

정류와 역변환 모드를 고려한 능동전력필터의 순시 보상전력 흐름도

정영국* 정찬수**^o 배동관** 안재영** 김광현** 임영철**
*대불대 전기전자공학부 **전남대 전기공학과

Instantaneous Compensating Power Flow Graph of Active Power Filters Considering Rectification / Inversion Modes

Y.G. Jung* C.S Jung**^o D.K. Bae** J.Y. Ahn** K.H. Kim** Y.C. Lim**
*Daebul University **Chonnam National University.

ABSTRACT

The goal of this paper is to present instantaneous compensating power flow of active power filters(APFs) by graphical method that could be practicable to compensate the power in both case of behaving in instantaneous rectifying mode and instantaneous inverting mode. To ensure the validity of the proposed method, computer simulation is achieved. Proposed method can be present more exquisite and physically meaningful power flow than conventional method in instantaneous compensating power flow Graph of APFs.

1. 서론

전력계통을 안정화시키고 경제적으로 운영하기 위해, 역률 개선과 고조파 억제는 고품질의 전기 에너지의 수요와 최근 IMF체제하의 전기 에너지의 절감의 관점에서 매우 중요하다. 이러한 추세에 따라 능동전력필터(APFs)는 고품질의 전기 에너지를 획득 및 절감시킬 수 있는 효과적인 방법으로 각광을 받고 있다. APFs는 비선형 부하로부터 발생된 고조파 및 기본과 무효전력을 교류 전원측으로 주입하여 교류 전원측의 %THD(총고조파왜형률)와 역률을 개선하고자 하는 전력전자 변환장치를 말한다. 이와같은 APFs는 고조파와 기본과 무효전력을 보상하기 위해서 순시적으로 정류와 역변환 동작을 하고 있다. 종래의 APFs의 순시 보상전력 흐름도[1-2]는, APFs의 정류와 역변환 과정을 보상전력성분과 결부시켜 표현하지 못하고, 또한 보상전력을 단순히 실 전력과 허 전력으로 분해, 해석하기 때문에, APFs가 고조파 및 기본과 무효전력을 각각 독립적으로 제어할 때의 다양한 동작특성을 정교하게 나타내지 못했다.

따라서 본 연구에서는 APFs를 해석하는 방법으로, 순시 보상전력을 정류 모드와 역변환 모드를 고려하여, 순시 기본과무효 보상전력과 순시 고조파 보상전력으로

로 분해하여 표현하는 새로운 방법을 제시하였다. 본 연구의 타당성을 검증하기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다. 순시 보상기준전력을 유효성분과 기본과 무효성분 그리 고조파 성분으로 분해하였다. 각 전력성분들을 서로 독립 제어할 때, 제안된 APFs의 순시 보상전력 흐름도는 종래의 방법과 비교하여 보상과정에 대한 전력성분 표현에 대해 물리적인 의미가 높아, 더 정교한 보상전력흐름을 표현할 수 있었다.

2. APFs의 동작모드

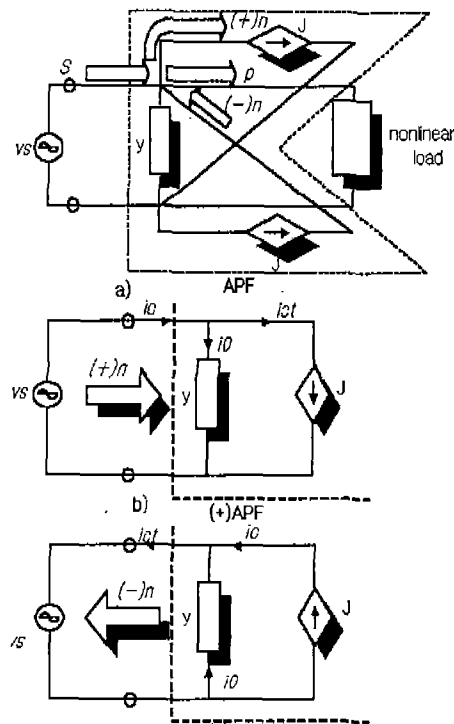


Fig.1 Equivalent circuits of APFs considering rectification/inversion

- a) Basic configuration of APFs
- b) Instantaneous rectifying mode of APFs
- c) Instantaneous inverting mode of APFs

