

3상 3선식 전력계통의 고조파 저감을 위한 새로운 직렬형 능동 필터 시스템

임승원*, 한윤석*, 김영석*, 원충연**, 최세완***

*인하대 전자·전기·컴퓨터 공학부, **성균관대 전기공학과, ***서울산업대 제어계측공학과

New series Active power filtering system to reduce the harmonic in 3-Phase 3-Wire system

Seungwon Lim*, Yoonseok Han*, Youngseok Kim*,
Chungyuen Won**, Sewan Choi***

*School of Electrical and computer Eng. Inha Univ,

**Dept. of Electrical Eng. SungKyunKwan Univ,

***Dept. of Control and Instrumentation Eng. Seoul National University of Technology

ABSTRACT

This paper presents a new compensation method of series active power filter. The proposed method applied in the three-phase three-wire system can generate harmonic compensation voltage in front of the harmonic source. Furthermore, it is also expended to three-phase four-wire system considering zero-sequence voltage. The compensation principle is described in detail. Experimental result show the validity of the proposed method in the three-phase three-wire system.

1. 서론

최근 다이리스터 정류기 및 다이오드 정류기와 같은 비선형 부하로 구성되는 전력변환 장치들은 전력을 공급하는 AC 전원측에 심각한 고조파 성분을 발생시킨다. 이러한 비선형 부하에 의해 발생하는 입력측 전류의 왜곡 문제를 해결하기 위한 연구가 오랜 기간동안 행해져 왔다^[1].

기존의 방식에 있어서는 이러한 문제들을 수동필터를 사용하여 해결해 왔지만 주로 인덕터와 캐패시터로 구성되는 수동필터는 특정한 차수의 고조파 성분만을 제거할 수 있는 단점을 지니고 있으므로 전력계통에 광범위한 차수의 고조파가 존재하는 경우에는 만족스러운 보상효과를 얻을 수 없다. 따라서, 이러한 수동필터의 단점을 보완하기 위해 능동 전력필터에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다^[2-4].

능동전력필터는 크게 병렬형 능동전력필터와 직

렬형 능동전력필터로 구분된다. 병렬형 능동전력필터의 경우 부하측의 임피던스가 전원측보다 큰 유도성 부하에 적용될 경우에는 양호한 보상특성을 얻을 수 있지만, 용량성 부하에 적용하면 전원측의 임피던스가 부하측의 임피던스보다 크게 되어 능동 전력필터로부터 주입되는 전류가 부하측에도 흐르게 된다. 따라서, 고조파를 완전히 제거할 수 없이는 물론 계통의 부하측에 흐르는 고조파 전류를 증대시켜 과전류를 초래할 위험이 있다. 이러한 현상을 방지하기 위해 교류측에 직렬리액터의 삽입이 필요하나 이는 전압강하를 일으킬 뿐만 아니라 비경제적이다. 따라서, 전류주입 보상방식의 병렬형 능동전력필터와 다른 전압보상방식의 직렬형 능동 전력필터의 연구가 진행되어져 왔다. 본 연구에서는 용량성 부하에 대해 3상 3선식 시스템에 적용할 수 있는 직렬형 능동전력 필터의 새로운 제어법을 제안하고, 실험을 통하여 제안된 보상기법의 타당성을 입증하였다.

2. 본론

2.1 보상원리

그림.1과 같은 3상 3선 시스템뿐만 아니라 3상 4선식 시스템에 대하여 상전압 v_a, v_b, v_c 과 선전류 i_a, i_b, i_c 는 다음과 같은 벡터로 나타낼 수 있다.

$$\text{순시전압벡터 } \mathbf{v} = [v_a \ v_b \ v_c]^T \quad (1)$$

$$\text{순시전류벡터 } \mathbf{i} = [i_a \ i_b \ i_c]^T \quad (2)$$

또한, 순시 전압벡터 \mathbf{v} 와 순시 전류벡터 \mathbf{i} 는 3

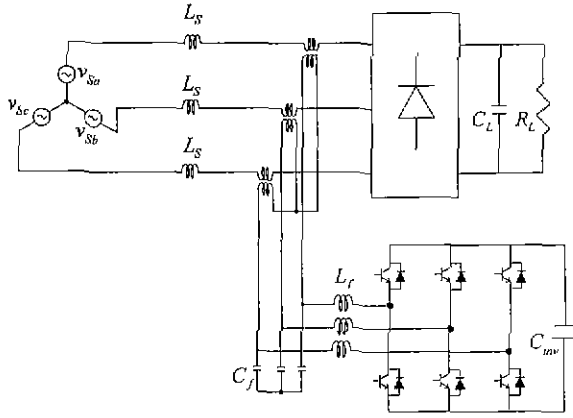


그림.1 3상 3선식 직렬형 능동전력필터의 구성도
Fig.1 Configuration of series active power filter in three-phase three-wire system

