

PWM 전류주입방식에 의한 입력전류의 고조파 저감 연구

A Study on the Harmonic Reduction of Input current by PWM current injection scheme

박 민 호

서울대

최 규 학*

건국대

1. 서론

입력전류에 존재하는 고조파로 인해 통신장애, 회전기의 가열및 손실발생 그리고 전력용 커패시터의 손상 등의 문제뿐 아니라 공진으로 시스템의 과전압, 과전류가 발생되어 전력케이블의 절연파괴를 초래한다든지 반도체 제어 장치를 오동작시키는 등 많은 문제가 발생되고 있다. 더구나 최근에는 전력용 반도체 제어장치들의 개발과 사용이 증가되면서 이러한 문제는 더욱 심각해지고 있어 앞으로 이에 대한 대책이 절실히 요구될 것으로 여겨진다. 현재까지 연구되어 있는 고조파저감에 대한 해결책은 다음과 같다. (1)(2)

- 1) 필터 사용
- 2) 상수 증대
- 3) 고조파전류주입 (3)

이 중에서 고조파전류주입방식은 고조파전류를 직접 전원측으로 주입하여 입력전류내에 존재하는 고조파를 상쇄시키는 방법으로 우수한 고조파저감 특성을 가지고 있다. 그러나 총 고조파전류자체를 주입함은 불가능하므로 제3고조파를 주입 [3] 하는데 그 크기와 위상의 조정이 요구되어 부하변동의 대처에 곤란하다. 따라서 PWM 전류주입방식을 제시하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 전류주입방식의 실현시 나타나는 고조파특성을 산출하였다. 또한 보다 우수한 고조파저감특성을 갖기 위한 최적의 파라미터 설정에 관해서도 논의하였다.

2. PWM 전류주입방식

(1) 고조파 억제원리

그림1 과 같은 회로에서 부하가 선형이라 하더라도 다이리스터 콘버터에 의해 전원측에는 고조파가 나타나며 콘버터 종류나 제어방식에 따라 나타나는 고조파특성이 달라진다. 이때 콘버터는 부하로의 공급전력을 제어함과 동시에 전원에 대해 고조파 발생원으로 작용한다.

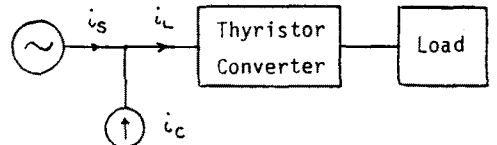


그림 1

지금 전원측에 흐르는 전류를 i_s 라 하면

$$i_s = i_{s1} + i_h \quad (1)$$

와 같이 기본파전류 i_{s1} 와 나머지 고조파의 총합 i_h 로 나누어지며 그림2와 같은 총 고조파가 흐르고 있을때 주입전류 i_c 를 다음 조건이 만족되도록 흘려주면 전원측에는 모든 고조파가 제거되어 정현파의 기본파만 남게 될 것이다.

$$i_c = i_h \quad (2)$$

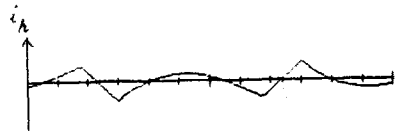


그림 2

(2) 주입전류의 펄스폭변조

앞서 언급한 바와 같이 고조파전류는 주입전류 i_c 가 식(2)의 조건을 만족할때 완전히 제거될 수 있다. 그러나 사실상 외부에서 그 파형 자체를 정확하게 주입함은 불가능하므로 그림3 과 같이 f_c 의 주파수를 갖는 캐리어 (carrier)에 의해 PWM 전류로 변조하고 이를 주입한다. 이때 i_{cm} 은 일정 크기 I_d 를 가지고, 변조에 의한 스위칭함수 $\alpha(\theta)$ 에 의해 다음으로 표현할 수 있으며

$$i_{cm} = I_d \cdot \alpha(\theta) \quad (3)$$

i_{cm} 의 주입으로 잔류 고조파 i_{hr} 이 남게 된다.

