1999년도 대한전기학회 정기총회 및 추계학술대회 논문집 1999. 11. 20

다기능 전력공급 장치 개발

김 지 원, 전 영 환, 전 진 홍, 박 동 욱
한국전기연구소

Development of the Multi Function Power Conditioner

JiWon Kim, YeongHan Chun, JinHong Jeon, DongWook Park
Korea Electrotechnology Research Institute(KERI)

Abstract - 최근들어 전력 사용량이 증가하고 각종 악성 부하가 증가하면서 최대전력 사용량의 증가 와 고조파 및 상 불평형 전류등에 의한 기기 오동작이나 수명저하가 문제시 되고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 단일 기기로 유효전력 제어, 상 불평형 및 고조파 전류 보상 그리고 무효전력 억제의 기능을 수행할 수 있는 다기능 전력공급 장치를 개발하였다. 실험을 통하여 다기능 전력공급 장치의 성능을 확인하였다.

1. 서 론

최근들어 전력 사용량이 증가함과 동시에 부하의 종류가 복잡 다양해지면서 전력의 질을 저하시키는 악성부하 또한 증가하고 있는 추세이다[2]. 이러한 악성부하들에 의한 고조파 발생, 역률저하 및 상불평형 전류 등은 주변 수용가로의 공급지장 및 전력의 질을 저하시켜 정밀부하를 갖는 수용가에 경제적 손실을 초래하기도 하고 각종 기기의 오동작 및 수명저하를 유발시키기도 한다[4]. 또한 최대전력사용량이 증가하게 되면 수용가는 그만큼 더 많은 전기요금을 지불해야 하고, 전력회사에서는 그만큼 더 많은 발전소 건설이 필요하게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제점에 대한 대책으로 유효전력 공급, 무효전력 및 고조파 억제 그리고 상 불평형 보상의 기능을 수행할 수 있는 다기능 전력 공급 장치를 개발하였다. 개발된 다기능 전력공급 장치는 실험을 통하여 그 기능을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성

본 논문에서 제안된 다기능 전력공급 장치는 3상 인버터, 전력의 충전 및 방전이 가능한 전지 그리고 센서로부터 전압과 전류를 받아서 제어신호를 출력하는 제어기로 구성된다. 그림 1에 다기능 전력공급 장치의 계통연계 구성도를 나타내었다. 그림 1에서 보듯이 다기능 전력공급 장치는 "split-capacitor" 구조의 3상 인버터와 필터 및 연계 리액터로 구성된다. 실험에 사용된 각 구성요소의 소자값을 나타내면 표 1과 같다.

표 1. 실험에 사용된 구성요소의 소자값

소자	V_{dc}	C_{dc}	$IGBT$
값	360[V]	14,100[μF]	600[V]/ 150[A]
소자	L_f	C_f	L_s
값	1[mH]	5[μF]	1[mH]

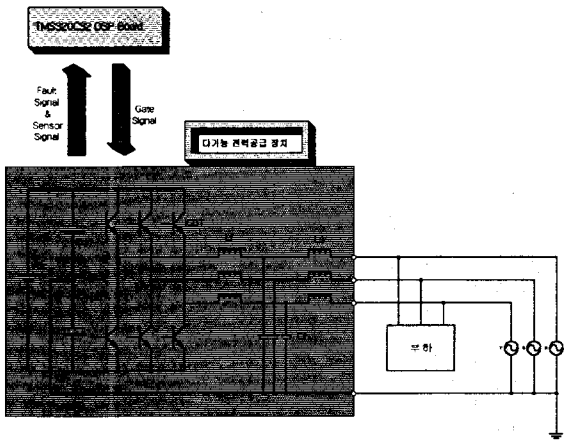

그림 1. 다기능 전력공급 장치의 구성도

그림 2에는 제어기의 하드웨어 블록도를 나타내었다. 제어기는 TI사의 TMS320C32 DSP를 CPU로 하는 보드를 구성하였고, 센서로부터 전압과 전류를 받아들이기 위한 12개의 아나로그 채널을 갖는다.

