

펄스폭 변조방식 전류형 인버터를 이용한
초전도 에너지 저장장치의 전력제어 연구

'88 추계학술대회
'88 - A - 8

한 송 업
서울대학교

이 중 휘
서울대학교

A Study on power control method of SMES
using CSI with pulse-width modulation

Song - Yop Hahn
Seoul National Univ.

Joong - Hui Lee
Seoul National Univ.

Abstract

Simultaneous control of active and reactive power for superconducting magnetic energy storage is possible by a current source inverter with pulse-width modulation. And a current source inverter is useful to reduce low order harmonics.

In this paper, pulse generating method for pulse-width modulation is studied and harmonics with and without pulse-width modulation is compared.

1. 서 론

최근에 고온 초전도체가 출현함에 따라 초전도계로 및 이를 이용한 장치들에 대한 관심이 날로 높아져 가고 있다. 초전도체는 그 자체에 저항이 전혀 없다는 점에서 가히 혁명적이라 할 수 있겠다. 초전도체는 입자 가속기나 자기부상열차, 에너지 저장장치 등 응용 영역이 매우 넓다. 이 가운데 초전도 에너지 저장장치(Superconducting Magnetic Energy Storage : SMES)는 본래의 목적인 전력 에너지 저장 뿐만이 아니라 전력 부하조절이나 전력계통 안정화에 크게 기여할 것이 기대되며, 그에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

초전도 에너지 저장장치는 크게 나누어 초전도코일과

냉각 장치 그리고 에너지를 저장, 방출하는 컨버터의 세 부분으로 이루어져 있으며 컨버터로는 그라etz 브릿지(graetz bridge) 방식이 많이 쓰이고 있다.

이는 초전도 전력 저장장치의 유효, 무효전력의 동시 제어를 위한 것인데 그라etz 브릿지 방식에서는 지상의 무효전력만을 낼 수 있으며 고조파를 많이 줄일 수 없다.

본 고는 초전도 에너지 저장장치의 파워 컨버터에서 생기는 이와 같은 단점을 개선하기 위한 노력의 일환으로서 전류형 펄스폭 변조방식 인버터를 사용, 저차의 고조파를 줄이는 방안을 제시하였다. 또한 이러한 전류형 인버터를 초전도 에너지 저장장치에 사용할 경우 유효, 무효전력의 동시제어는 물론 진상, 동상의 무효전력까지도 낼 수 있다.

본 고에서는 삼각파와 3상 형태의 정현파를 비교하는 방식으로 반 주기당 7 개의 펄스를 발생시켜 교류속 전류의 펄스폭 변조방식 제어를 시도했으며, 이를 위해서 스위칭 소자로 GTO 를 적용하였다. 게이트 펄스의 주파수가 840 헤르쯔 [Hz] 이므로 스위칭 속도는 GTO 정도로 충분하다.

그리고, 고조파 성분의 계산에는 푸리에(Fourier) 급수의 전개식을 이용 하였으며, 펄스폭 변조방식을 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때의 고조파 성분 크기를 표를 만들어 비교하였다.

그림 1 은 전력계통에 연결된 초전도 에너지 저장장치와 이의 파워 컨버터로 쓰인 전류형 인버터이다.

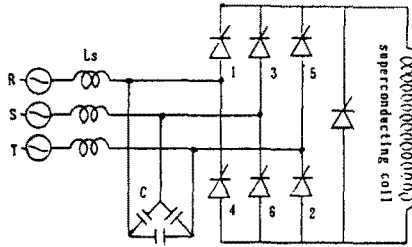


그림 1. 전류형 인버터와 초전도 에너지 저장장치

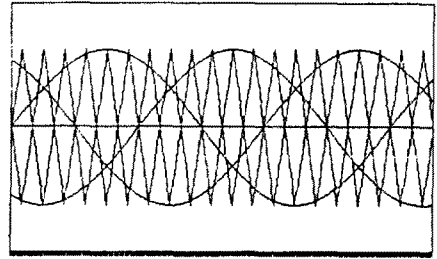


그림 2. 삼각파와 기준 3상 정현파

2. 시스템의 제어방법

(1) 전류 모드

전류형 인버터에서는 표1 과 같이 6 가지의 전류 모드를 사용할 수 있다.

