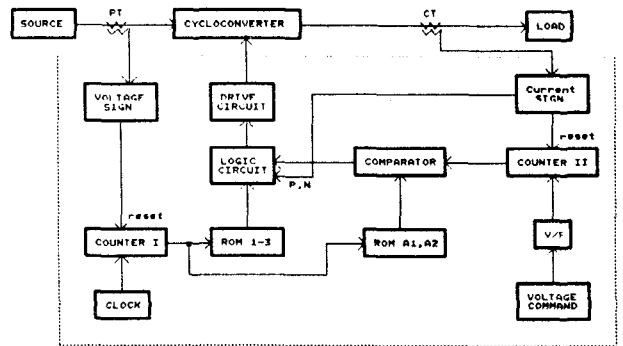


그림 4. 전체시스템의 블록도

상의 한 주기를 기준으로 구분된 각 모드별 a1, a2값이 ROM A1, A2에 입력되어 있고 V/F에서 출력되는 값과 비교되어 제어함수 a1, a2, a0를 출력하게 된다. 그리고 부하전류검출기(CT)의 출력파형에 따른 부하전류의 부호판별과 ROM 1, 2, 3의 각 모드별 스위칭동작 내용이 제어함수와 논리부를 통해 최종적인 제어신호를 발생한다.

그림 5는 각 모드별 순환전류형 동작내용과 비순환전류형 동작내용이다. 여기서 '1'은 스위치가 ON됨을 나타내고 '0'은 OFF됨을 나타낸다.

MODE	정공 콘버터						부근 콘버터												
	Sw1		Sw2		Sw1'		Sw1'		Sw2'		Sw1'								
	a1	a2	a1	a2	a1	a2	a1	a2	a1	a2	a1	a2							
1-1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
1-2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2-1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
2-2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
3-1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-2	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4-1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4-2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5-1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5-2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6-1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6-2	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

그림 5. 각 스위치의 mode별 동작내용

5. 시뮬레이션 및 실험결과

시뮬레이션에 의해 얻은 결과들은 다음과 같다. 그림 6은 부하전압과 부하전류의 파형이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 부하전류가 0일 때 선간전압이 인가되고 있으며 스위칭 스트레스를 줄일 수 있도록 제어되고 있다. 그림 7은 부하전류와 부하 콘덴서전압 파형으로 부하전류가 콘덴서전압보다 90도 앞서고 있음을 알 수 있다. 그림 8은 부하전류와 순환전류의 파형으로 부하전류가 영점부근에서 순환전류형으로 동작하여 전류의 절환이 안정되게 동작하고 있다. 그림 9는 전원전류와 전원전압파형으로 입력전류가 입력필터의 영향으로 다소 앞서지만 위상이 거의 일치하여 역률이 1에 가깝게 됨을 알 수 있으며 입력전류파형이 거의 정현파가 되어 종합역률 또한 1이 됨을 알 수 있다.

다음은 실험에 의해 얻어진 파형들로서 그림 10은 부하전류와 부하콘덴서전압의 파형으로서 그림 7과 같이 부하전류가 정현파임을 알 수 있으며 콘덴서 양단전압은 부하전류보다 90도 뒤져서 공진하고 있음을 알 수 있다. 그림 11은 정공 콘버터가 부담하는 전류파형과 부하전류파형으로 전류가 절환될 때 순환전류가 흐르고 있으며 전류절환이 안정되어 있음을 알 수 있다. 그림 12는 입력전류와 입력전압의 파형으로서 그림 9와 마찬가지로 위상이 거의 일치하여 입력역률이 1이 됨을 알 수 있다.