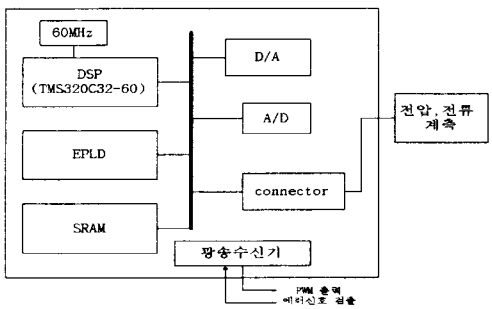

그림 2. 제어기 하드웨어 블록도

2.2 제어기 구성

다기능 전력공급 장치의 제어기 구성은 계통전압과 부하전류를 받아서 다기능 전력공급 장치에서 출력해야할 전류명령을 만드는 다기능 알고리즘과 주어진 전류 명령을 잘 추종하도록 하는 전류제어기로 구성된다.

2.2.1 다기능 제어 알고리즘

일반적인 3상 전력계통에서 순시전압 v_a, v_b, v_c와 순시전류 i_a, i_b, i_c를 식 (1)과 같이 나타냈을 때 순시유효전력은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{v} = \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix}, \quad \bar{i} = \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$p = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c \tag{2}$$

순시 유효전력이 식 (2)와 같을 때 순시 유효전류를 구하면 식 (3)과 같다[3].

$$\bar{i_p} = \frac{p}{v \cdot v}\bar{v} \tag{3}$$

본 논문에서 제안된 유효전력 제어, 무효전력 및 고조파 보상 그리고 상 불평형 보상이 가능한 제어 알고리즘은 부하에 상관없이 전원측에서는 항상 3상 모두 각 상의 전압과 동상이고 정현파인 전류만 공급하도록 하는 것이다. 즉, 임의의 부하에 대해서도 전원측은 항상 평형이고 일정한 유효전력만을 공급하도록 만드는데 목적이 있다. 식 (2)로 주어지는 순시 유효전력이 만약 상수가 된다면 식 (3)에 의해서 전원측에서 유효전력을 공급하기 위해 흘러야 하는 3상 전류($\bar{i_{s,desire}}$)를 얻을 수 있게 되고, 부하전류($\bar{i_L}$)에서 전원전류를 뺀 성분과 미리 설정한 유효 전력 제어를 위한 유효 전류 명령($\bar{i^*_{cp}}$)의 합을 다기능 전력관리 장치에서 공급하도록 제어하면 상기의 제어기능 구현이 가능하다. 따라서 이와 같은 기능을 구현하기 위해서 다기능 전력관리 장치에서 출력해야할 최종적인 전류 명령($\bar{i^*_c}$)은 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\bar{i^*_c} = \bar{i_L} - \bar{i_{s,desire}} + \bar{i^*_{cp}} \tag{4}$$

저역통과 필터를 이용하여 유효전력의 DC 성분을 추출할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 DC 성분을 추출하기 위하여 차단주파수가 10Hz이고 -40dB/decade roll-off를 갖는 저역통과 필터를 설계하였으며, 설계된 저역통과 필터의 전달함수는 식 (5)와 같다.

$$LPF(s) = \frac{769.2}{s^2 + 50.8s + 769.2} \tag{5}$$

이렇게 하여 추출한 유효전력의 DC 성분을 P_{dc}라고 하면, P_{dc}를 전원측에서 공급하기 위하여 전원측에서 공급해주기를 원하는 전류는 식 (6)이 된다.

$$\bar{i_{s,desire}} = \frac{P_{dc}}{v \cdot v}\bar{v} \tag{6}$$

여기서 다기능 전력관리 장치에서 공급해야할 전류명령은 식 (7)과 같다.

$$\bar{i^*_{c,desire}} = \bar{i_L} - \bar{i_{s,desire}} \tag{7}$$

다기능 전력관리 장치에서 공급하기를 원하는 유효전력을 P_{supply}라고 하면, P_{supply}를 공급하기 위한 유효전류 명령은 식 (8)이다.

$$\bar{i^*_{cp_{supply}}} = \frac{P_{supply}}{v \cdot v}\bar{v} \tag{8}$$

따라서 최종적인 다기능 전력관리 장치의 전류 명령은 식 (9)가 된다.

$$\bar{i^*_c} = \bar{i^*_{c,desire}} + \bar{i^*_{cp_{supply}}} \tag{9}$$

본 논문에서 제안한 제어 알고리즘을 요약하여 블록도로 표시하면 그림 3과 같다.

