

## 3상 전류형 능동필터의 디지털 제어

황중규<sup>o</sup> 송성학<sup>o</sup> 목형수\* 최규희 김현성  
 Konkuk대학교 전기공학과<sup>o</sup> 서울산업대학교 제어계측공학과\*

### Digital Control of Three Phase Active Filter System

Jong-Gyu Hwang<sup>o</sup> Sung-Hak Song<sup>o</sup> Hyung-Soo Mok\* Gyu-Ha Choe Han-Sung Kim  
 Konkuk University<sup>o</sup> Seoul National Polytechnic University\*

**Abstract** - Active Power Filters(APF) have been developed for several years to solve the harmonics disturbance problems on power system networks. This paper studies observer based digital algorithm and PWM technique for three phase current source APF by simulation. Both switching or outside white noises affect seriously at control signal for APF control system. Hence observer algorithm to reduce noises is used. A technique of generation gating patterns for the CSI topologies based on carrier PWM techniques is applied. The requirements imposed on gating signals are satisfied by the appropriate combination of single phase switching patterns and short pulse generator.

#### 1. 서론

최근 전력전자 기술의 비약적인 진보에 의해 컨버터를 이용한 에너지 변환 기술이 소용량의 가전제품에서 대용량인 산업용 기기에 이르기 까지 매우 많이 이용되어 오고 있다. 이러한 기기들의 사용으로 인하여 교류전원계통에는 고조파 및 무효전력이 발생되며 그 발생 횟수가 늘어가는 추세이다. 따라서 안정적인 전원의 확보를 위해 능동전력필터에 대한 연구가 수년간 진행되어 오고 있다(1)-(3).

본 논문에서는 3상 전류형 인버터를 이용하여 능동필터를 구성하여 시뮬레이션을 통하여 연구하였다. 일반적으로 능동필터는 보상해 주어야할 전류를 계산하여 직접 제어를 해주지만 본 논문에서는 인버터 출력의 커패시터 전압을 정현파로 되게 제어할 해 줌으로써 간접적으로 전원의 전류를 정현파로 보상해 주는 방법에 대해 기술하였다(1)(2). 동기좌 표축 변환을 통해 제어부를 해석하였고 전압제이형 전류형 능동필터(Voltage-Regulated Current Source Power Filter : VR-CSPF)에 필수적인 전원측 임피던스에 의한 전압강하분을 옵저버필터를 통해 일음으로써 스위칭 노이즈나 임의의 백색노이즈(white noise)에 대한 영향을 줄이고자 하였다(2).

3상 전류형 인버터의 PWM 패턴은 전압형과는 달리 반드시 전류경로를 구성해야 하며 매순간 두개의 스위치를 온시키어 히어로 OP-AMP와 디지털 논리회로로 구성된 별도의 PWM 패턴 발생회로를 사용하였다(4).

#### 2. 전압제이형 전류형 능동필터

그림1은 3상 전류형 인버터로 이루어진 능동필터의 전력회로를 나타낸 것이며 고조파 발생원인 비선형 부하로는 3상 다이오드 감류기를 사용하였다.

전류형 능동필터의 경우 인버터 출력측에 수동필터로서 커패시터를 필요로 하게 되는데 이 커패시터는 필터의 역할뿐 아니라 인버터 및 비선형 부하의 공동 전압원 역할을 하게 된다. 따라서 본 연구에서는 비선형 부하로 인한 부하전류가 급격하게 변하는 경우에도 우수한 보상특성을 지닐 수 있도록 인버터 출력의 커패시터 전압을 정현파로 제어함으로써 간접적으로 전원측의 전류를 고조파가 없는 순수한 정현파 전류가 되게 제어할 해준다.

