

전압보상 기능을 갖는 능동 전력 필터

강성곤* 이광주 최기원 소정환 최규하
건국대학교 전기공학과

Active Power Filter with Voltage Compensating Function

Sung-Kon Kang Kwang-Joo Lee Ki-Won Choe Jung-Hwan So Gyu-Ha Choe
Dept. of Electrical Eng. Kon-Kuk University

ABSTRACT

The conventional APF(Active Power Filter) system performs only function which is compensated for source harmonic by injecting harmonic compensation current as well as reactive power component by PWM. This paper presents a new APF which provides the combined functions of VC(Voltage Compensator) and conventional APF, because the structure of APF is similar to stand-alone UPS in parallel type. Single-chip microprocessor plays an important role in controlling each function. Simulation obtained from ACSL are shown to verify multi-functions of new APF.

1. 서론

지금까지 능동전력필터(APF:Active Power Filter)는 속응성이 우수하고 부하변동에 따라 제어범위가 넓으며, 부하측 고조파의 증가에 따라 추가병렬설비증대가 가능한 특징을 가지며, 그 고유기능인 고조파 및 무효전력성분을 보상하는 역할을 수행해 왔다.[1,2] 그러나 고조파발생원으로서의 부하 자체에서만 보면 입력측에 발생하는 고조파 및 무효전력성분 등의 문제보다는 입력전원 자체의 불안정화 문제 즉 전압의 크기변동 및 주파수의 변화 등이 오히려 더 심각하다. 즉 정전, 순간전압강하 및 주파수변동 등과 같은 전원장해문제는 바로 부하 자체로 그 영향이 직결되어, 만약 생산시스템 일 경우 제품의 품질이 저하되는 등의 문제가 초래된다. 부하측 실비 자체에 이러한 문제에 대한 대처기능이 보유되어 있지 않다면 별도의 설비 즉 AVR, UPS등을 사용해서 부하의 공급전압을 안정화시켜 주어야 한다.[3,4] 능동필터는 교류전원에 대해 부하와 함께 항상 병렬로 연결되고(병렬형 필터의 경우) 따라서 이러한 형태의 구조는 stand-alone UPS와 동일하므로 병렬형 능동필터에 전압보상기능을 추가하여 고유의 고조파 및 무효전력 보상 뿐만 아니라 공급전압의 안정화 기능까지 갖추도록 하는 새로운 능동필터를 제시하고자 한다.

본 논문에서는 동작기능별로 2가지 Mode로 나누어 Mode1은 능동전력필터(APF)기능으로서 필터 본래의 고조파저감 모드이고, Mode2는 전압보상(VC)기능으로서 전압강하보상(VDC: Voltage Drop Compensation) 및 정전시 필터에서 전전압을 보상하는 기능으로 구분하고, 각 Mode에서의 정상 및 과도상태특성을 위하여 ACSL(Advanced Continuous Simulation Language)로 시뮬레이션 하였다.

2. 제안필터시스템

제안된 능동필터시스템은 그림1과 같이 나타낼 수 있고 기존의 능동필터와는 달리 전압보상기능도 함께 보유했어야 하므로 switch box가 필요하다. 필터시스템은 그림2와 같이 2가지 Mode로 나누어 회로 동작을 설명할 수 있고 제안된 능동필터는 다음과 같다.

(1) 능동전력필터 모드

능동전력필터는 그림2(a)와 같은 병렬형구조로서, 부하전류에 포함된 고조파전류와 동일한 전류를 전원측으로 주입시켜 고조파를 상쇄하는 것이 그 주된 기능이다.

지금 i_s 를 정류기부하의 입력전류, i_{apf} 를 능동필터에서 전원측으로 주입되는 전류라 할때 최종적으로 보상된 전원전류의 표현은 다음과 같다.

$$i_{sr}(t) = i_s(t) + i_{apf}(t) = \sqrt{2}I_{s1} \sin \omega t \quad (1)$$

실제로는 전압형 인버터를 이용하여 식(1)에 근사한 형태로 보상할 수 있으며 이것은 우수한 전류제어기를 채택함으로써 가능해진다. 여기서는 전류제어를 위해 히스테리시스(Hysteresis)제어기를 사용한다. 이러한 히스테리시스 제어기는 구조가 간단하며 신속한 과도응답특성을 지니고 있을 뿐만 아니라 저가이면서 실현이 용이한 장점이 있다. 반면 정상상태에서의 맥동성분이 다소 커지고 동작점에 따라 스위칭주파수가 변하는 등의 단점도 있으나 능동필터에서는 그 특성상 신속한 응답특성이 요구되기 때문에 히스테리시스 제어기를 사용하였다.[5,6]

