

배전계통용 다기능 Active Filter의 개발

강 창 섭*, 유 재 근**

(* (주)메이덴코리아 상무이사, **전기안전연구원 책임연구원)

본 글은 2006년도 “明電時報”에 게재된 “配電系統用多機能アクティブフィルタの開発”을 번역하여 재편집한 내용입니다.

배전계통 전력품질의 현재 상황을 보상하는 배전계통용 다기능 Active Filter의 제어방식의 검토, 검증기의 시험제작과 기본기능의 검증을 수행하였다.

검증용 Active Filter 시스템 입장에서 모의배전계통을 구축하고, 각종 현상을 발생시키는 부하를 준비하였다. 전압변동보상, 고조파보상, 전압불평형보상, 플리커보상 4가지 보상기능을 가지고 있다.

220V 10kVA의 검증용 장치(시험제작용 사진)를 시험제작하였다.

각각의 기능별로 평가시험을 실시하여 각 기능에서 양호한 결과를 얻었다. 다음으로 모든 기능을 사용한 평가시험을 실시하였다. 특히 기능간의 간섭도 없고, 단일 기능과 동일한 정도의 보상기능을 얻을 수 있는 것을 확인 하였다.

1. 머리말

최근 지구환경문제에 대응 등에서 태양광발전, 풍력발전 등의 보급확대가 급속하게 진전되고 있다.

향후 분산형 전원이 계통에 대량 연계될 것으로 예상된다

면, 전력품질(전압변동, 고조파, 불평형, 플리커 등)에 좋지 않은 영향을 미칠 것으로 예상된다.

따라서 이에 대한 대책이 새로운 과제로 대두되고 있다.

그에 대한 대책으로서 自勵式 SVC(Static Var Compensator), 전력용 Active Filter 등의 적용을 검토되고 있지만, 배전계통측에서 각종 현상에 대하여 각각의 대책장치를 설치하는 경우 Cost, 설치장소의 문제가 있다.

또한 각 현상을 1대의 장치로 대책을 수립할 수 있는 요구가 있다.

이에 따라 중국전력(株)과 (株)明電舎(MEIDENSHA)는 공동으로 배전계통 전력품질의 현재 상황을 1대의 장치로써 보상하기 위하여 배전계통용 다기능 Active Filter의 개발을 추진하게 되어, 제어방식의 검토, 검증용장치의 시험제작과 기본 기능의 검증을 실시하였다.

본 원고에서는 검증용장치의 시스템구성, 보상제어방식, 시험결과 등에 대하여 소개한다.

2. Active Filter 검증기

2.1 시스템구성

그림 1에서 시스템구성을 나타낸다. A/F 검증시스템은 모의 배전계통과 A/F 검증기, 모의 부하로 구성되어 있다.

표 1에 모의 배전계통의 사양을 나타낸다.

모의 배전계통은 계통 임피던스의 저항분 R을 모의실험을

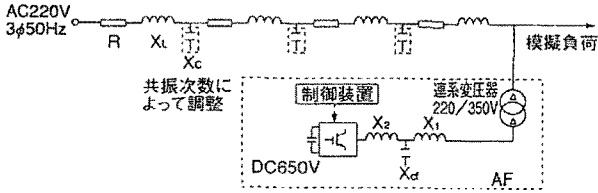


그림 1 A/F 검증기 시스템구성

표 1 모의 배전계통 사양(220V 10kVA Base)

항목	사양
입력전압	220V
주파수	50Hz
저항분 R	0.6%
Reactance X_l	1.3%
진상콘덴서 X_c	15~16% (공진주파수에 따라서 조정)

실시한 저항과 리액턴스분 X_l 을 모의실험을 실시한 리액터, 수용가의 진상콘덴서 X_c 를 모의실험을 실시한 전력용 진상콘덴서에서 구성되어 있다. 또한 전력용콘덴서는 계통공진현상에 따라 고조파확대를 발생시키기 때문에 공진 차수에 따라서 콘덴서용량을 조정하였다.

A/F 검증기의 출력용량은 10kVA로 3상 전압형 IGBT inverter, 연계 필터용 리액터 X_1 , X_2 , 캐리어 리플 제거용 콘덴서 X_{cd} , 연계 변압기, 제어장치로 구성되어 있다. 인버터는 삼각파비교의 PWM 제어방식으로 캐리어 주파수는 6kHz이다. A/F 검증시스템의 외관은 시험제작장치 사진을 보여주고 있다.

