

능동형 고류 전력 필터의 새로운 주입 방식  
A New Injection Method of Active AC Power Filter

박민호 서울대  
희규 하국대  
원충연 연\*전  
왕수 연\*대

1. 서 론

다이렉트리의 발달로 정류기와 같은 비선형 부하의 사용이 증가되었는데, 그 결과 전원에는 생기는 고조파 전류가 중요한 문제로 대두되었다. 그러한 고조파 성분을 줄이는 방법으로 shunt 필터와 같은 수동형 필터가 사용되어 왔다. 수동형 필터는 제거하고자 하는 고조파의 주파수에 공진하도록 하여 고조파를 제거시키며 또한 무효전력을 보상해 주는 장점이 있다. 그러나 제거하고자 하는 고조파의 수에 따라 필터의 수가 필요하며, 시스템의 주파수가 바뀌거나 온도 변화에 의한 필터 변수들이 바뀌면 거기에 따라 필터가 바뀌어야 한다.

이에 대한 개선책으로 최근에 능동형 고류 전력 필터(Active AC Power Filter)에 의한 고조파 저감 방식이 연구되고 있다. 능동형 필터는 고조파 보상원에 의해 교류전원측으로 고조파에 근사한 형태의 보상전류를 주입함으로써 고조파를 상쇄시키는 데, 이때 필터의 고조파 저감 특성은 전적으로 주입되는 보상전류의 파형에 좌우되며 그 보상전류의 파형은 필터내의 전류형인 버러의 스위칭 방식에 따라 결정된다.

본 연구에서 제시하는 새로운 주입 방식과 이론적 해석은 참고문헌 (5)에서 소개되었으므로

여기서는 아의 실현 방안에 대해 고찰해 보고자 한다.

2. 능동형 고류 전력 필터

(1) 동작 원리

지금 교류전원에 정류기가 그림 1 과 같이 연결되어 정상상태로 동작하고, 직류 부하측에는 일정한 크기의 전류  $I_d$  가 흐른다면 전원측에는 그림 2와 같이 폭  $\delta$  와 크기  $I_d$  를 갖는 구형파 전류 전류  $i_s$  가 흐르게 된다. 이때 정류기는 고조파  $i_h$  를 주기적으로 발생시키므로 전원에는 대해 고조파 발생원으로 작용한다. 비정현파 전류  $i_s$  의 푸리에(Fourier) 급수 표현은 1/4파 대칭성의 조건에서

$$i_s(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin n\theta \quad (1)$$

$$a_n = \frac{4I_d}{n\pi} \sin \frac{n\pi}{2} \sin \frac{n\delta}{2} \quad (2)$$

로 된다. 전류 폭  $\delta$  는 전류  $i_s$  가 반주기 동안 흐르는 기간을 나타내며 6-pulse converter 에서는  $\delta=120^\circ$  가 된다.

그림 1 에서와 같이 능동형 필터는 인버러와 보상전류원으로 구성되는데, 인버러를 동작시켜 얻어진 PWM 보상전류를 전원측으로 주입함으로써

전원전류에 내포되는 고조파를 상쇄시키게 된다. 이때 전원측에는 고조파 전류와 주입전류와의 파형의 상이성 때문에 잔류고조파만 남게 되는데 입력단에 부수적으로 HPF(High Pass Filter)를 연결하여 잔류고조파까지 제거할 수 있다.

그림 2는 6-pulse converter의 전원전류와 고조파 전류의 파형을 나타낸다.

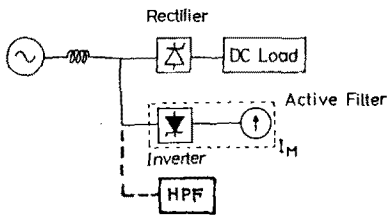


그림 1. 능동형 필터의 구성

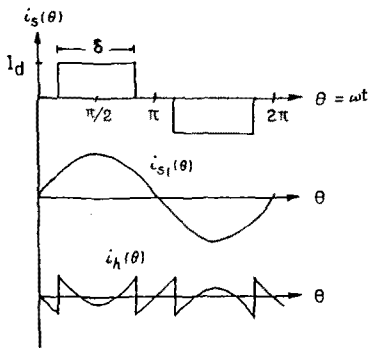


그림 2. 6-pulse converter의 전원전류와 고조파전류의 파형

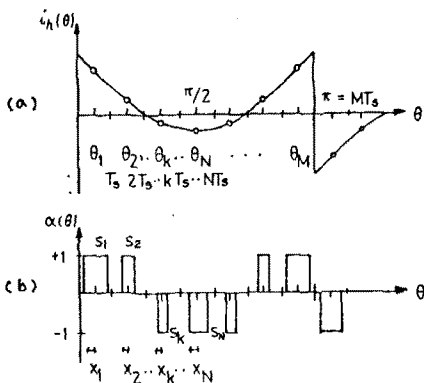


그림 3. 새로운 스위칭방식의 설정과정

(2) 새로운 스위칭 방식

지금 그림 3(a)와 같은 고조파  $i_h(\theta)$ 가 발생되고 있다면 전원의 반주기 동안  $M$ 번 샘플링하여 그림 3(b)와 같은 PWM 주입전류의 파형으로 변환시킬 수 있다.(5)