고조파 기준신호 i_h^* 를 중심으로 일정한 밴드 Δf 를 주고 실제전류가 상위밴드에 도달하면 스위칭함수 S_{apf} 는 -1로 변하고 따라서 인버터에서는 전류가 감소하는 방향으로 동작하게 되고 또한 하위밴드에 도달하게 되면 스위칭함수 S_{apf} 는 1로 스위칭이 되어 인버터에 의해 전류가 증가하게 된다. 이때 스위칭주파수는 인버터출력단의 인덕턴스값, 밴드폭 및 직류측전압에 주로 많은 영향을 받는다. 그리고 부하 전류에 포함된 고조파기준신호 i_h 는 입력측에서 부하전류를 감지해서 60[Hz] BSF(Band Stop Filter)를 거쳐 얻어지는 신호로 하고 아주 정밀한 설계를 필요로한다. 그림2(a)의 시스템을 해석하기 위해 필요한 관계식을 구해 보기로 한다. 능동필터의 직류측 배터리전압을 V_{dc} 라 하고 또한 히스테리시스 제어기로부터 얻어진 능동필터의 스위칭함수를 S_{apf} 라 하면

인버터의 교류측전압 v_{apf} 는 다음식으로 표현된다.

$$v_{apf}(t) = S_{apf}(t)V_{dc} \quad (2)$$

능동필터의 출력전류 i_{apf} 에 의해 교류전원을 포함한 폐회로방정식을 구하면 (변압비 $a=2$)를 고려한식)

$$v_{sr}(t) = av_{apf}(t) + aL_X \frac{di_{apf}(t)}{dt} \quad (3)$$

로 되며, 여기서 인버터의 출력단에 연결된 인덕터 L_X 는 밧데리전압을 고조파보상전류의 형태로 바꾸어 교류측으로 주입시키주는 역할을 한다. 필터의 직류측에는 밧데리를 사용하고 있어 충진이 되지 아니하면 얼마후 방전 되어 원하는 필터링 작용을 할 수 없고 또한 밧데리의 종지전압(END VOLTAGE)이하로 되면 밧데리의 수명까지 단축시키는 원인이 된다. 이를 위해 능동필터의 출력전류 i_{apf} 는 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

$$i_{apf}(t) = i_h(t) + \rho i_{s1}(t) \quad (4)$$

여기서 ρ 는 정류기부하에 의해 입력측에 흐르는 기본파전류량에 대한 필터로 유입되는 기본파성분의 비를 나타내며 밧데리에서 허용되는 전압의 변동범위 내에서 설정해야 하고 이러한 값은 직류전압 일정제어루프에 의해 결정된다.

(2) 전압보상 모드

전원이 정상적일때는 인버터가 필터로 동작되는 반면 여기서 순간적으로 전압이 강하되는 것을 인버터에서 감지하여 그림2(b)와 같은 구조로 바꾸어 부하측으로 정전압을 공급하도록 해 주는 모드를 전압보상(VC)모드라고 하였다.

APF와는 달리 전원이 지정값이상의 전압강하가 1주기 이상 지속될때 그 강하분 만큼의 부족전압을 보상에 주므로 인버터는 SSR에 의해 전원측과 직렬로 연결되고 내부적으로는 항상 교류전원과 동기된 정현파신호에 의해 VC기능을 발휘하도록 인버터를 제어하게 된다. 이때 정 현파신호는 look-up table(ROM)을 이용하여 실현할 수 있으며, single -chip을 이용하여 원활한 제어를 수행한다.

VC모드는 교류전압이 일정하다가 갑자기 전압강하가 일어날 경우 전압강하분에 해당하는 전압제어신호가 히스테리시스제어의 입력신호로 된다. 제어가 VC모드에서 동작될 때 스위칭함수 S_{vdc} 를 발생시키고 있다면 직렬로 연결되는 인버터의 출력전압 v_{vdc} 는 다음 식으로 표현된다.

$$v_{vdc}(t) = S_{vdc}(t)V_{dc} \quad (5)$$

그리고 VC모드의 출력전류 i_{vdc} 에 의해 인버터출력단의 교류측전압을 구하면 다음과 같다.(변압비 $a=2$)

$$v_{vdc}(t) = aL \frac{di_{vdc}(t)}{dt} + \frac{a}{C} \int i_{vdc}(t)dt + aRi_{vdc}(t) \quad (6)$$

전원전압이 100%강하(정신)할 경우에도 보상할 수 있으며 UPS로 동작하기 위해서는 SSR에 의해 전원측과 병렬로 연결된다.

