

디지털 제어기에 의한 예비전원장치(SPS)에서의 고조파 및 무효전력보상

박 가 우* 최 재 호
충북대학교

Harmonic and Reactive power compensation of standby power supply(SPS) using digital controller

Ga-woo Park* Jae-ho Choi
Chungbuk National University

Abstract

This paper presents a digital calculation method of instantaneous reactive power component for standby power supply(SPS) system. Reactive current is defined in time domain, calculated instantaneously by using a TMS320C25. The theoretical analysis is verified by the digital simulation and experimental results.

레이션 및 실험을 통하여 제안된 이론의 타당성을 입증하였다.

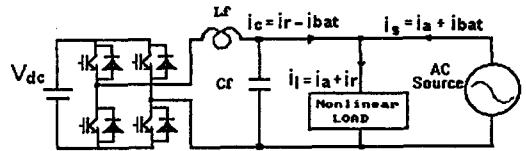


그림 1. SPS 시스템의 기본구조도
Fig.1. Basic configuration of SPS system.

1. 서 론

최근에 계통전원의 품질이 중요한 문제로 대두되고 있다. 이는 가정과 사무실에서 사용하는 개인용 컴퓨터 및 통신기기부하들의 수요가 증대하였고, 이들 부하의 전원장치가 비선형 반도체소자를 사용한 스위칭전원으로 구성됨에 따라서 교류전원계통에 고조파 및 무효전력을 발생하게 되고 이들에 기인하여 전원품질이 저하되기 때문이다. 따라서, 스위칭 전원장치에서의 교류전원측 고조파 및 무효전력의 억제에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. [1]

한편, 이러한 부하들은 동작의 신뢰성을 확보하기 위하여 안정된 전원을 필요로 하는데, 특히 정전사고에 대비하여 적어도 계통의 몇 주기 동안의 정전에 견딜 수 있는 예비전원을 필요로 한다. 이에 대한 대책으로서 무정전 전원장치(Uninterruptible Power Supply: UPS)가 사용되고 있으나, 기존의 On-line 방식의 UPS는 안정된 고품질의 계통전원을 보장하는 반면에 고가이고 효율이 낮은 관계로 Off-line 방식의 UPS인 예비전원장치(Stand-by Power Supply: SPS)에 대한 수요도 꾸준히 증가하고 있는 실정이다. [2] 그리고, 이들의 기능이 예비전원이라는 기존의 단순한 개념에서 전압보상, 고조파 및 무효전력의 보상이라는 특수한 기능이 첨가됨으로써 SPS 시장은 UPS의 시장보다 빠른 속도로 확산되는 추세이다. [3, 4, 5]

본 연구에서는 능동필터 기능을 가지는 SPS에서의 고조파 및 무효전력을 보상하기 위한 무효전류성분의 실시간 검출기법을 제시한다. 제안된 SPS는 전원계통의 정상/비정상 조건에 따라서 By-pass 모드와 Stand-alone 모드가 선택적으로 동작된다[10]. Stand-alone 모드에서의 CVCF 동작에 관하여는 많은 연구가 수행되었으므로, [6, 7] 본 연구에서는 By-pass 모드에서 비선형 부하계통에 기인하여 교류전원측에 발생하는 고조파 및 무효전력을 순시적으로 보상하기 위한 디지털제어기법을 연구 제시하였으며, 시뮬

2. 무효전력 보상기능의 SPS시스템

기존의 대부분 On-line 방식의 UPS는 AC/DC 전력변환장치로서 위상제어정류기를 사용하므로 입력측 역률이 낮고 교류입력측에 고조파가 발생하는 단점이 있다. 이에 입력측 역률을 개선하고 교류전원측 전류고조파를 억제하기 위하여 PWM 정류기가 제안되었다. [8, 9] 그럼에도 불구하고 기존의 On-line 방식의 UPS는 가격이 비싸고 효율이 낮은 단점이 있다. 이를 개선하기 위하여 양방향 전력흐름이 가능한 전압형 PWM 컨버터를 사용하여 Battery의 충전동작과 인버터 동작을 하나의 전력변환회로로 수행하는 Charge-less 방식의 UPS가 제안되었으며, 고조파 및 무효전력의 보상이 가능하도록 능동필터 기능을 가지는 SPS가 연구되고 있다. [3, 4, 5, 10]