그림1은 정류 및 역변환 모드를 고려해서 나타낸 APFs의 동작회로이다. 그림1을 살펴보면 APFs는 정류모드(rectifying mode)와 역변환 모드(inverting mode)의 두 동작 상태를 갖고 동작함을 알 수 있다. 정류모드는 그림2와 그림3의 구간 I, III과 같이, 교류 전압 v 와 보상 전류 i_c 가 동일 극성인 경우로써, 교류전원에서 APFs로 전력이 공급되는 상태이며, 동작회로는 그림1b)와 같다

또 역변환 모드는 그림2와 그림3의 구간 II, IV와 같이 교류 전압 v 와 보상 전류 i_c 가 반대극성인 경우로써, APFs에서 교류 전원측으로 전력이 공급되는 상태를 말하며, 이때의 동작회로는 그림1c)이다.

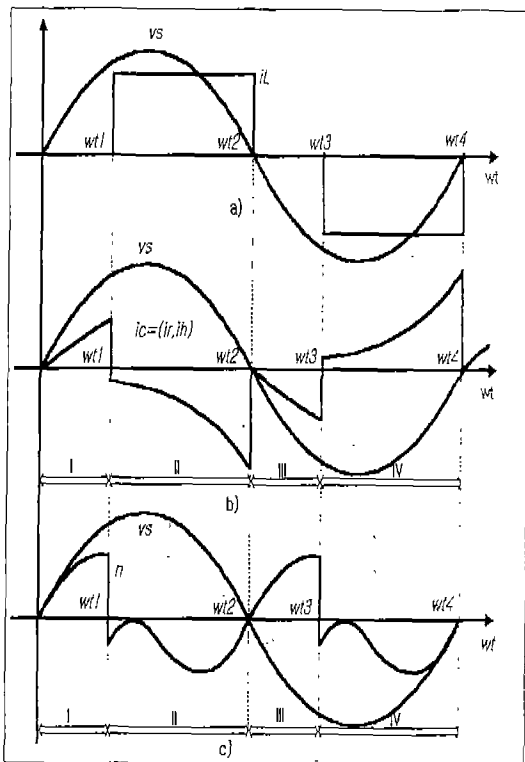


Fig.2 Compensating current and power waveforms of APFs

- a) Load current i_L and voltage v
- b) Compensating current i_c
- c) Compensating power n

3. 순시보상전력 흐름선도

3.1 총래의 순시전력 흐름도

그림4는 기존의 APFs의 순시 전력흐름도이며 순시 전력은 순시 실전력과 순시 허전력으로 분해된다. 비선형 부하의 순시 허전력을 APFs로 보상하며, 교류 전원은 부하측에서 요구하는 순시 실전력 만을 공급하게

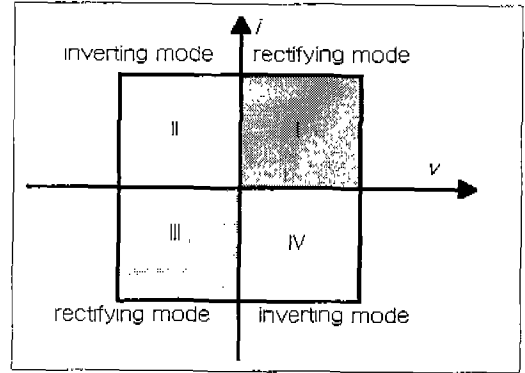


Fig.3 Operation quadrants of APFs

된다. APFs는 교류 전원측으로 보상전류를 주입시킬 때, 정류 및 역변환의 두 동작을 하고 있기 때문에, 기존의 순시 전력 흐름도로는 보상과정시 이와 같은 각 보상전력성분을 나타낼 수 없다.