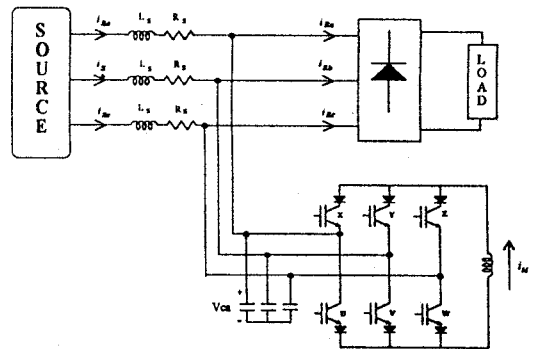


그림1. 능동필터의 전력회로

#### 2-1. 능동필터의 제어

3상 전원전압의 일반적인 표현은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} V_{ra} &= V_p \sin(\omega t) \\ V_{rb} &= V_p \sin(\omega t - 120^\circ) \\ V_{rc} &= V_p \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \quad (1)$$

이때 비선형 부하의 경우 부하전류는 다음과 같이 기본파 전류에 고조파 전류가 함유된 표현식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} i_{Ra} &= i_{R1} \sin \omega t + \sum_{n=2}^{\infty} i_{Rn} \sin n\omega t \\ i_{Rb} &= i_{R1} \sin(\omega t - 120^\circ) + \sum_{n=2}^{\infty} i_{Rn} \sin n(\omega t - 120^\circ) \\ i_{Rc} &= i_{R1} \sin(\omega t + 120^\circ) + \sum_{n=2}^{\infty} i_{Rn} \sin n(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \quad (2)$$

식(2)처럼 표현되는 부하전류를 전원전압을 기준으로 동기 좌표축으로 변환을 하게 되면 기본파 성분은 일정 직류값이 되고 고조파 성분들은 교류성분이 되는데 동기좌표축상에서 기본파 D축의 전류는 전류의 유효성분 크기, 기본파 Q축의 전류는 무효성분의 크기를 나타내므로 부하가 다이오드 정류기인 경우 Q축의 직류성분( $i_{Rq}^*$ )은 나타나지 않는다.

$$i_{Rd}^* = \overline{i_{Rd}^*} + \tilde{i}_{Rd}^* \quad (3)$$

$$i_{Rq}^* = \overline{i_{Rq}^*} \quad (4)$$

동기좌표계로 변환한 D,Q성분의 전류를 각각 평균을 취해 교류성분을 제거함으로써  $i_{Rd}^* = \overline{i_{Rd}^*}$ ,  $i_{Rq}^* = 0$  이 되어 전원에 흘러야 할 순수한 정전류와 전류를 얻을 수 있다.

농동필터의 직류 전류원으로써 인덕터가 사용되는데 이로 인한 저항손실과 인버터의 스위칭 손실등 농동필터 자체의 손실분을 지속적으로 전원으로 부터 보상해주어 일정 직류 전류원을 유지해 주어야 하는데 이를 위해서 유효성분인 D축 전류성분에 보상분을 더해준다. VR-CSPF 시스템의 전체 제어 블록선도를 그림2에 나타 내었다.

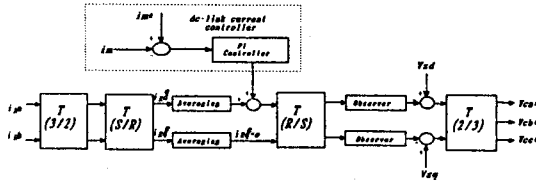


그림2. VR-CSPF시스템의 제어 블록선도

그림2에서 처럼 키르히호프의 전압법칙에 의해 다음과 같이 캐패시터의 기준전압을 얻게 되므로 인덕터에 의한 전압강하분의 연산이 필수적이다.

$$V_{cdq}^* = V_{sdq} - (R_s i_{sdq}^* + L_s \frac{di_{sdq}^*}{dt}) \quad (5)$$

식(5)에 의해 전압강하분의 연산을 위해서는 전류의 미분을 필요로 하는데 미분의 특성상 높은 주파수 노이즈 성분을 더욱 증폭시킴으로 인해서 이에 대한 대책을 필요로 한다. 이를 위해 고수파수의 노이즈 성분을 억제할 수 있는 읍저비 알고리즘을 통해 전압강하분을 계산한다.

### 2-2. 읍저비에 의한 전압강하분의 개선

미분으로 인하여 증폭되는 노이즈 문제를 해결하기 위하여 수식(6) 및 그림3과 같은 읍저비 필터를 구성하여 전압강하분을 연산하였다(2).

$$G(z) = \frac{\hat{i}(z)}{i(z)} = \frac{(a_2 z + a_1)}{z^2 + a_4 z + a_3} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} a_1 = -2.3467 \times 10^3 & a_2 = 2.367 \times 10^3 \\ a_3 = 0.3715 & a_4 = -1.129 \end{bmatrix}$$

그림4는 읍저비필터의 주파수 특성을 나타낸 것으로서 원하는 성능을 가지는 권속기임을 확인할 수 있다.