SPS 시스템의 기본구조는 그림1과 같다. 주 전력회로인 컨버터의 동작에 따라서 (1)AC/DC 전력변환기능 (2)DC/AC 전력변환기능 (3)고조파 및 무효전력기능의 3가지로 주요 기능을 분류할 수 있다. 그리고, 교류전원의 정상/비정상 조건에 따라서 By-pass 모드에서는 (1)과 (3)의 동작이 이루어지며, Stand-alone 모드에서는 (2)의 동작이 이루어진다.

2.1 무효전력의 정의 및 능동필터의 보상원리

비선형 부하계통에서의 전압, 전류, 전력의 순시치는 다음과 같다.

$$v(t) = V_m \sin \omega t \quad (1)$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \phi) + \sum_{n=2}^{\infty} I_{mn} \sin(\omega t + \phi_n) \quad (2)$$

$$= I_{m0} \sin \omega t + I_{m2} \cos \omega t + i_h$$

$$P = v(t)i(t) \quad (3)$$

$$= \frac{1}{2} V_m I_{m0} (1 - \cos 2\omega t)$$

$$+ \frac{1}{2} V_m I_{m2} \sin 2\omega t + V_m I_{h0} \sin \omega t$$

식(3)의 첫째 항은 평균치가 $1/2(V_m I_{m0})$ 이며 항상 양의 값을 유지하나 둘째 항과 셋째 항은 평균치가 항상 '0'이 된다. 따라서, 식(2)의 첫째 항은 순시유효전력의 발생원인인 유효전류분 i_a 에 해당하고, 둘째 항과 셋째 항은 순시무효전력의 발생원인인 i_r 에 해당한다.

$$i_a(t) = I_{m0} \sin \omega t \quad (4)$$

$$i_r(t) = I_{m2} \cos \omega t + i_h \quad (5)$$

그림2는 능동필터의 보상원리로서 부하전압, 부하전류로부터 무효전류를 추출하여 보상함으로써 전원전류는 유효전류인 전압과 동상의 정현파로 제어된다.

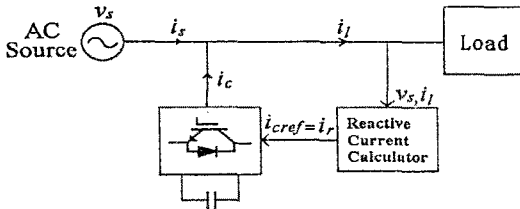


그림 2. 능동필터의 보상원리
Fig. 2. Compensation principle of active filter.

2.2 디지털 방식에 의한 무효전류의 검출

식(1)와(2)에서 $v(t), i(t)$ 를 이산시간 간격 $v(n), i(n)$ 로 전원주파수의 한주기를 N 개로 샘플링하여 구한 평균전력을 식(6)으로 나타냈다. 임의의 k 시점에서 유효전류는 식(4)와의 관계에 의하여 식(6)에 $2/V_m$ 를 곱하여 유효전류의 크기를 구할 수 있다.

$$P[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v(n) \cdot i(n) \quad (6)$$

그림3은 식(6)을 이용하여 디지털 방식에 의한 무효전류의 검출방법을 보여주고 있다. 유효전력을 구하기 위하여 적분을 위한 주기설정을 아날로그 방식과 같이 구현하면 구간설정(이)이 어려울 뿐만 아니라 한 구간에서의 적분값이 다음 구간에 영향을 줄 수 있다. 그러므로, 본 연구에서는 적분구간의 설정을 매 샘플링 주기간격으로 window를 이동함으로써 부하변동에 따르는 과도상태의 오차가 전원주파수의 최대 한주기를 넘지 않도록 할 수 있다.

또한 디지털 방식을 사용함으로써 아날로그 방식에서의 주위 영향에 의한 파라미터 변동 등의 문제점을 개선할 수 있으며, 알고리즘을 소프트웨어로 실현함으로써 프로그램

의 구현과 변경이 용이하다. 물론 연산에 따르는 시간지연이 문제이나 고속의 연산속도를 갖는 빠른 DSP를 사용하면으로써 이러한 점은 극복되어 질 수 있다.