(3) 시스템의 모드식별 제어

VC모드에서 전압강하시의 검출기준신호는 전원전압의 90%로 하지만, 정전시에는 전원전압의 10%로 선정한다. 항

상 전원전압과 검출기준신호가 비교되고 있다가, 전압강하가 일어날 경우 항상 비교되던 검출신호에 의해 VDC모드에 맞게 모든 스위치와 제어신호가 바뀌게 된다. 이때 정확한 제어신호의 발생이 매우 중요하며 VC모드의 기준신호로 삼는다. 그림3은 각 동작모드의 구분기준을 나타낸다. 제안시스템의 각 동작모드변환제어를 위해 전원의 상태에 따른 동작모드를 구분하는 기준을 정해 놓은 것이다. 그림3에서 보는 바와 같이 모드변환시에 4%의 밴드를 줌으로써 제어부의 안정성을 도모하고자 한다. 즉 A/D converter(ADC)의 양자화 오차보다 약4배정도 크기의 여유는 양자화오차에 의한 제어신호의 민감정도를 완화함으로써 제어부의 불안정성을 제거하고자 하였다. 또한 10%저하되는 VDC모드의 경우 8%~12% 사이에서 판정되도록 하였다.

3. 시뮬레이션 결과

제안된 시스템의 각 동작모드에서 가장 좋은 출력특성을 얻기 위해 ACSL을 이용하여 시뮬레이션하였다. 각 출력특성은 회로내의 직렬 인덕터, 출력단 커패시터, 히스테리시스 밴드폭 및 직류전압의 크기 등과 같은 주어진 조건을 변경시켜가면서 출력이 갖는 THD가 최소화되는 관점에서 그 특성의 우수성에 대한 판정 기준으로 삼았다. 교류전원이 정상적일 경우 그림4(a)는 고조파발생원으로 정상운전시의 입력측 전류파형이다. 이때 그림4(b)는 능동필터의 운전을 위해 기본파 전류가 추가된 인버터출력전류 즉 고조파보상전류로 식(4)에 나타낸 전류 i_{apf} 와 같다. 인버터 시스템은 능동필터로 동작하므로 정상운전시 보상된 전원전류는 그림4(c)와 같다. 그림 4의 경우 히스테리시스 밴드폭 5%, $L_X=3[mH]$ 로 설정한 경우으로써 THD=4.0%(스위칭주파수는 약 16[kHz])이다. 또한 그림5는 전원의 전원의 순간전압강하(전원전압의 30%강하)가 발생하여 인버터시스템이 VC모드로 동작하고 있는 경우 정상상태 및 과도상태를 나타내었다. 때 밴드폭은 5%(스위칭주파수는 약 15[kHz]), $L=0.01[mH]$ 및 $C=500[\mu F]$ 로 하였다. 만약 VC의 경우 L 값을 변경하지 않고 3[mH](APF 모드)의 L_X 값)로 두면 그림5(b)와 같이 출력에 왜형이 생기며 지연됨을 알 수 있다. 그러므로 L 값은 각 동작모드에 따라 변경시켜 주어야 한다.

4. 결론

본 연구에서는 기존의 능동필터 구조가 UPS (stand-alone UPS)와 동일한 점에 착안하여 병렬형 능동필터에 전압보상의 기능을 추가함으로써 본래의 기능인 고조파 및 무효전력 보상 뿐만 아니라 부하로 공급되는 전압의 안정화 기능까지 갖추도록 하는 새로운 능동필터시스템을 ACSL로 시뮬레이션함으로써 제안방식을 입증할 수 있었고, 시스템의 속성을 위하여 아날로그 제어부와 디지털 제어부로 병행처리 하였다. 이를 통해 시스템의 속성과 신뢰성을 높일수 있었다.

참고문헌

- [1] L. Malesani et al, "Active Filter For Reactive Power And Harmonics Compensation", IEEE PESC Conf. Record, 1986.
- [2] H. Fujita and H. Akagi, "A Practical Approach to Harmonic Compensation in Power Systems-Series Connection of Passive and Active Filters", IEEE IAS Annual Meeting Conf. Record, 1990.