상 2상 변환을 통하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= [v_\alpha \ v_\beta \ v_0]^t, \\ \mathbf{i} &= [i_\alpha \ i_\beta \ i_0]^t \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,

$$v_0 = \frac{1}{3} (v_a + v_b + v_c), \quad i_0 = \frac{1}{3} (i_a + i_b + i_c)$$

식(3)의 순시 전압벡터 \mathbf{v} 와 순시 전류벡터 \mathbf{i} 를 이용하여 순시유효전력 p 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p = \mathbf{v}_{(\alpha, \beta, 0)} \cdot \mathbf{i}_{(\alpha, \beta, 0)} = v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta + v_0 i_0 \quad (4)$$

또한 순시무효전력 벡터 \mathbf{q} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{q} = \mathbf{v}_{(\alpha, \beta, 0)} \times \mathbf{i}_{(\alpha, \beta, 0)} = \begin{bmatrix} q_\alpha \\ q_\beta \\ q_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\beta i_0 \\ i_\beta v_0 \\ v_0 i_\alpha \\ i_0 v_\alpha \\ v_\alpha i_\beta \\ i_\alpha v_\beta \end{bmatrix} \quad (5)$$

영상분 전압 v_0 와 영상분 전류 i_0 가 없는 3상 3선식 시스템에서는 식(5)를 다음과 같이 나타낼 수

있다.

$$\mathbf{q} = \mathbf{v}_{(\alpha, \beta, 0)} \times \mathbf{i}_{(\alpha, \beta, 0)} = \begin{bmatrix} q_\alpha \\ q_\beta \\ q_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \begin{vmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ i_\alpha & i_\beta \end{vmatrix} \end{bmatrix} \quad (6)$$

식(6)은 기존의 pq 이론에서 정의된 무효전력값과 같은 값을 갖는다^[5].

식(5)와 식(6)으로부터 순시유효전력을 발생하는 전압벡터 \mathbf{v}_p 와 순시무효전력을 발생하는 전압벡터 \mathbf{v}_q 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{v}_{p(\alpha, \beta, 0)} = \frac{p}{\mathbf{i}_{(\alpha, \beta, 0)} \cdot \mathbf{i}_{(\alpha, \beta, 0)}} \mathbf{i}_{(\alpha, \beta, 0)} \quad (7)$$

$$\mathbf{v}_{q(\alpha, \beta, 0)} = \frac{\mathbf{q}_{(\alpha, \beta, 0)} \times \mathbf{i}_{(\alpha, \beta, 0)}}{\mathbf{i}_{(\alpha, \beta, 0)} \cdot \mathbf{i}_{(\alpha, \beta, 0)}} \quad (8)$$

식(7)과 식(8)의 전압성분으로 능동전력필터의 보상지령전압을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_{c(\alpha, \beta, 0)}^* &= \frac{\tilde{p}}{\mathbf{i}_{(\alpha, \beta, 0)} \cdot \mathbf{i}_{(\alpha, \beta, 0)}} \mathbf{i}_{(\alpha, \beta, 0)} \\ &+ \frac{\mathbf{q}_{(\alpha, \beta, 0)} \times \mathbf{i}_{(\alpha, \beta, 0)}}{\mathbf{i}_{(\alpha, \beta, 0)} \cdot \mathbf{i}_{(\alpha, \beta, 0)}} \end{aligned} \quad (9)$$

여기서,

\tilde{p} 는 순시 유효전력의 맥동성분이며 \mathbf{q} 는 순시 무효전력성분 벡터이다.

식(9)에 의해 유도된 보상전압으로 부하단에서 발생한 고조파전류가 전원단으로 유입되는 것을 차단하게 된다.

본 연구에서는 영상분 전압과 영상분 전류가 없는 3상 3선식 시스템에 대하여 \tilde{p} 성분은 고려하지 않고, \mathbf{q} 성분만을 고려하여 보상하도록 하였다.