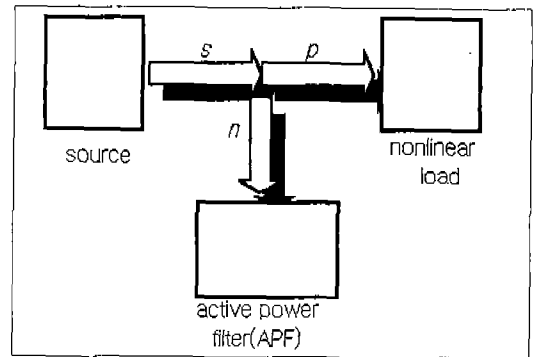


Fig.4 Conventional instantaneous power flow graph of APFs

3.2 제안된 순시보상전력 흐름선도

APFs가 정상적인 보상동작을 하고 있을 때, 비선형 부하에는 한 방향의 유효전력 p 만이 공급된다. 여기서 순시 총 공급전력 s , 비선형 부하의 순시 유효전력 p , APFs가 취하는 순시비 유효전력 n 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$s = n + p \quad (1)$$

따라서, 비선형 부하를 제외한, 교류 전원과 APFs 사이에는 비 유효전력 만이 왕복하므로, 이 경우 성립되는 전력 관계식에 대해서 살펴보기로 한다.

$$\text{순시전원전압} : v = \sqrt{2} V_m \sin(\omega t) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{순시부하전류} : i_L &= A_1 \sin(\omega t) + B_1 \cos(\omega t) \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \sin(n\omega t) + B_n \cos(n\omega t)] \end{aligned} \quad (3)$$

교류전원의 1주기 동안의 실제 보상전류 i_c 은 식(5)에서 같이 그림2의 구간 I, III의 정류시 순시보상전류 i_{ic} 과 구간II, IV의 역변환시 순시 보상전류 e_{ic} 로 나눌 수 있다.

$$i_c = -B_1 \cos(\omega t) - \sum_{n \neq 1} [A_n \sin(n\omega t) + B_n \cos(n\omega t)] \quad (4)$$

$$= e_{ic} + i_{ic} \quad (5)$$

i_{ic}	구간 I	...	$0 < \omega t < \omega t_1$
i_{ic}	구간 III	...	$\omega t_2 < \omega t < \omega t_3$
e_{ic}	구간 II	...	$\omega t_1 < \omega t < \omega t_2$
e_{ic}	구간 IV	...	$\omega t_3 < \omega t < \omega t_4$

(단 e 는 정류모드를 의미하고 i 는 역변환모드를 의미함) 이미 언급한 된바와 같이, i_{ic} 는 교류 전원과 보상전류가 동일 극성인 경우로써, 교류 전원에서 APFs로 전력이 공급되는 정류 모드시의 보상전류이며, e_{ic} 은 반대극성의 경우로, APFs에서 교류 전원측으로 전력이 공급되는 역변환 모드시의 보상전류이다. APFs의 각 동작 모드마다 직류측 리액터에서의 손실, PWM변환기 스위칭의 손실과 입력 LC필터에서의 손실 등이 발생하므로, 이 손실로 빠져나간 전류를 i_0 라 한다면, 이때의 전력손실은 n_0 이다. 또 각 동작 모드마다 보상전류와 손실전류와의 차가 실제 보상을 위해 주입되며, 그 전류를 i_{ct} , 이때 전달되는 전력을 n_t 라 한다. 교류전원과 APFs 사이에 흐르는 순시보상전력은 실제 보상전류 i_c 에 의한 실제 보상전력 n 으로 표현된다.