위의 6 가지 모드에 프리 윙링 (free whiling) 모드를 더한 7 가지 형태를 적절히 고려해서 GTO 게이트 펄스를 만들 수 있다.

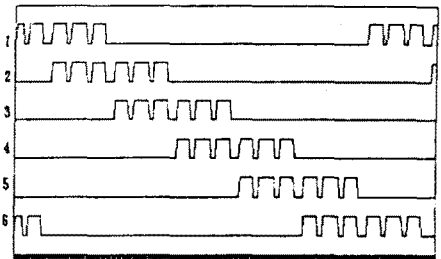


그림 3. 그림 2 의 파형에 의해 발생된 펄스

표 1. 전류형 인버터에서의 전류모드

모드 / GTO	1	2	3	4	5	6
1	*	*				
2		*	*			
3			*	*		
4				*	*	
5					*	*
6	*					*

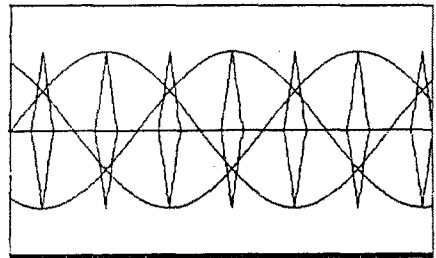


그림 4. 삼각파와 기준 3상 정현파

(2) 게이트 펄스 발생방법

펄스폭 변조방식 제어를 위한 게이트 펄스는 다음과 같은 방법으로 만든다.

I. 우선 그림 2 와 같은 형태의 삼각파 두가지를 발생시킨다.

II. 이 둘과 3상 형태의 정현파를 비교하여 정현파 증 양의 부분에서는 위의 삼각파 위 쪽을, 음의 부분에서는 아래 삼각파 아래쪽을 택해서 그림 4 와 같은 펄스를 발생시킨다.

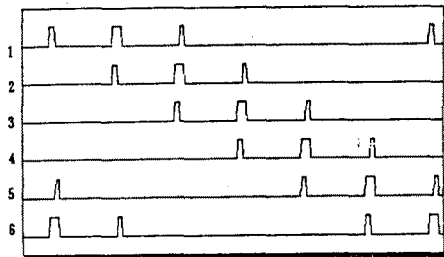


그림 5. 그림 4 의 파형에 의해 발생된 펄스

이 가운데 양의 부분에서 두 개의 정현파가 동시에 위의 삼각파 보다 큰 경우는 두 정현파 중 큰 쪽을, 음의 부분에서 두 개의 정현파가 동시에 아래 삼각파 보다 작은 경우에는 둘 중 작은 쪽을 택한다.

III. 이와는 별도로 그림 3 과 같은 두 개의 파형을 발생시켜 다시 3상 형태의 정현파와 비교한다. 이 때는 3상 정현파의 양의 부분에서 2개의 정현파가 동시에 위쪽 삼각파형 보다 작을 때만 두 정현파 중 작은 쪽을, 정현파의 음의 부분에서 동시에 아래쪽 삼각파형보다 큰 쪽을 택한다.

IV. 게이트 펄스는 위에서 택한 정현파들의 지속시간 동안 각 상에 대해 발생시킨다.

그림 4 과 그림 5 는 각각 그림 2 와 그림 3 에서와 같은 방법으로 발생시킨 펄스들이며, 이 둘을 다시 합하여 만들어 지는 것을 GTO 게이트 펄스로 쓴다.

(3) 전력 제어 방법

초전도 전력저장장치에서는 전류의 크기가 거의 일정하다고 볼 수 있으므로 여기에서의 피상전력은 전류를 흘리는 시간으로 조절할 수 있으며 이 시간은 바로 게이트 펄스의 지속 시간이다. 본 고에서는 3상 형태의 정현파를 삼각파와 비교함으로써 정현파를 크게하면 펄스의 지속시간이 길어져 피상전력이 커지고 정현파를 작게하면 지속시간이 짧아져 피상전력이 작아진다.

또, 전원 전압과 일정한 상차각을 유지하도록 게이트 펄스를 발생시켜 전류를 흐르게 할 수 있으므로 유효, 무효전력을 동시에 제어할 수 있음은 물론 진상 및 동상 무효전력 까지도 조절할 수 있다.