즉  $m_N$ 차 고조파의 주파수를  $f_N$ 이라 하고 샘플링 주파수를  $f_s$ 라 하면

$$f_s = 2Mf \quad (3)$$

$$f_N = m_N f \quad (4)$$

$f_s$ 로  $m_N$ 차 고조파까지의 고조파를 변조시키려면

$$f_s - f_N \geq f_N \quad (5)$$

을 만족해야 하고 이를 간단히 하면

$$M \geq m_N \quad (6)$$

인 관계를 얻는다.

각  $\theta_k$ 에서 추출한 샘플치  $i_h(\theta_k)$ 로부터 스위칭 함수의 형태를 구할 수 있는데 샘플치의 크기는 멀스폭으로 변환되고 또 부호는 전원측으로 주입시키고자 하는 보상 전류의 방향을 결정해주게 된다. 이렇게하여 그림 3(b)와 같이 구해진  $\alpha$ 를 푸리에 급수로 전개하면 다음과 같다.

$$\alpha(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n \sin n\theta \quad (7)$$

이때 PWM 보상전류  $i_{CM}$ 은 식(8)로 표시되며, 식(9)는 보상후 전원전류  $i_{SR}$ 를 나타내고 있다.

$$i_{CM}(\theta) = I_M \alpha(\theta) \quad (8)$$

$$i_{SR}(\theta) = i_s(\theta) - i_{CM}(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} (\delta_n - I_M \beta_n) \sin n\theta \quad (9)$$

앞의 가정에서 계수  $a_n$ 은 일정하므로  $a_n$ 이 PWM 전류의 크기  $I_M$ 과  $\alpha$ 의 고조파 성분  $\beta_n$ 의 곱과 같도록  $\alpha(\theta)$ 를 설정해주면 식(9)의 계수

를 0으로 만들수 있어서 식(6)을 만족하는 최고 차수  $n_N$ 까지의 모든 고조파 성분을 제거할수 있다.

식(9)의 계수로 부터  $N$  개의 비선형 방정식을 얻게 되고 이를 풀면 원하는 차수까지의 고조파를 완전히 상쇄시킬수 있는 스위칭 패턴을 결정할수 있다.

### 3. 실험 결과 및 검토

그림 4의 전력회로는 6-pulse converter와 교류전원의 각 상에 연결된 3개의 농동형 필터로 구성되며 PWM전류의 주입후 남는 잔류고조파를 제거하기 위해 HPF를 연결하였다.

그림 5의 제어회로에서는 이론적으로 구한 보상전류의 파형에 대한 data를 EPROM에 기억시켜 농동형 필터의 제어신호로 한다.

여기서  $z_1$ 는  $i_s$ 의 zero-crossing signal을 나타내며 74123의 출력신호에 의해 전원속의 전류와 PWM 주입전류와의 동기를 맞춰준다. 그리고 counter로부터의 변지신호에 따라 EPROM에 저장되어 있는 data가 출력되고, 이들 data는 논리게이트를 거쳐 농동형 필터내에 존재하는 전류형 인버터를 동작시키는 신호 P, N, F로 변환된다. 그리고  $M=5-16$ 까지의 data가 EPROM에 저장되어 있어 외부에서  $M$ 값을 조정할수 있도록 하였다. 이때 전원의 양의 반주기 동안에는 P를 on시키고 음의 반주기에는 N을 on시켜준다. F는 P와 N이 모두 off인 순간 즉 환류도 (free-wheeling path)를 구성시켜주는 신호이다.

보상전 전원전류는 그림 6(a)와 같은 주파수 스펙트럼을 가지는데 고조파의 크기는 차수  $n$ 에 반비례하여 줄어드는 특성을 나타낸다.

$M=8$ 인 경우 보상후의 전원전류의 스펙트럼은 그림 6(b)에 보이며  $M$ 에 의해 주어지는  $n_N$ 차 고조파까지 완전히 제거함을 알수 있다.

그림 7은  $M=8$ 일 경우  $n_N(=7)$ 차 고조파까지 상쇄하는 PWM보상전류 파형  $i_{CM}$ 과 전원전류 파형  $i_{SR}$ 이다. 위의 실험으로 부터 얻은 결과를 오른쪽에 제시하였는데 잘 일치하고 있음을 알수 있다.