이상에 의해 부하에 공급되는 전력에 관계없이 입력측에

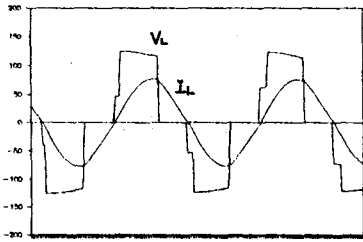


그림 6. 부하전압과 부하전류

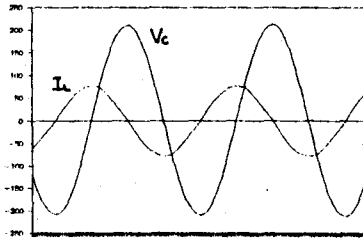


그림 7. 부하전류와 부하인덕터전압

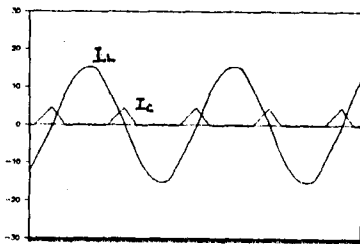


그림 8. 부하전류와 순환전류

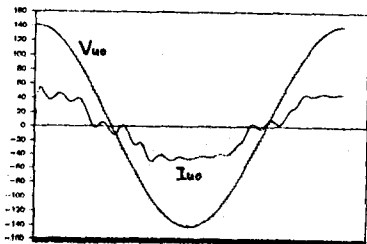


그림 9. 전원전압과 전원전류

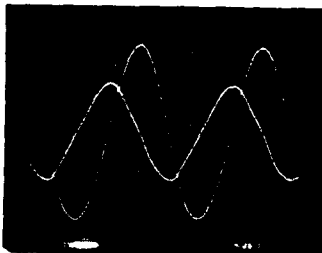


그림 10. 부하전류와 부하인덕터전압
($I_L: 5A/div, V_c: 50V/div, T: 50\mu s/div$)

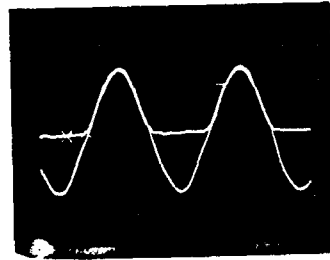


그림 11. 부하전류와 평균인버터전류
($I_L: 5A/div, I_p: 5A/div, T: 50\mu s/div$)



그림 12. 전원전류와 전원전압 (u상)
($I_{uo}: 2A/div, V_{uo}: 20V/div, T: 2ms/div$)

발생하는 무효전력을 제어하여 입력전류가 거의 정현파가 되고 전원전류와 전원전압의 위상이 일치하여 기본파역률 및 종합역률이 1이 됨을 보였으며 출력주파수는 2kHz에서의 고주파전력임을 보였다.

6. 결론

본 연구에서는 부하에 관계없이 입력측에 발생하는 무효 전력을 제어함으로써 입력전압과 입력전류의 위상이 거의 일치하여 입력기본파 역률이 1이 되었으며 입력전류는 거의 정현파가 되어 고조파 성분이 거의 나타나지 않았으며 종합 역률이 거의 1이 되었다. 출력전류가 0일 때 부하에 전압을 인가하므로 스위칭 스트레스를 적게 함과 동시에 출력역률을 개선할 수 있다. 그리고 부분순환전류형으로 동작하여 출력전류의 단속을 피함과 동시에 안정된 동작을 할 수 있다.

< 참고문헌 >

- [1] M. Hashimoto의 1인, "유도가열에 있어서의 고주파 스위칭 기술의 응용" 일본전기학회지, Vol.197, No.7, pp 656-658 (1987)
- [2] A. Ishiguro의 3인 "입력선간전압을 이용한 PWM 제어 사이크로컨버터의 출력전압 제어법" 일본전기학회 산업응용 부문 전국대회, pp 535-538 (1989)
- [3] S. B. Dewan의 1인 "A clamped AC-AC frequency converter for induction heating" IEEE, IAS, pp 1018-1026 (1986)
- [4] B. R. Pelly "Thyristor phase-controlled converters and cycloconverters" Wiley, pp 145-180 (1970)
- [5] 김 영석의 1인 "공진회로를 이용한 유도가열용 PWM 제어형 사이크로컨버터에 관한 연구" 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp 214-218 (1991)
- [6] 김 영석의 1인 "공진회로를 이용한 유도가열용 순환전류형 사이크로컨버터의 PWM 제어" 대한전기학회 전력전자연구회 춘계학술연구발표회 논문집, pp 12-15 (1992)