좌로부터 다기능 A/F반, 모의계통부하반, 모의부하반이다. 모의부하로서는 전압변동발생용에 리액터부하, 고조파발생용에 다이오드 정류회로, 전압불평형 발생용에 단상의 저항부하 및 리액터부하, 플리커 발생용에 사이리스터 스위치를 사용한 플리커원을 사용했다.

2.2 보상원리

그림 2에 제어블록도를 나타내고 있다.

본 장치는 전압변동보상, 고조파보상, 전압불평형보상, 플리커보상의 4가지의 보상기능을 가지고 있다. 전압변동보상, 고조파보상, 전압불평형보상은 계통전압 V_{in} 을 3상2상변환, dq변환을 유효전압 V_q 와 유효전압 V_d 에 분리하여 각 보상에 이용되고 있다. 플리커보상은 부하전류 i_{load} 에서 계통전압과 같은 부하유효전류 i_q 와 부하무효전류 i_d 에 분리하여 이용되고 있다.

아래에 구체적인 보상내용을 나타내고 있다.

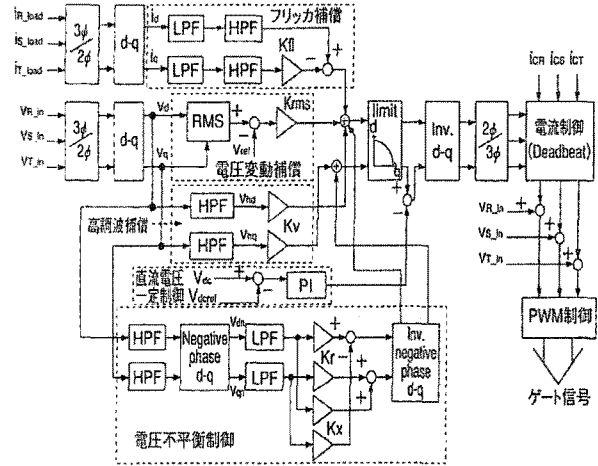


그림 2 A/F 제어블록도

전압변동보상은 V_q 와 V_d 에서 구한 전압실효치를 전압 목표치 V_{ref} 와 일치하는 것으로 feed-back에 의해서 무효전류보상을 실행한다.

전압변동보상에는 V_{ref} 를 고정시키고 목표전압 고정과 V_{ref} 를 계통전압에 완만하게 추종되도록 목표전압변동의 2가지의 보상모드가 있다. 목표전압 고정에서는 전압변동이 발생하는 경우, A/F에서 전압보상을 행하고, 전압이 일정하게 되도록 출력을 유지하지만, 목표전압 변동은 보상후, 서서히 전압이 변화되고 장치의 출력은 줄어들게 된다.

이것은 배전계통에 설치된 A/F에서 보상을 계속해서 하는 것이 아니라, 기존 설치되어있는 SVR 등과의 협조를 취하고, 완만한 변동은 기설의 설비에서 대응하고, A/F는 순간적인 변동에 대응할 수 있도록 하기 위한 것이다. 전압변동보상의 응답은 2cycle 정도이다.

고조파 보상은 전압검출 방식을 채용했고 V_q 와 V_d 에 high-pass filter(HPF)를 통해서 고조파분 V_h 를 검출하고, 인버터 전류 i_c 를 식 (1)과 같이 되도록 제어하는 것으로 damping 저항동작이 된다.

$$i_c = V_h / K_v \tag{1}$$

부하에서 유출하는 고조파의 보상에 대해서는 부하전류 검출보다 효과가 적지만, 계통의 리액턴스 성분 X_l 과 콘덴서 성분 X_c 의 공진에 의한 고조파의 확대를 억제하는데 유효하다. 보상의 응답으로서는 수초정도가 된다.

전압불평형 보상은 V_q 와 V_d 에서 역상 dq변환에 의해 역상 유효전압 V_{qn} 과 역상무효전압 V_{dn} 을 구해서 feed-back에 의해 역상유효, 무효전류 보상을 행한다. 보상의 응답시간은 수초정도가 된다.

표 2 A/F 검정기용 인버터 사양

항목	사양
출력용량	10kVA
주파수	50Hz
상수	3상 3선
직류전압	650V
출력전압	350V
인버터 제어	삼각파 비교방식 PWM 제어 (carrier 주파수 : 6kHz)
연계 변압기	220/350V

플리커 보상은 반사이클 마다의 부하유효전류와 부하무효전류를 구해서 배전선의 저항성분 R과 리액턴스 X_L 에서 전압변화분을 연산하고 무효전류와 X_L 에서 전압변화분을 제거하도록 전류를 보상한다. feed-back을 행한 전압변동 보상에 의해서도 응답성이 좋다. 그러나 플리커전류를 검출할 수 있는 경우에만 적용이 가능하다.