2.2 시스템 구성 및 실험결과

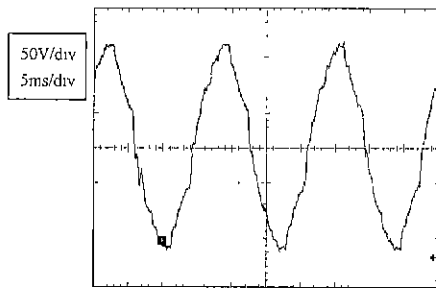
직렬형 능동전력 필터 시스템은 그림.1과 같이 전압형 3상 풀 브릿지 인버터로 구성되어있으며, 출력단에는 스위칭 리플 저감용 LC필터가 연결되어있다.

시스템의 부하로는 3상 풀 브릿지 정류기가 사용되었고, 시스템은 표1에 나타낸 회로정수로 구성하였다. 인버터와 전력계통시스템은 권수비가 1:1인

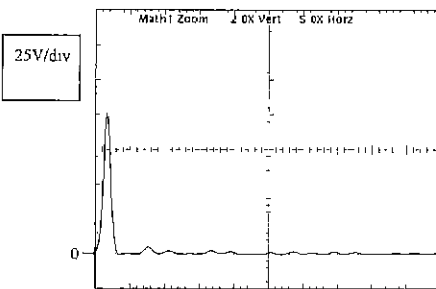
표 1. 시스템 파라미터 값

Table 1. System configuration parameter values

전원전압	110 [V], 60 [Hz]
전원측 인덕턴스	0.65 [mH]
부하측 저항	25 [Ω]
인버터 DC Link 콘덴서	2350 [μF]
LC 필터 인덕턴스	3.92 [mH]
LC 필터 콘덴서	1 [μF]

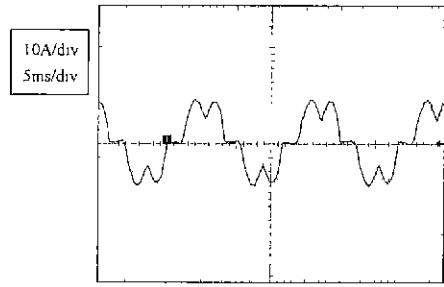


(a) 보상전 전압파형

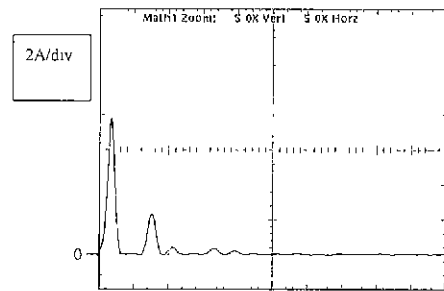


(b) 보상전 전압의 FFT

그림. 2 보상전 전압 특성
Fig.2 Characteristic of source voltage without compensation



(a) 보상전 전류파형



(b) 보상전 전원전류의 FFT

그림.3 보상전 전원전류의 특성
Fig.3 characteristic of source current without compensation

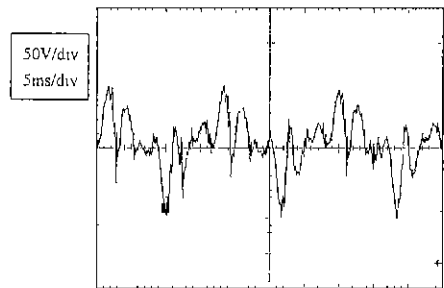


그림.4 능동필터의 보상전압
Fig.4 Compensation voltage of active filter

변압기를 사용하여 연결하였다. 또한, 인버터의 제어와 보상전압 연산을 위해 DSP(TMS320C31)를 사용하였고, 샘플링 시간은 143 μsec 이다.

그림. 2(a)와 그림. 3(a)는 보상전 전원전압과 전원전류를 보여 주고 있으며 그림.2 (b)와 그림.3 (b)는 각각의 고조파 분석 파형을 보여준다.

보상전 전원전압은 5고조파 4.97%, 7고조파 2.43%를 포함하고 있으며, 보상전·전원전류 5고조파 30%, 7고조파 5.17%를 포함하고 있다.

그림. 4는 제안한 능동전력필터의 제어법에 의해 발생하는 능동필터의 보상전압을 나타내고 있다.

그림. 5는 보상후 부하단의 입력전압과 고조파 분석 결과를 나타내고 있다. 입력전압은 5고조파 0%, 7 고조파 3.26%를 포함하고 있다.