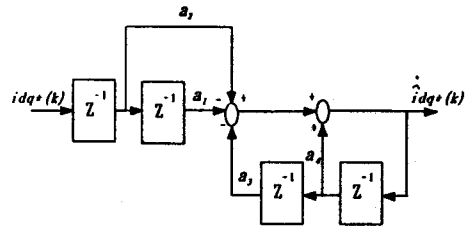


그림3. 읍저비의 Z변환 블록선도

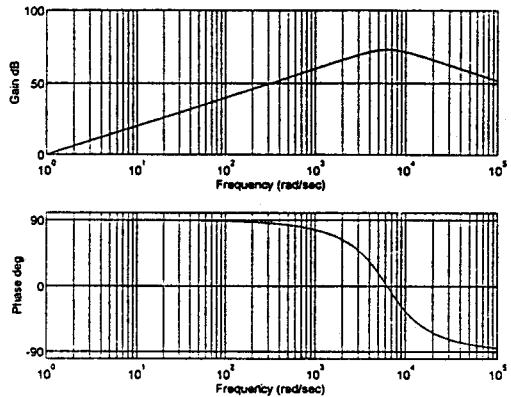


그림4. 읍저비 필터의 주파수 특성

### 3. PWM 기법

그림1과 같은 3상 전류형 인버터의 PWM 신호는 직류측이 개방되지 않도록 항상 전류경로를 구성할 수 있게 발생되어야 한다. 또한 원하는 전류를 주입하기 위하여 6개의 스위치 중에서 반드시 두개의 스위치만 온 되어야 한다. 두개 이상의 스위치가 켜지게 되면 인버터 출력의 전류를 제어할 수 없게된다. 이러한 조건을 충족시키기 위하여 그림5와 그림6과 같은 PWM 발생회로를 구성하였다.

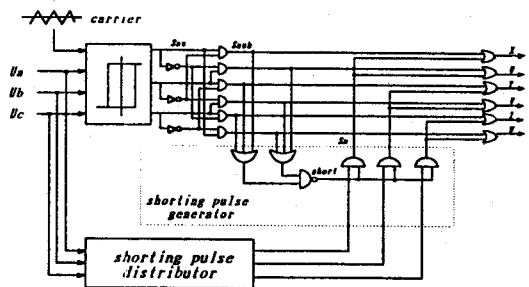


그림5. PWM 발생회로

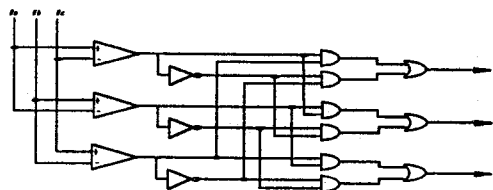


그림6. Short Pulse Distributor

커패시터의 기준전압과 실제전압과의 오차를 식(7)과 같이 제어이기를 거친후 삼각파 캐리어와 비교하여 스위칭 신호(Sau)를 발생시킨다.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt \quad (7)$$

인버터 출력의 PWM 전류가 우리가 원하는 출력이 되도록 이 Sau 펄스신호를 각상간의 결환을 통하여 두개의 스위치를 온시킬 수 있도록 Sab 신호로 만든다. 또 인버터 적류측이 개방회로가 된 경우 전류경로를 구성하기 위하여 부가적인 short pulse generator와 short pulse distributor 회로가 필요하다. 그림7은 PWM 발생회로 시뮬레이션 결과이다.