이 때, 유효 전력과 무효 전력은 각각

$$P = Pa \cos(\phi)$$

$$Q = Pa \sin(\phi)$$

P : 유효 전력

Q : 무효 전력

Pa : 피상 전력

ϕ : 전원 전압과 전류의 상차각

로 표현된다.

3. 전류 파형과 고조파

이상적인 경우, 즉, 초전도 코일의 인덕턴스가 무한대로 클 때, 초전도 코일의 전류는 일정하다. 이 때, 초전도 코일에 흐르는 전류가 10 [A] 라 가정하고 위에서 발생시킨 게이트 펄스에 의해 제어한 교류속 전류의 파형이 그림 6 에 있다.

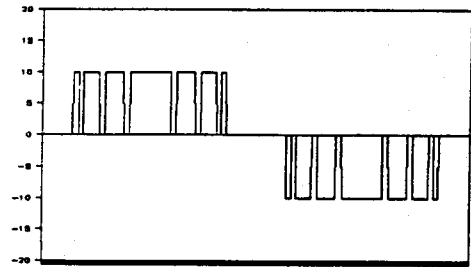


그림 6. 이상적인 경우 펄스폭 변조방식에 의한 전류

펄스폭 변조 방식을 이용해 교류속 전류를 그림 6 과 같이 제어하면 저차수 고조파를 줄일 수 있다.

고조파의 크기는 다음 식과 같이 푸리에 급수로 전개하여 살펴볼 수 있다.

$$f(t) = f(t) + \sum_{n=1}^{\infty} [An \cos(n\omega t) + Bn \sin(n\omega t)]$$

$$= f(t) + \sum_{n=1}^{\infty} [Cn \sin(n\omega t + \theta_n)]$$

$$An = 2/T \int_0^T f(t) \cos(n\omega t) dt$$

$$Bn = 2/T \int_0^T f(t) \sin(n\omega t) dt$$

$$Cn = \left(An^2 + Bn^2 \right)^{1/2}$$

$$\theta_n = \tan^{-1}(An / Bn)$$

즉, 위의 함수 f(t) 를 교류속 전류로 하면 이의 고조파의 크기는 Cn 으로 나타난다. 표 2 는 첫 식을 이용해 펄스폭 변조 방식을 사용하지 않았을 때와 사용했을 때의 고조파 성분의 기본파에 대한 비율을 구해서 비교한 것이다.

표 2. 고조파 성분 비교

차수	펄스변조방식을 쓰지 않은 경우	펄스변조방식을 쓴 경우
1	1.000	1.000
5	0.200	0.078
7	0.143	0.193
11	0.091	0.038

(5) S. B. Dewan, A. Straughen, " Power Semiconductor circuits ", John Wiley & Sons .inc, 1975

표 2로부터 고조파가 많이 감소했음을 볼 수 있다. 위의 게이트 펄스 발생 방법에 의하면 삼각파의 주파수를 크게할수록 게이트 펄스의 주파수도 높아지면서 고조파를 더욱 감소시킬 수 있을 것으로 기대되나 스위칭 주파수를 높이는 데는 한계가 있다.

4. 결 언

유효, 무효 전력의 동시제어나 진상, 동상의 무효 전력제어 그리고 교류측 전류의 주파수 감소라는 면에서 펄스폭 변조방식은 앞으로의 초전도 전력저장장치 응용에 큰 잇점을 줄 것이다.

앞으로 스위칭 주파수를 높이지 않고도 전류 고조파 성분을 더욱 감소시킬 수 있는 방안의 연구가 계속 되어야 하겠다.

5. 참고 문헌

(1) James. J. Skiles, Robert. L. Kustom, Ju WANG, " circuit configuration of the GTO converter for superconducting magnetic energy storage ", IEEE, 1988

(2) Hidefami Shirahama, Yoshimi Sakurai, Yasuo Matsuda, Yukio Ishigami, Katsuji Murai, " instataneous control Method with a GTO Converter for active and reactive powers in superconducting magnetic energy storage ", IEEE, 1988

(3) P. C. Sen, " Thyristor DC Drives ", John Wiley & Sons .inc, 1981

(4) S. B. Dewan, G. R. Stemon, A. Straughen, " Power semiconductor drives ", John Wiley & Sons .inc, 1984