이와 같은 4가지의 보상으로 연산된 유효전류, 무효전류 지령치의 총합을 얻고, 무효출력 우선의 limiter를 통해서 역dq변환, 2상3상변환을 통해서 인버터의 출력전류 i_c 의 지령치가 된다.

계통전압과 합을 구해서 전압 지령치가 되며, PWM 제어부에서 인버터 게이트 지령을 만들어낸다. 이상과 같이 각 보상부의 보상지령을 제어하는 것으로서 다기능 보상 제어를 행한다.

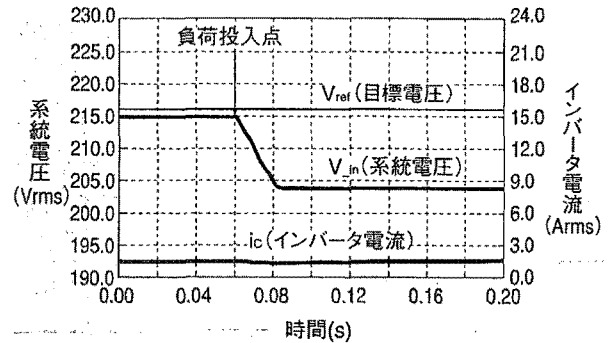
3. 평가 시험결과

220V 10kVA의 검증기를 제작하고 그림 1에 나타난 모의 배전계통을 사용한 평가시험을 했다. 전압변동 보상, 고조파 보상, 전압불평형 보상, 플리커 보상의 4가지 보상기능에 대해서 개별기능의 확인시험을 행하고 다음에 모든 기능에서의 시험을 행했다.

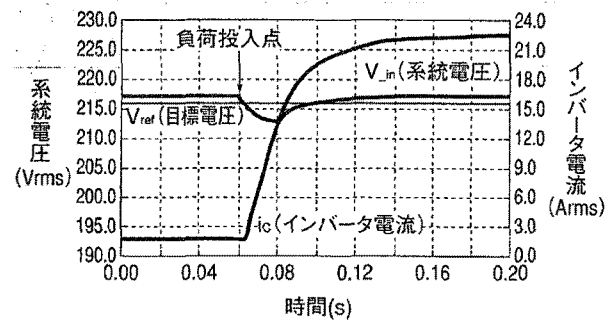
3.1 전압 변동 보상

전압변동 보상시험은 10kVAR 정도의 리액터 부하를 투입해서 실시했다. 목표전압이 고정된 경우의 전압변동 보상결과를 그림 3에 보인다.

보상을 하지 않는 경우 그림 3(a)는 0.06sec에서 부하가 투입되어서 전압이 10V 정도 저하되고 있다. 그림 3(b)와 같이 보상된 경우, 0.06sec에서 부하가 투입되면 전압이 4V 정도 저하가 되지만, A/F의 보상에 의해 전압변동이 억제되어 2사이클 이내에서 보상이 된다. 목표전압이 변동된 경우의 결과는 그림 4와 같다. 전압변동 보상후, 서서히 전압이 변화하



(a) 리액터 부하 투입 : 전압변동 보상이 없는 경우



(b) 리액터 부하 투입 : 전압변동 보상이 있는 경우

그림 3 전압변동 보상시험 결과

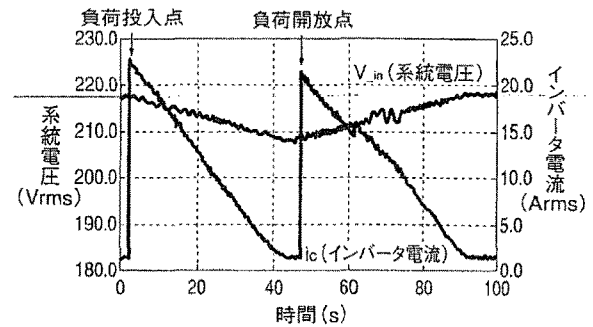


그림 4 전압변동보상(목표전압변동)

고 출력이 줄어들고 있다. 실제의 동작은 A/F의 출력 감소중에 기존 설치된 전압조정기가 협조동작을 행한다.

3.2 고조파 보상

고조파 보상은 비선형 부하로서 3상 다이오드 정류회로를 접속해서 시험을 했다. 또한 모의배전계통에서 5차, 7차, 11차에서 공진할 수 있는 콘덴서 용량을 조정했다.