그림 8은 1상에 대한 보상전의 전원전류파형  $i_s$ 와 HPF까지 거친 보상후의 전류파형  $i_{SF}$ 를 나타내고 있는데 보상후의 파형이 약간의 맥동을 가지고 있으나 상당히 정현파에 근접하고 있다. 이러한 맥동은 HPF를 보다 완전하게 설계함으로써 더욱 줄일수 있을 것이다.

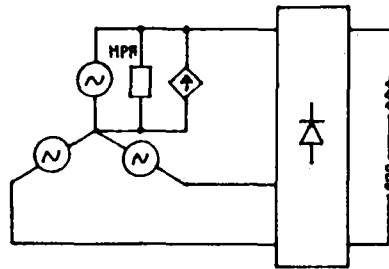


그림 4. 전력 회로

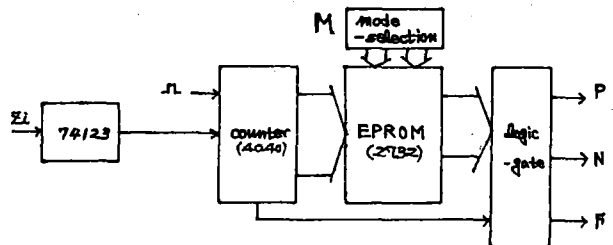
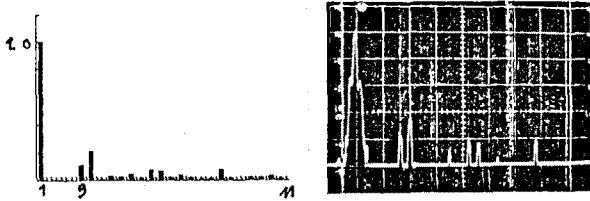


그림 5. 제어 회로



(a) 보상 전



(b) 보상 후 (M=8)

그림 6. 보상 전과후의 전원전류의 스펙트럼 ( $I_n/I_1$ )

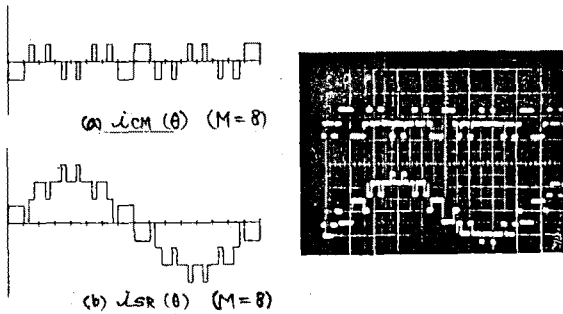


그림 7. PWM 보상 전류와 보상후의 전원전류 파형

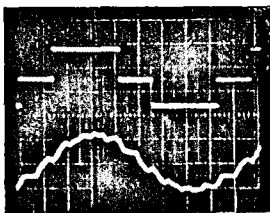


그림 8. 1상의 보상전 전원전류 파형과 HPF 를 거친 보상후의 전류 파형

#### 4. 결 론

본 연구에서는 교류전원측의 고조파를 저감시키기 위해 사용되는 능동형 교류 전력 필터의 새로운 전류주입방식과 그 실험에 대해 고찰하였다. 능동형 필터는 수동형 필터와 달리 하나의 필터만으로 다수의 수동형 필터를 부착한 것과 같은 효과를 가지며 필터내의 전류형 인버터의 제어 방식에 따라 그 고조파 제거특성이 크게 달라지므로, 고조파를 최대한 억제시킬 수 있는 새로운 주입전류의 형태, 즉 스위칭 방식을 제시하였다. 그리고 이론적으로 구한 보상전류의 파형에 대한 data 를 EPROM 에 기억시켜 능동형 필터의 제어신호를 얻고, 이로써 능동형 필터를 동작시키는 경우 보상된 전원전류를 스펙트럼 분석장치로 조사한 결과이론적인 결과와 좋은 일치를 이루고 있어 본 연구에서 제시된 주입 방식의 정당성 및 실현 가능성을 입증할 수 있었다.

#### 5. 참 고 문 헌

1. B.M. Bird et al. "Harmonic reduction in multiplex converters by triple-frequency current injection." Proc. IEE. vol.11 6(10) Oct 1969.
2. L.Gyugyi et al. "Active AC Power Filters," IEEE IAS Annual Meeting. 1976 19-C.
3. H.Kawahira et al. "Active power filter," IPEC-Tokyo 1983.
4. K. Hayafune et al. "Microcomputer controlled Active Power Filter," Proceedings IECON 1984.
5. 박민호, 최규하, 양수현 "능동형 교류 전력 필터에 의한 고조파 보상 전류의 새로운 주입방식", 대한전기학회 전력전자연구회 춘계 학술발표회(제5회), 1985.