

능동전력필터기능을 갖는 UPS에 관한 연구

박인석* 이정준* 성낙규* 오봉환** 김성남* 한경희*
*영지대학교 **영지전문대학

A Study on UPS with Active Power Filter Function

In-Seok Park* Jeong-Joon Lee* Nark-Kuy Sung* Bong-Hwan Oh** Sung-Nam Kim* Kyung-Hee Han*
*Myongji University **Myongji College

Abstract - Recently, for increasing consumed power and informational society, confidence of power supply is demanded. Beside, owing to most of these loads are nonlinear, utility line is polluted by these components. therefore, it is demanded compensation of harmonic current. In times past, special order of harmonic current is only compensated by passive filter, but active power filter can compensate whole harmonic current.

Therefore, this paper propose uninterruptable power supply(UPS) with performance of active power filter.

1. 서 론

최근 전력사용의 증가와 전기 에너지의 의존성이 커지고, 정보화 사회에 접어들면서 통신장비, 공장자동화 설비, 의료기기등 전원 외란에 매우 민감한 부하들이 증가하고 있다. 또한 이러한 부하들이 대부분 비선형 부하이므로 역률이 나쁜 고조파 전류가 발생하며, 이러한 고조파 성분에 의해 계통전류의 높은 THD (Total Harmonic Distortion)가 야기된다. 그러므로 전원의 고조파전류의 보상이 요구된다. 이러한 고조파전류의 보상을 위해서 예전에는 인덕터와 캐패시터로 구성된 수동필터를 사용하였지만 이것은 특정한 차수의 고조파성분만을 제거할수 있다. 그러나 부하측 전류는 광범위한 차수의 고조파를 포함하고 있기 때문에 완전한 필터링은 불가능하다.[1] [2]

본 논문에서는 능동전력필터기능을 갖는 UPS의 개념을 도입하여 전원사고시에는 UPS로 동작하고 정상시에는 능동전력필터기능으로 동작하도록 제어하였다. 따라서 안정적인 전원의 공급과 고조파전류를 제거하므로써 전원전류의 THD를 최소화 하였다.

2. 능동전력필터

능동전력필터(Active Power Filter)의 요체는 인버터가 계통에 주입해 주어야할 기준보상전류(i_c)를 정확히 산출해내는 것이 가장 중요한 과제이다. 이러한 기준 보상전류를 구하는 방법에는 아날로그 방식이 많이 사용되어 왔지만 이 방식은 보상전류(i_c)의 연산에 대역통과필터를 사용하기 때문에 설계상의 어려움을 동반하고 아날로그 소자의 offset, drift, 그리고 주변수동소자의 정수변동과 같은 이유로 인해 기준전류연산이 영향을 받을수 있다. 그래서 DSP연산기로 TI사의 TMS320C31을 사용하여 아날로그 방식의 단점을 보완하였다.[3] [4]

DSP연산기에서는 부하전류, 계통전압, 인버터의 DC측 전압을 검출하여 보상기준전류를 계산해내고 이 계산값을 EPLD에서 PWM파형을 만들어 각각의 게이트를 동작시킨다.

2.1 능동전력필터의 동작원리

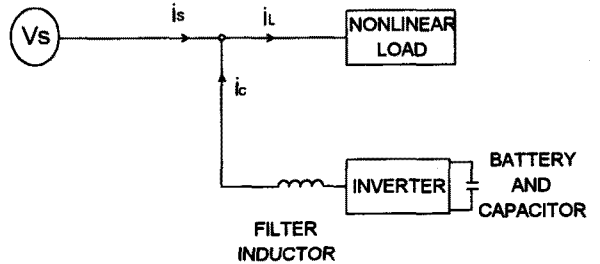


그림1. 능동전력필터(APF)의 원리도

그림1에서 능동전력필터가 동작하지 않을때에는 고조파전류가 계통에 흐르게되어 주위의 중요한 장비나 설비에 영향을 미쳐 고장의 원인이 된다. 그리고 비선형부하는 대체로 다이오드 정류기 부하로서 정류기후단의 캐패시터전압 때문에 전류는 펄스의 형태로 흐르게 되며 이러한 고조파전류를 방지하기위해 상용의 정류기에는 PFC(Power Factor Correction)회로가 필수적으로 사용되어지고 있다. 그러나 이것은 모든 부하전력이 PFC 컨버터를 지나기 때문에 큰부하에서는 전도손실 및 스위칭 손실이 크게 발생하여 효율이 나쁜 단점이 있다.