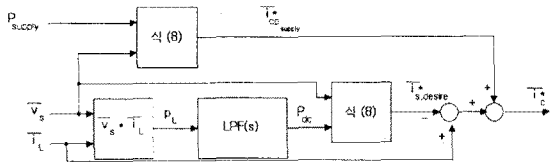

그림 3. 제안된 제어 알고리즘의 블록도

2.2.2 전류 제어기

인버터에서는 연계 리액터를 기준으로 계통전압과 인버터 출력전압의 차이에 의해서 전류를 공급하게 되기 때문에 인버터 출력 전압($V_i(s)$)과 출력 전류($I_i(s)$)의 관계식은 간단하게 식 (10)과 같이 표현할 수 있다.

$$I_i(s) = \frac{1}{sL_s} V_i(s) \tag{10}$$

식 (10)의 전달함수를 갖는 플랜트는 간단하게 P 제어기만으로 안정화 될 수 있으므로 본 논문에서는 전류제어기로 P 제어기만을 사용하여 그림 4와 같은 제어루프를 구성하였다.

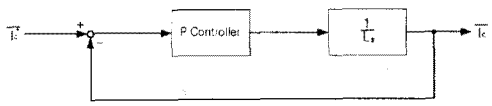

그림 4. 전류제어 루프

2.3 실험결과

다기능 전력공급 장치의 기능을 확인하기 위해서 저항부하를 불평형이 되도록 연결하여 보상을 수행하였다. A상에는 1.2 [kW]의 저항 부하를 연결하고, C상에는 2.4 [kW]의 저항 부하를 연결하여 계통에서 상 불평형 전류가 흐르도록 구성하였다.

그림 5에 다기능 전력공급 장치가 동작하지 않는 경우의 상 불평형 3상 계통전류를 나타내었다.

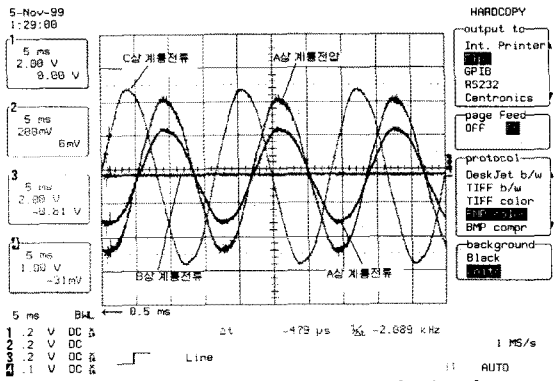

그림 5. 상 불평형이 발생하는 3상 계통전류

그림 6에는 다기능 전력공급 장치가 동작하는 경우 3상 계통전류를 나타내었다.

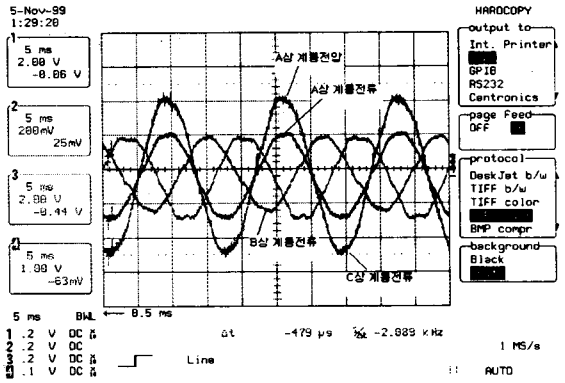

그림 6. 보상된 상 불평형 3상 계통전류

그림 5와 6에서 다기능 전력 공급장치가 동작하지 않을 때 불평형으로 흐르던 계통전류가 3상 평형이 되어 흐르는 것을 확인할 수 있었다.