그림. 6은 보상후 전원전류와 고조파 분석 결과를 나타내고 있다. 보상후 전원전류는 5고조파는 10.67%, 7 고조파는 4.6%를 포함하고 있다.

고조파 분석 결과를 보면 보상후 부하입력전압은 5고조파와 7고조파가 현저히 감소되었으며, 전원전류도 5고조파와 7고조파가 감소되었다.

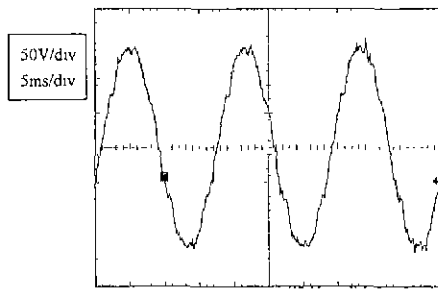
3. 결론

본 논문에서는 3상 3선식 뿐만 아니라 3상 4선식 전력계통시스템에 적용가능한 직렬형 능동전력필터의 새로운 제어법을 제안하였다. 실험을 통해 제안한 제어법의 타당성을 검증하였으며, 용량성 부하가 계통에 있는 경우 직렬형 능동전력필터의 보상에 대한 타당성도 검증하였다. 향후 과제로 능동전력필터의 DC 링크 전압을 안정화하여 인버터 스위칭에 의한 손실까지 보상하도록 하여 능동전력필터의 보상특성을 향상 시킬 것이고 제안한 제어법을 3상 4선식 시스템에 적용하여 타당성을 검증할 것이다.

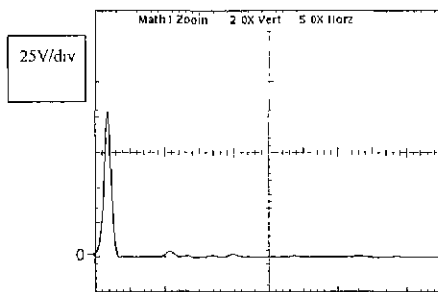
본 연구(관리번호 98-중-03)는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행되었음

참 고 문 헌

- [1] L. Gyugyi, E.C. Strycula, "Active ac Power Filter." *Proc. IEEE IAS Annual Meeting*, pp.529-533, 1976.
- [2] F. Z. Peng, G. W. Oll, D. J. Adams, "Harmonic and Reactive Compensation Based on the Generalized Instantaneous Reactive Power Theory for 3-Phase 4-Wire System" *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol.13 no.6, pp.1174-1181, 1998.
- [3] T. Furuhashi, S. Okuma, Y. Uchiakwa, "A Study on the Theory of Instantaneous Reactive Power," *IEEE Trans. on Ind. Elec* vol.37, no.1 pp.86-90, 1990
- [4] H. Akagi, "New Trends in Active Filters for Power Conditioning," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol.32 no.6, pp.1312-1322, 1996.
- [5] H. Akagi, Y. Kanazawa, and A. Nabae, "Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage elements," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol.20, no.3, pp.625-630, 1984.



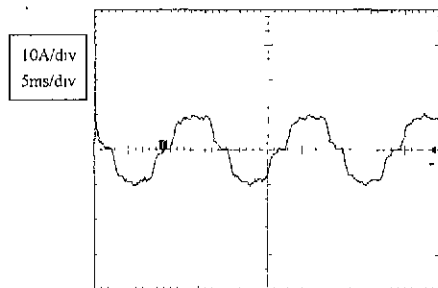
(a) 보상후 전원전압



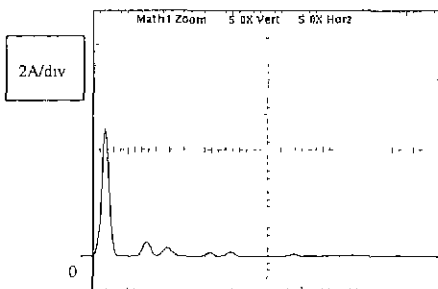
(b) 보상후 전원전압의 FFT

그림.5 보상후 전원전압의 특성

Fig.5 Characteristic of source voltage with compensation



(a) 보상후 전원전류 파형



(b) 보상후 전원전류의 FFT

그림.6 보상후 전원전류의 특성

Fig.6 Characteristic of source current with compensation