- [3] I. Takahashi et al, "Development of Simple Flywheel UPS Having Active Filter Ability", EPE'91 Record, 1991.
- [4] N. Mohan et al, "Adaptive Tolerance-Band Current Control Of Standby Power Supply Provides Load-Current Harmonic Neutralization", IEEE PESC Conf. Record, 1992
- [5] D.M. Brod and D.W. Novoty, "Current Control of VSI -PWM Inverters", IEEE Trans.on IA, Vol.20(3),1984.
- [6] L.Malesani and P.Tomasin, "PWM Current Control Techniques of Source Converters-Survey", IEEE IECON'93 Record, 1993.

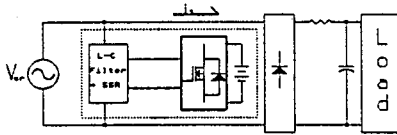
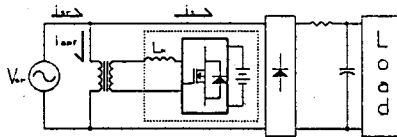
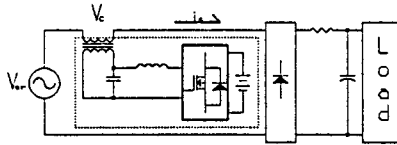


그림1. 제안된 능동필터시스템



(a) APF 모드



(b) VC 모드

그림2. 필터의 작동모드

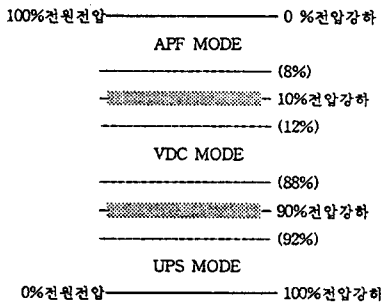
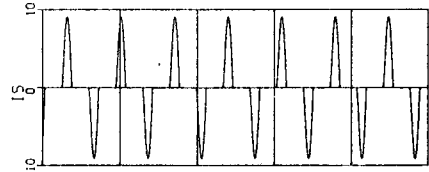
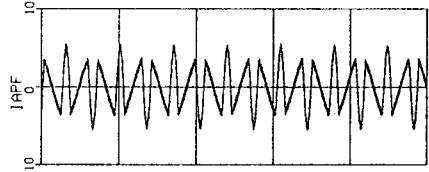


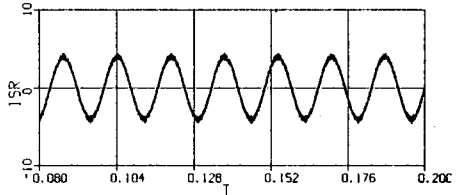
그림3. 제안시스템의 동작모드 구분기준



(a) 부하축 입력전류

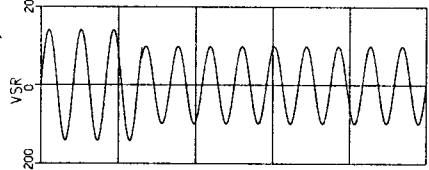


(b) 고주파 보상전류

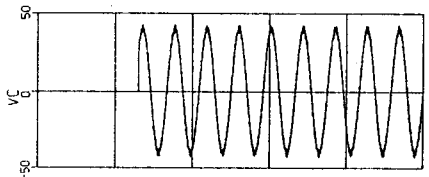


(c) 보상후 전원측전류

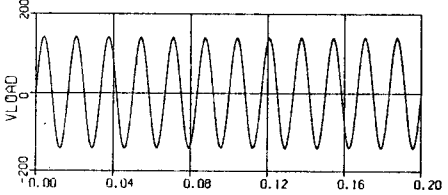
그림4. APF 모드



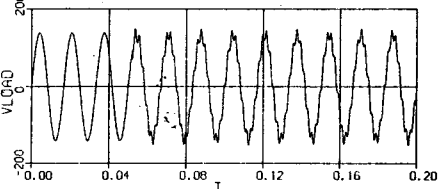
(a) 전압강화된 전원전압



(b) VC 모드에서의 인버터출력전류



(c) 보상된 전원전압



(d) L=3[mH]일 경우의 보상된 전원전압

그림5. VC 모드