e_n	구간 I	...	$0 < \omega t < \omega t_1$
e_n	구간 III	...	$\omega t_2 < \omega t < \omega t_3$
i_n	구간 II	...	$\omega t_1 < \omega t < \omega t_2$
i_n	구간 IV	...	$\omega t_3 < \omega t < \omega t_4$

$$\begin{aligned} n &= v i_c \\ &= v [e_{ic} + i_{ic}] \\ &= e_n + i_n \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{정류 모드: } e_n &= e_{ic} v \\ &= (e_{i0} + e_{ict}) v \\ &= e_{n0} + e_{nt} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} e_{nt} &= e_{ict} v \\ &= [e_{ir} + e_{ih}] v \\ &= e_{qt} + e_{ht} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{역변환 모드: } i_n &= e_{ic} v \\ &= (e_{i0} + e_{ict}) v \\ &= e_{n0} + e_{nt} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} i_{nt}(t) &= e_{ict} v \\ &= [e_{ir} + e_{ih}] v \\ &= e_{qt} + e_{ht} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{이로부터 } n &= e_n + i_n \\ &= (e_{n0} + e_{qt} + e_{ht}) + (e_{n0} + e_{qt} + e_{ht}) \\ &= [e_{n0} + e_{n0}] + [e_{qt} + e_{qt}] + [e_{ht} + e_{ht}] \\ &= n_0 + q_t + h_t \end{aligned} \quad (11)$$

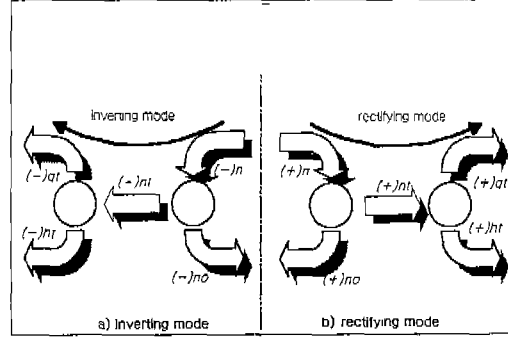


Fig.5 Proposed instantaneous compensating power flow graph for each operating mode.

- a) instantaneous inverting mode of APFs
- b) instantaneous rectifying mode of APFs

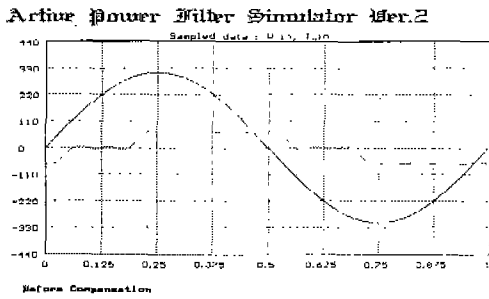
따라서 실제 보상전력 n 은 그림5와 같이 순시손실전력 n_0 와 순시 무효전력 q_t 그리고 순시 고조파 전력 h_t 의 세 성분으로 분해된다.

4. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 및 고찰

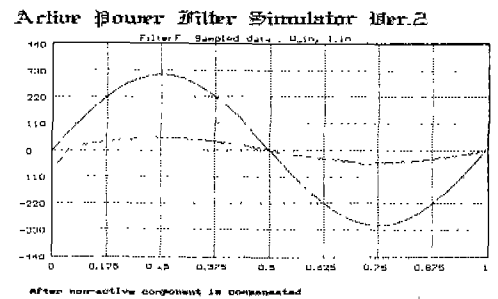
APFs에 의해 3상 싸이리스터 제어 정류기로 부터 발생하는 고조파 및 기본파 무효전력을 보상하는 경우, 교류전원과 비선형 부하 그리고 APFs 사이의 순시 보상전력 흐름도를 컴퓨터 시뮬레이션에 의해서 구할 수 있었다.

먼저 APFs를 동작하기 전과 동작한 후로 구분하고, 보상 전 싸이리스터 제어정류기의 전력을 유효성분, 기본파 무효성분 그리고 고조파 성분으로 분해하였다. 분해된 전력정보로 부터 순시 보상전력 흐름도는 그림 6d)와 같이 유효전력, 무효전력, 고조파 전력 그리고 비 유효전력을 구했다.

그림7d)는 보상 기준전력중 비 유효전류를 APFs가 전담하여 제어한 경우의 순시 보상전력 흐름도이다. 고조파와 기본파 무효전력을 APFs가 흡수해가는 과정을 한눈에 파악할 수 있고 이때 APFs의 정류 작용과 역변환 작용은 각 전력성분에 따라 잘 파악할 수 있다. 그림8d)는 보상 기준전류중 고조파 성분만을 독립제어했을 때의 순시 보상전력 흐름도를 나타낸 것이다. APFs가 비 유효전력을 전담한 경우와 비교해 보면, 고조파 전력만이 APFs와 교류 전원사이에 왕복되고 있음을 잘 보여주고 있다.