다음으로 상 불평형 전류와 고조파 보상 특성을 확인하기 위해서 A상에는 1.2 [kW] 저항을 연결하고, C상에는 싸이리스터를 통하여 2.4 [kW] 저항을 연결하여 상 불평형과 고조파 전류가 발생하도록 구성하였다. 그림 7에 보상전의 계통전류 파형을 나타내었다. 그림 7에서 보듯이 계통전류는 상 불평형과 고조파 전류가 발생하고 있다.

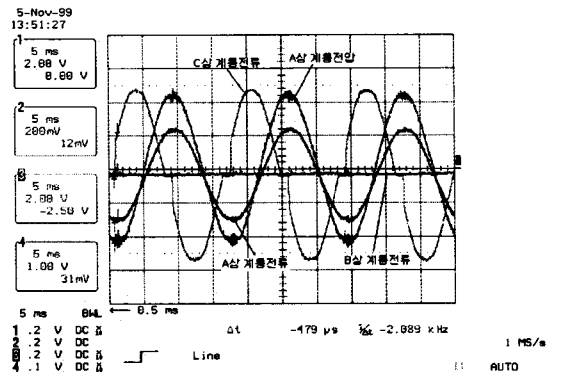

그림 7. 상 불평형과 고조파가 발생하는 3상 계통전류

그림 8에서는 그림 7의 계통전류에 대해서 다기능 전력공급 장치의 보상효과를 나타내었다.

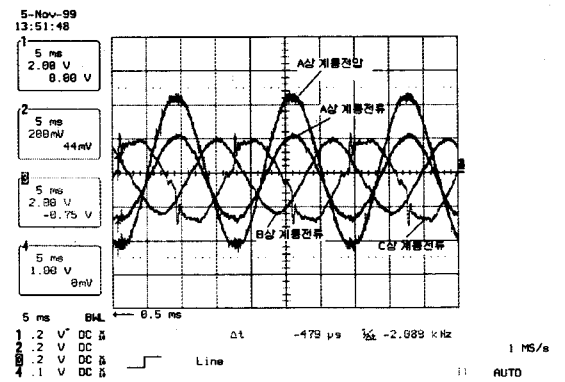

그림 8. 보상된 상 불평형 및 고조파 3상 계통전류

이상과 같은 실험을 통하여 본 논문에서 개발된 다기능 전력공급장치의 성능을 확인하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 상 불평형 및 고조파 전류보상, 무효전력 억제 및 유효전력 제어 기능을 갖는 다기능 전력공급장치를 개발하고 실험을 통하여 다기능 전력공급 장치의 기능을 확인하였다. 본 논문에서 개발된 다기능 전력공급 장치를 설치하여 운영한다면 상 불평형 및 고조파 전류등에 의한 기기 오동작이나 수명저하를 줄일 수 있고 최대 전력수요를 감소시키는 효과도 거둘 수 있을 것으로 기대된다.

다기능 전력공급 장치의 성능 향상을 위해서 제어기의 성능을 향상시키는 것이 앞으로의 남은 과제이다.

[참 고 문 헌]

[1] H. Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabae, "Instantaneous Reactive Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components", IEEE Trans. on Industry App. , Vol. IA-20, No. 3, May/June 1984

[2] S.J. Chiang, S.C. Huang, C.M. Liaw, "Three-phase Multifunctional Battery Energy Storage System", IEE Proc.-Electr. Power Appl., Vol. 142, No. 4, July 1995

[3] F.Z. Peng, J.H. Lai, "Generalized Instantaneous Reactive Power Theory for Three-phase Power Systems", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. 45, No. 1, Feb. 1996

[4] M. Aredes, J. Hafner, K. Heumann, "Three-phase Four-wire Shunt Active Filter Control Strategies", IEEE Trans. on Power Electr. Vol. 12, No. 2, March 1997