즉

$$i_{hr} = i_h - i_{cm} \quad (4)$$

이는 필터로써 용이하게 제거할 수 있을 것이다.

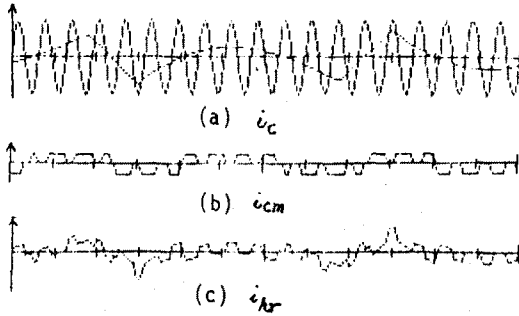


그림 3

3. 고조파특성해석

지금 다이리스터 컨버터를 교류 초퍼(AC chopper), 위상각 ϕ 를 갖는 유도성 부하라 하고 전원측에 일정한 형태의 고조파가 발생되고 있다고 하면 입력전류 i_s 는 그림 4 와 같은 고조파 스펙트럼을 가지며 총 고조파 i_h 는 I_h 의 실효치를 가진다.

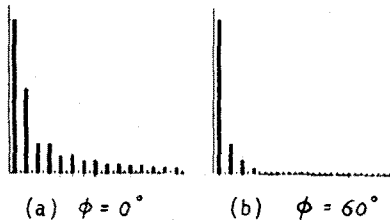


그림 4. 보상전 입력전류의 스펙트럼(정하각 90°)

일정한 변조방식에 의해 얻어진 전류 i_{cm} 을 주입함으로써 그림 5 와 같이 고조파의 함유정도를 상당히 저감시킬 수 있다.

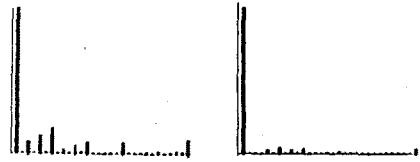


그림 5. 보상후 입력전류의 스펙트럼

이때 잔류 고조파 i_{hr} 의 실효치 I_{hr} 은

$$I_{hr}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (i_h - i_{cm})^2 d\theta \quad (5)$$

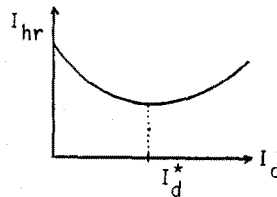
로 표현되는데 $\alpha(\theta)$ 의 실효치를 α_R 이라고 하고

$$S_\alpha = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_h \cdot \alpha d\theta \quad (6)$$

로 정의되는 S_α 에 의해 (5) 는 다시 다음으로 표현할 수 있다.

$$I_{hr}^2 = I_h^2 - 2 S_\alpha I_d + \alpha_R^2 I_d^2 \quad (7)$$

I_d 에 대한 I_{hr} 의 관계는 그림 6 과 같이 표현되며 여기서 I_{hr} 을 최소로 하는 주입전류의 최적치 I_d^* 는 다음과 같이 구해진다.



$$I_d^* = S_\alpha / \alpha_R^2 \quad (8)$$

그림 6

4. 결론

이상과 같이 PWM 전류주입방식의 고조파저감특성을 조사한 결과

- 1) 고조파전류의 주입으로 전반적인 고조파저감을 피할 수 있었고
- 2) 고조파는 변조방식과 주입전류의 크기에 따라 제어되나 I_d 에 의한 저감효과가 더욱 크다
- 3) I_{hr} 을 최소로 하는 최적의 I_d^* 가 존재하며 f_c 에 의해 크게 변동 되지 않는다.

5. 참고 문헌

1. IEEE Guide for Harmonic Control and Reactive Compensation of Static Power Converter, IEEE Std. 519-1981
2. IEEE Working Group on Power System Harmonics, "Power System Harmonics : An Overview," IEEE vol. PAS-102(8), 1983
3. B.M. Bird, J.F. Marsh & P.R. McLellan, "Harmonic reduction in multiplex converters by triple-frequency current injection," Proc. IEE, vol. 116(10), 1969