그러므로 비선형 부하에 병렬로 전압원 인버터를 연결하여 고조파전류 및 무효전력을 보상한다.

위 그림에서 부하전류(i_L)를 검출하여 여기서 기준부하전류에 해당하는 기본파만을 추출한다면 순수한 고조파만이 남을 것이다.

여기서 계통전압은 다음과 같고,

$$v_s(t) = V_s \sin(\omega t) \quad (1)$$

비선형 부하전류는

$$i_L(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \theta_n) \quad (2)$$

계통의 기본파전류는

$$i_s(t) = I_1 \cos \theta_1 \sin(\omega t) \quad (3)$$

여기서 우리가 원하는 기준보상전류는 다음과 같이 표현된다.

$$i_{con}(t) = i_L(t) - i_s(t) \quad (4)$$

이것을 인버터로서 계통에 흘려 준다면 고조파 성분은

상쇄되고 기본파전류만이 남게되어 전범위의 고조파를 필터링 할수 있다. [5] [6]

2.2 회로구성 및 블록다이어그램

그림2에서와 같이 네 개의 무점점 스위치와 DC링크를 가지는 전압원 인버터가 능동전력필터(APF)로서 부하와 계통전원에 리액터(L)를 통해 병렬로 1 : 1변압기를 통해서 연결되어 있다. 그리고 계통전원과 부하사이에 MC (Magnetic Contactor)를 두어서 전원사고시 계통에서 부하를 차단시키게 된다.

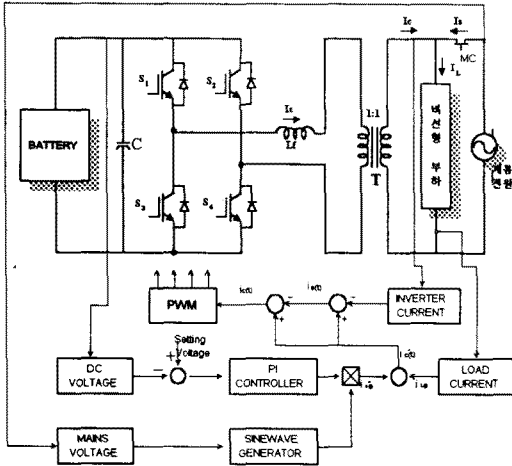


그림 2. 회로도 및 제어블록도

능동전력필터의 핵심인 보상기준전류를 구하기 위하여 위의 블록다이어그램과 같이 DC링크단 전압과 계통전압으로 원하는 기준전류를 구하고, 부하전류와의 연산으로 보상기준전류를 만들어 이것을 PWM변환을 거쳐 게이팅하면 보상기준전류가 계통으로 흐르게 된다. 그리고 인버터에서 나가는 전류를 다시 검출하여 연산을 거친 보상기준전류와의 위상지연오차를 보상해주어야 한다.

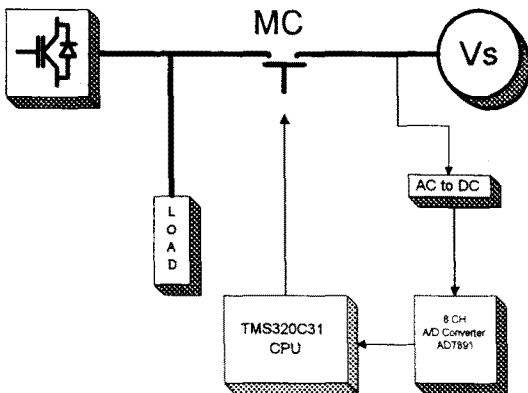


그림 3. UPS동작원리

그림 3에서와 같이 정상시에는 능동전력필터로서 동작하면서 순시적으로 계통의 전압을 AC to DC컨버터를 통해 변환된 DC값을 고속의 변환시간을 갖는 A/D7891로 검출받아 TMS320C31 CPU에서 감시하고 있다가 일정전압이하로 계통전압이 떨어질 때 MC를 동작시켜 APF모드를 멈추고 UPS모드로 변환하여 인버터가 부하에 전력을 공급하게 된다.

2.3 전류제어기법

전원전류를 전원전압과 동상인 정현파로 제어하기 위한 전류제어 기법으로는 대표적으로 PI전류제어방식과 히스테리시스제어방법이 있다.