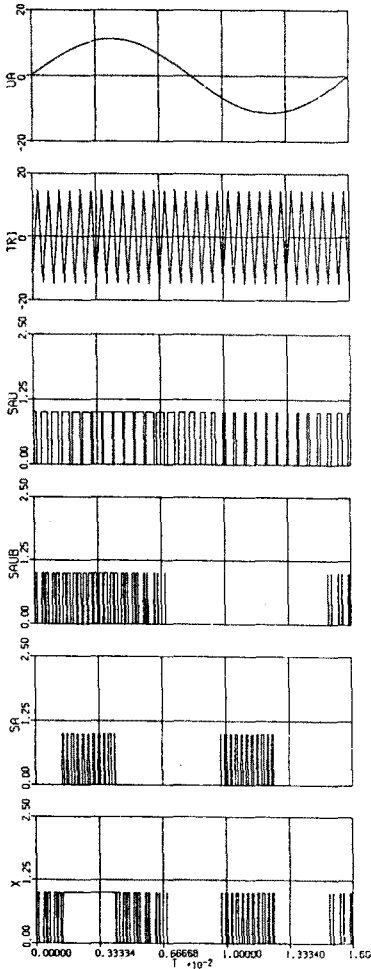


그림7. PWM 발생회로의 시뮬레이션

#### 4. 시뮬레이션 및 결론

시뮬레이션을 통해 제시된 제어방법을 검증하였다. 시뮬레이션 조건은  $L_s = 15\text{mH}$ ,  $C = 10\mu\text{F}$ 로 하였고 삼각파 캐리어는 7KHz, 샘플링 시간은  $100\mu\text{sec}$ 로 하였다. 그림8은 능동 필터의 각부파형 시뮬레이션을 나타낸 것으로써 구형파의 부하전류기 기의 정현파로 보정됨을 볼 수 있다.

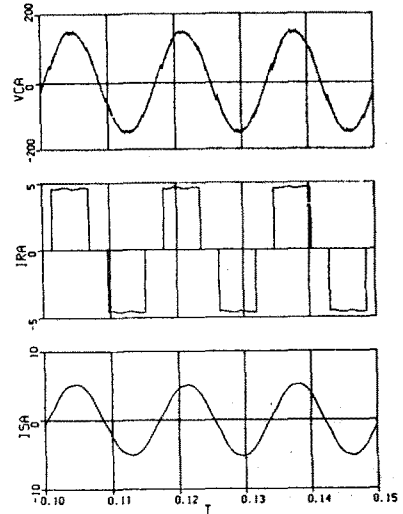


그림8. 능동필터의 각부파형

전체 제어시스템의 제어를 위해 32bit 부동소수점 연산 및 33.33MFLOPS(million floating-point operations per second)의 고속연산이 가능한 프로세서인 TMS320C31를 주처리 소자로 사용하여 디지털 제어부를 구성하고자 한다.

전압강하부의 연산을 위해 옵저버 알고리즘을 이용함으로써 미분으로 인해 증폭되는 노이즈 문제를 어느 정도 줄일 수 있음을 확인하였다. 3상 전류형 인버터의 스위칭 조건을 만족하는 별도의 PWM발생회로를 사용하여 DSP사용에 따른 풀디지털화를 위한 다른 기법에 대한 연구를 필요로 한다.

#### 참고문헌

- (1) 정만규, 최규하, 목형수, "전압제어형 델타변조방식에 의한 전류형 능동필터의 제어특성 연구," 전기학회 논문지, 제43권 10호, pp.1648-1656, 1994.10
- (2) 황종규, 김홍성, 목형수, 최규하, 김한성, "능동필터 제어 시스템을 위한 검출노이즈 저감방법에 관한 연구," '95 대한전기학회 춘계 전력전자연구회 논문집, pp. 50-53.
- (3) Gyu-Ha Choe, Min-Ho Park, "A New Injection Method for AC Harmonic Elimination by Active Power Filter," IEEE Trans. on Ind. Elec., Vol.35, No.1, Feb.1988.
- (4) Jose Espinoza, Geza Joos, "On-Line Generation of Gating Signals for Current Source Converter Topologies," IEEE ISE, pp. 674-678, 1993.
- (5) M.X.Wang, H.Pouliquen, "Operating principle of an active harmonics filter based on fast current regulation", EPE FIRENZE.1991, pp.3-024-029.
- (6) K.Ohnishi, N.Matsui, Y.Hori, "Estimation, identification and sensorless control in motion control system", Proceedings of the IEEE, Vol.82, No.8, Aug.1994, pp 1253-1265.
- (7) R.D.Iorenz, I.A.Lipo, D.W.Novotny, "Motion Control with Induction Motors" Proceedings of the IEEE, Vol.82, No.8 Aug 1994, pp 1215-1241.