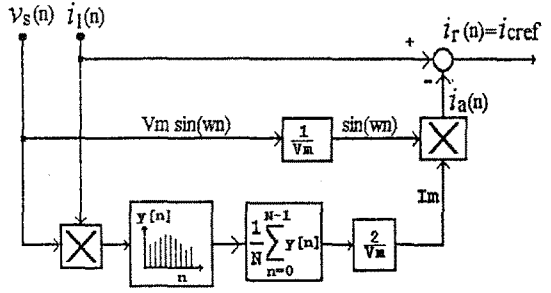


그림 3. 무효전류 계산방법
Fig.3. Calculation method of reactive current.

3. 디지털제어기에 의한 시스템의 구성

3.1 전체 시스템 구성

디지털제어기에 의한 전체시스템의 구성을 그림4에 나타내었다. 부하전류에서 보상전류를 검출 계산하기위한 부분과 보상기의 일정에너지 확보를 위한 컨버터의 DC출력전압제를 소프트웨어에 의해 수행한다. 실시간처리를 위해 본연구에서는 DSP칩인 TI사의 TMS320C25로 제어기의 하드웨어를 구성하였다. 보상전류 발생장치의 구성은 단상 IGBT 브리지로 구성하였으며 여기에 사용된 각소자의 파라미터는 다음과 같다. DC 커패시터 4700uF 병렬 2개, 입력 인덕턴스 1mH, 입력 커패시터 200uF 이다.

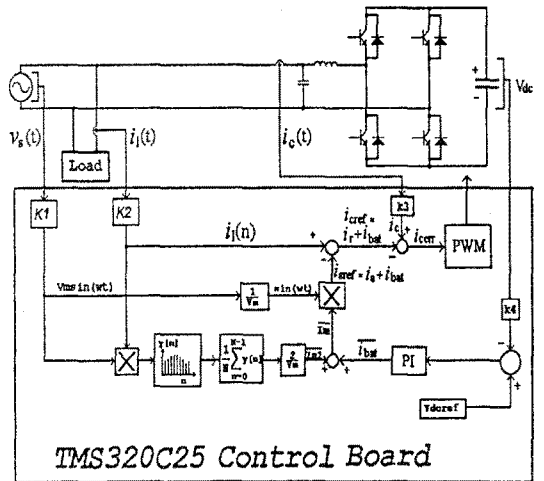


그림 4. 제안된 시스템의 전체 구성도
Fig.4. Configuratin of proposed system.

3.2 하드웨어 구성

그림5에 하드웨어 구성도를 보여주고 있다. TMS320C25를 주 제어기로 사용한 제어보드는 8k word의 EPROM, 24k word의 SRAM, 8-channel 입력의 Analog multiplexer와 고속 A/D 변환기, 5-channel D/A 변환기, 병렬 I/O port와 상위 IBM-PC와의 통신을 위한 직렬 I/O port로 구성되어 있다.

이 직렬 I/O port는 초당 57,600 bit의 전송속도를 가지며 상위 컴퓨터에 제어기의 point 값을 모니터링할 수 있도록 하였고 부하전류 및 계동전류를 host로 전송하여 고조파 분석 등이 가능하도록 하였다.

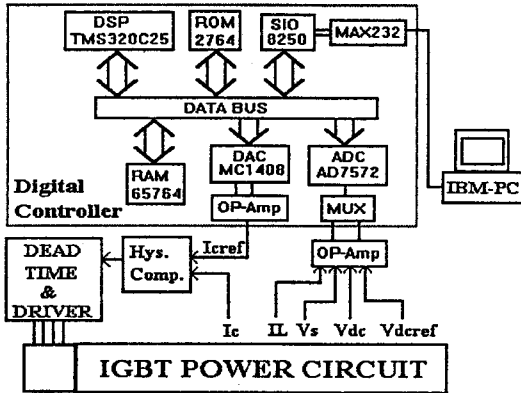


그림 5. 디지털제어기의 하드웨어 구성도
Fig. 5. Hardware block diagram of digital controller.