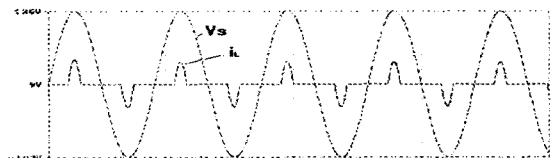
PI 전류제어기법은 전류오차신호를 삼각파와 비교하여 인버터에 인가할 PWM함수를 발생하는 제어기법으로 SPWM(Sinusoidal Pulse Width Modulation)제어 혹은 삼각파 비교방식이라고도 한다. 이것은 기준전류와 실제전류를 비교하고 이때 발생하는 전류오차신호를 PI제어기를 통과하여 원하는 크기의 신호로 증폭한 후 삼각파 캐리어와 비교하여 인버터의 각 스위치에 인가할 신호를 발생시킨다. 그러나 이 제어기법에서는 정상상태에서 위상지연이 발생하는 단점이 있다.

그리고 히스테리시스제어기법은 기준전류신호를 기준으로 하여 양쪽으로 일정한 밴드를 설정하고 실제전류가 이 밴드내에서 흐르도록 인버터의 스위칭상태를 제어하는 기법이다. 이것은 실제전류가 하위밴드에 도달하면 전류를 증가시키는 방향으로, 상위밴드에 도달하면 전류를 감소시키는 방향으로 스위치를 ON시켜 전류제어를 수행한다. 이와같이 기준전류신호와 실제전류를 비교하여 전류오차신호를 가지고 OP-AMP의 포화특성을 이용하여 컨버터의 스위칭 파형을 만들어 낸다. 이러한 히스테리시스제어기는 과도상태특성이 우수하고 구성이 간단하다는 특징이 있지만 밴드내에서 스위칭주파수가 일정하지 않으므로 항상 전류리플이 존재한다는 단점이 있다. 이상의 제어기법 중 본 논문에서는 PI전류제어기를 사용하여 제어하였다.

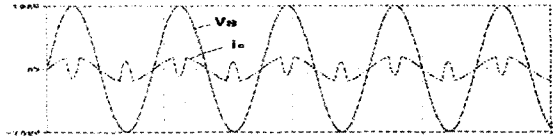
3. 시뮬레이션 및 실험

3.1 시뮬레이션

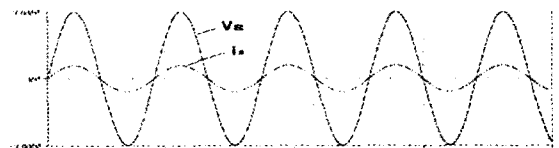
그림4는 Pspice프로그램을 사용하여 단상의 능동전력필터를 모의실험한 결과이다.



(a)계통전압(Vs)과 보상전의 계통전류($i_L = i_s$),



(b)계통전압(Vs)와 보상전류(i_c)

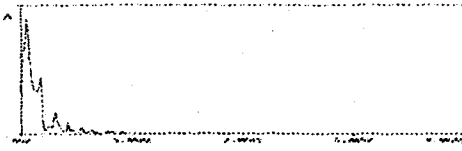


(c)계통전압(Vs)와 보상후의 계통전류(i_s)

그림 4. 시뮬레이션파형

(a)의 파형은 APF가 동작하지 않을때의 계통전압(Vs)과 정류기 부하로 공급되는 계통전류(i_s)의 파형이 많은 고조파가 함유된 펄스형태로 흐르는 것을 보여주고 있다. 그리고 (b)는 능동전력필터가 동작하여 계통에 공급하는 보상전류(i_c)의 파형을 나타내고 있다. (c)는 보상전류(i_c)가 인버터에서 공급되고 나면 보상전류(i_c)와 고조

파전류가 서로 상쇄되고 기본파전류만이 계통에 흐르게 됨을 알 수 있다.