고조파 보상의 결과를 표 3에 보인다. 표에서 보상 전에 4~7% 정도 존재한 총합전압왜형률이 보상이 된 경우에는

표 3 고조파 보상 시험결과

구분		계통전압 R-S		계통전압 S-T		계통전압 T-R	
		보상전	보상후	보상전	보상후	보상전	보상후
5차	THD(%)	6.52	2.05	6.09	2.60	7.00	2.51
	THDL(%) ^{주1)}		3.44		2.74		2.77
7차	THD(%)	3.92	2.00	3.92	2.40	4.65	2.50
	THDL(%)		2.72		3.32		2.58
11차	THD(%)	4.58	2.33	5.06	2.63	4.25	2.33
	THDL(%)		4.18		4.33		4.12

주1) 부하전류에서 구한 THD(%)

표 4 전압 불평형 보상 시험결과

부하	보상 전후	불평형률(%)
R 부하	보상전	2.99
	보상후	0.28
L 부하	보상전	2.31
	보상후	0.09

2% 정도 개선되었다.

또한 부하전류와 계통임피던스에서 계산된 총합전압왜형률이 이가 되는 것을 확인할 수 있었다.

3.3 전압불평형 보상

전압불평형 보상시험은 R-T상간에 접속된 단상의 저항부하와 리액터부하를 사용해서 시험을 했다. 전압불평형 보상의 결과를 표 4에 보인다. 표에서 저항부하, 리액터부하에도 불평형률이 보상전에는 2% 이상이였지만, 보상이 된 경우에는 불평형률이 0.5% 이하로 개선되었다.

3.4 플리커 보상

플리커 보상시험에서는 모의계통과 부하의 사이에 사이리스터스위치를 설치하여 1~20Hz에서 절체하면 플리커가 발생한다. 플리커 보상의 결과를 그림 5에 보인다. 이와 같이 5Hz의 플리커에서 90%, 10Hz의 플리커에서 80% 이상의 개선이 확인되었다.

또한, 전압변동 보상에서 플리커를 보상한 경우의 개선율은 5Hz에서 70%, 10Hz에서 60% 이상이 되었다. 플리커 보상의 관점에서 개선율이 높은 것은 응답성능의 차이 때문이다. 어느 쪽의 보상도 주파수가 높아지면 응답이 늦어지기 때문에 효과가 감소한다.

3.5 조합된 보상

각각의 기능에 대한 보상을 확인한 후, 4가지 보상기능을

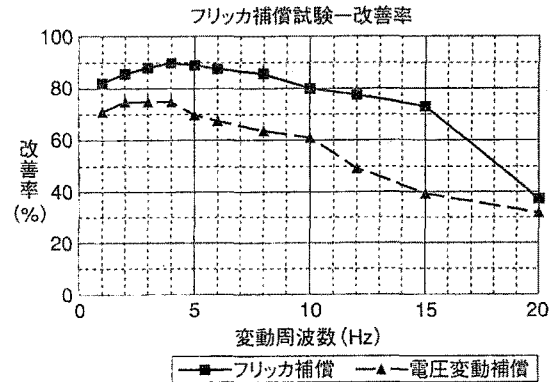


그림 5 플리커 보상 시험결과

동시에 사용해서, 각각의 기능과 동일한 시험을 했지만 특별히 각 기능간의 간섭은 없었으며, 각각의 기능과 동일한 정도의 보상효과가 얻어진 것을 확인했다.

4. 결론

배전계통의 전력품질을 일괄해서 보상하기 위한 배전계통용 다기능형 A/F의 검증기를 시험제작하고 보상효과를 확인했다. 향후에는 실질적인 현장에서의 시험기로 적용하고 현장의 배전계통에서의 현장시험을 하고자 한다.

< 필자 소개 >



강창섭(姜昌燮)

1958년 9월 29일생. 1992년 부경대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동학대 대학원 전기·전자공학과 졸업(석사). 1980년~1984년 (주)한창섬유 대리. 1984년~2000년 한국전기안전공사 부설 전기안전연구원 선임연구원. 2000년~2006년 (주)하이텍전력기술단 연구소장. 2006년~현재 (주)메이덴코리아 상무이사.



유재근(俞在根)

1965년 12월 6일생. 1990년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1992년~1996년 대우전자 영상연구소 주임연구원. 1996년~현재 한국전기안전공사 부설 전기안전연구원 책임연구원.