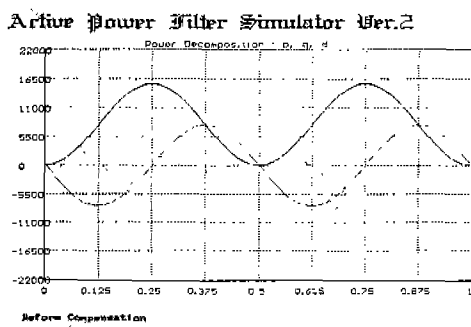


a) a.c voltage and current

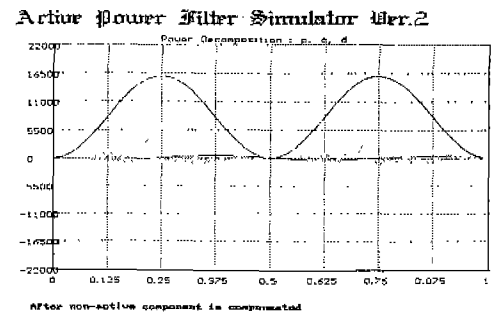


c) voltage and current

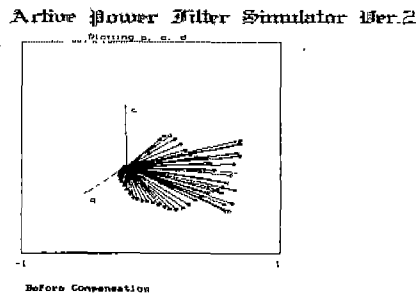
a)ε



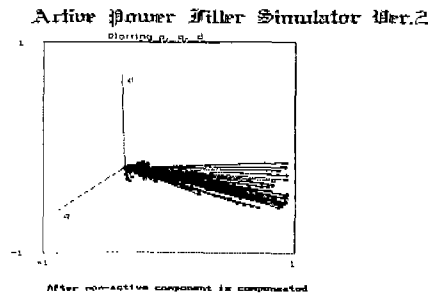
b) Decomposed instantaneous power



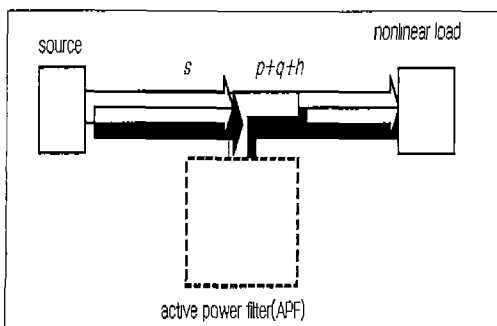
b) Decomposed instantaneous power



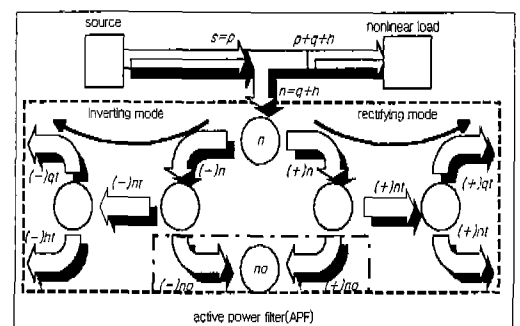
c) 3-D instantaneous power coordinates



c) 3-D instantaneous power coordinates



d) Instantaneous compensating power flow graph



d) Instantaneous compensating power flow graph

Fig.6 Before active power filter is operating

Fig.7 After active power filter is operating (for q, h power components)

5. 결론

본 연구에서 APFs를 해석하는 방법으로, 정류 모드와 역변환 모드를 고려하여, 순시 기본파 무효 보상전력과 순시 고조파 보상전력으로 분해하여 표현하는 새로운 순시 보상전력흐름도를 제시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 제안된 APFs의 순시 보상전력 흐름도는 정류 모드와 역변환 모드를 고려하기 때문에, 종래의 APFs의 순시 보상전력 흐름도 보다 그 물리적 의미가 높고 더욱 더 정교하게 전력흐름을 표현할 수 있었다.