(a)보상전 계통전류의 고조파분석



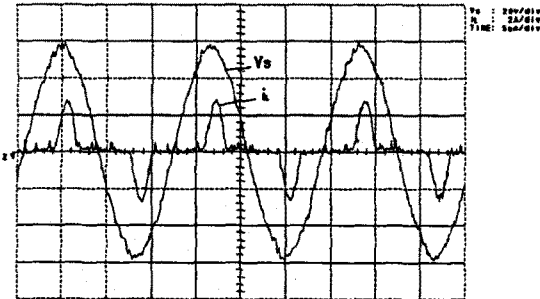
(b)보상후 계통전류의 고조파분석

그림 5. 계통전류의 고조파분석

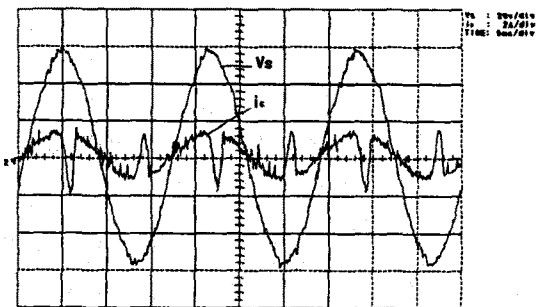
그림5는 능동전력필터의 동작으로 보상하기전과 보상후의 계통전류를 고조파 분석한 결과로 그림(a)는 보상전의 고조파전류를 나타내며 여러 주파수대의 고조파가 함유됨을 알 수 있고, 그림(b)는 보상후의 계통전류로 기본 주파수대에서만 고조파성분이 나타남을 알 수 있다. 이상의 시뮬레이션결과는 APF동작을 시뮬레이션을 통하여 확인 하였으며 UPS로서의 동작은 행하지 않았다.

3.2 실험파형

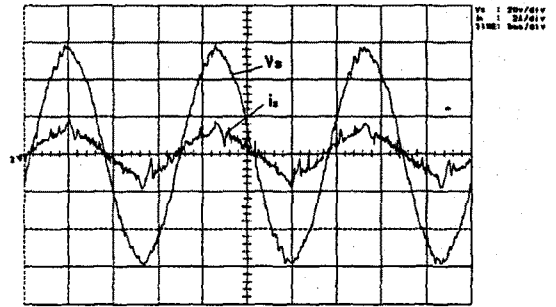
다음의 그림은 단상의 시스템을 능동전력필터로서 동작시킬때의 계통전압 및 보상 전후의 계통전류와 보상전류를 실험을 통해 측정된 결과이다.



(a)계통전압과 보상전의 계통전류



(b)계통전압과 보상전류



(c)계통전압과 보상후의 계통전류
그림 6. 실험파형

그림6은 단상의 UPS시스템을 계통 및 부하와 병렬로 연결하여 APF동작만의 실험을 통한 결과이다.

그림(a)에서 시뮬레이션 파형과 같이 계통전압과 APF가 동작하지 않을때의 계통전류를 나타내고 있으며, 정류기의 캐패시터전압 때문에 펄스형태로 흐르는 계통전류를 볼 수 있다. 그리고 그림(b)는 제어기에서 부하전류를 검출하여 보상전류를 계산해낸 다음 인버터로 보상전류를 만들어 계통에 주입하는 전류를 나타낸다. 시뮬레이션 파형과 유사함을 알 수 있다.

마지막으로 그림(c)는 보상후의 계통전류의 파형을 나타내고 있으며 계통전압(Vs)와 동상으로 시뮬레이션 결과와 유사함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 정류기에서 발생하는 고조파전류를 수동필터를 사용하지 않고 제거하기 위해서 능동전력필터의 동작원리와 제어알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 동작특성과 타당성을 검증하였다. 그리고 단상의 시스템을 대상으로 실험을 통하여 펄스형태의 고조파전류가 정현파에 근사하도록 제어하였다.

향후 과제로서는 PI제어기의 위상지연의 정확한 보상으로 보다 더 향상된 필터링과 정전시 빠른 부하전력을 공급해야 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 박민호, 김한성, 최규하, 이재필, "전압형 PWM컨버터 이용한 3상 능동전력필터에 관한 연구", 대한전기학회논문지, 38(5), pp370-379, 1985
- [2] 권병기, 우명호, 정승기, "DSP를 사용한 예측전류제어방식의 능동전력필터", 대한전기학회논문지, 44(6), pp762-766, 1995
- [3] 강상근, 최규하, 신우석, 김한성, "순간전압보상기능을 갖는 능동전력필터에 관한 연구", 대한전기학회논문지, 44(6), pp776-782, 1995
- [4] 변영복, 조기연, 박성준, 김철우, "새로운 고조파 보상기를 이용한 비선형부하 대응 3상 UPS인버터의 DSP에 의한 제어", 대한전기학회논문지, 46(12), pp1756-1763, 1997
- [5] Yu Qin, Shanshan Du, "A DSP Based Active PowerFilter for Line Interactive UPS", IEEE IECON, 2권, pp884-888, 1995
- [6] Seung-Gi Jeong, Myoung-Ho Woo, "DSP Based Active Filter with Predictive Current Control", IEEE IECON, 1권, pp645-650, 1995