2) 제안된 APFs의 순시 보상전력 흐름도에 적합한 APFs의 등가회로를 정류 모드와 역변환 모드로 구분 해석하였으며, 이 등가회로에 의하여 제안된 순시보상전력 흐름도를 잘 표현할 수 있었다.

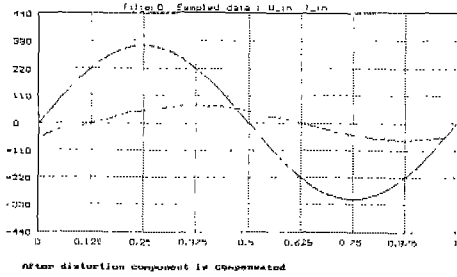
3) 제안된 순시보상 전력 흐름도는 APFs가 보상기준 전류를 고조파 및 기본파 무효전력으로 독립 제어하는 경우의 해석에 있어서, 종래의 방법보다 훨씬 전력흐름을 잘 표현할 수 있었다.

4) APFs의 손실을 고려한 경우의 순시보상 전력 흐름도와 정류 및 역변환시의 전력성분의 정량화에 대한 연구가 차후 기대된다.

참고 문헌

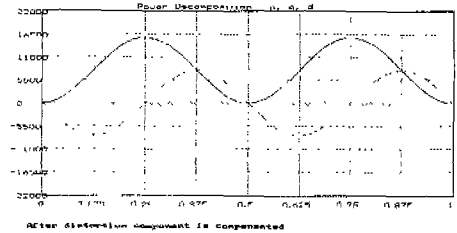
- [1] S.Y. Choe, K. Heumann, "harmonic current compensation using 3 Phase current source converter", EPE Firenze, pp.3-006-3-011, 1991.
- [2] H.Akagi, A.Nabae, "generalized theory of the instantaneous reactive power in 3-phase circuits", IPEC-Tokyo, pp.1375-1386, 1983. "
- [3] G.Blajszczak, J.D.VanWyk, "cost-effectiveness of hybrid and unified compensators of nonactive power in networks", IEE proc. Electr. Power Appl., vol. 141, no.2, pp.39-44, 1994.
- [4] 임영철, 정영국, "상관함수에 의한 순시전력이론을 이용한 DSP 능동전력필터", 전력전자학회 논문집, vol.4, no.1, pp.50-56, 1999.
- [5] Y.C.Lim, Y.G.Jung, "simulator development for evaluating compensation performance of hybrid active power filter using 3-D space current coordinates", IEEE PEDS,(Singapore), pp.427-432, 1995.

Active Power Filter Simulator Ver.2



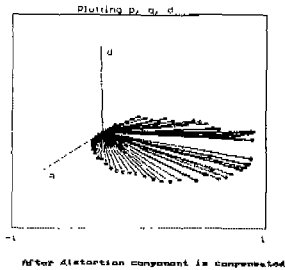
a) a.c voltage and current

Active Power Filter Simulator Ver.2

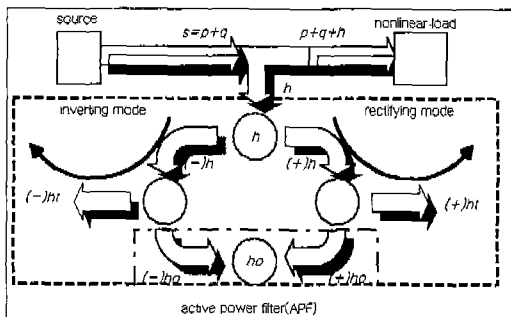


b) Decomposed instantaneous power

Active Power Filter Simulator Ver.2



c) 3-D instantaneous power coordinates



d) Instantaneous compensating power flow graph

Fig.8 After active power filter is operating
(for h power components)