3.3 소프트웨어 구성

제한된 알고리즘의 수행을 위한 소프트웨어의 흐름도를 그림 6에 나타냈다. 전원주파수 60Hz 내에서 128번의 샘플 데이터를 처리하기 위해서는 매 샘플링시 130usec 내에 모든 계산이 끝난뒤 결과를 출력하여야 한다. 일정 샘플링 간격으로 처리하기 위하여 DSP내부 Timer를 사용 7.68kHz마다 인터럽트 발생에 의하여 처리된다. 그림의 (a)는 입력신호를 받아 메모리에 저장하는 루틴이다. (b)는 Timer interrupt 발생시 일정샘플링 간격으로 컨버터의 DC전압제어와 부하에서 발생하는 무효전류 보상을 위한 계산을 수행한다.

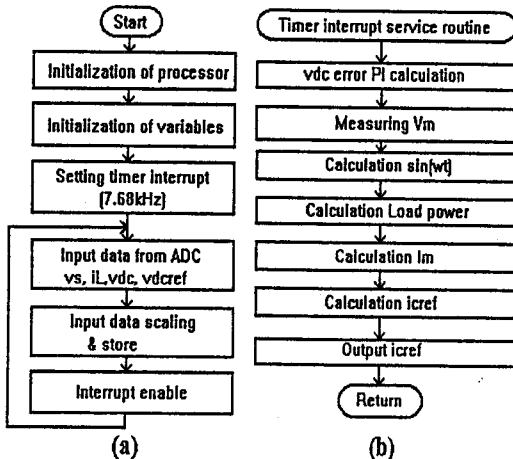


그림 6. 본제어기의 소프트웨어 흐름도
Fig. 6. Flow-chart of the control software.

4. 시뮬레이션 및 실험

제한된 방법의 디지털 시뮬레이션과 실험을 통하여 결과를 알아보았다.

4.1 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 수행을 위해 그림 1의 전력회로와 부하로 다이오드 정류기를 모델링 하여 사용하였다. 표1은 시뮬레이션에 사용한 초기 회로상수들이다.

표 1 시뮬레이션 회로 상수
Table 1. Simulation parameters.

전원 전압	120 [Peak]	DC출력전압	250 V
DC커패시터	8000 uF	P gain	0.975
인덕턴스	1mH	I gain	3.190
samplibg F	7.68kHz	전원 주파수	60 Hz
sample N	128		

그림7은 커패시터입력형 단상 정류기부하에서의 시뮬레이션 결과이다. 본 부하는 컴퓨터 및 정보,통신기와 같은 주전원 회로에 주로 이용되며 부하전류가 전원전압의 피크 치에서 돌입전류가 흐른다. 시뮬레이션 결과상단(a)은 시간영역에서의 결과로 부하변동을 시도하였다. 과도상태의 오차는 제한된 이론에 의해 최대 한주기 안에서 오차가 0로된다. 하단의 (b)와(c)는 그림(a)의 마지막 부분이 주파수 분석을 행한 것이다. 왼쪽(b)은 보상전 부하전류의 고조파 분석결과를, 오른쪽(c)은 보상된 전원전류의 고조파 분석결과를 보여주고있다.

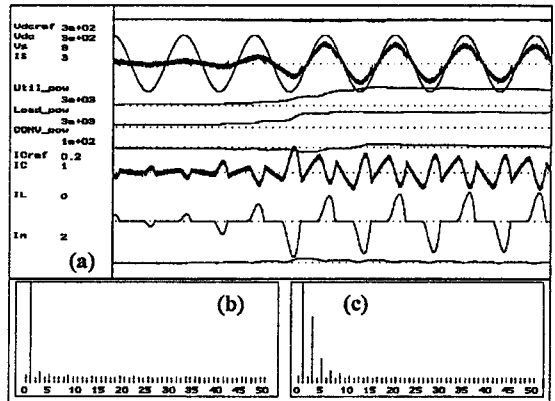


그림 7. 시뮬레이션 결과(커패시터 입력형 정류기 부하)
(a)각부의 파형. (b)보상된 전원전류의 고조파 분석. (c)부하전류의 고조파 분석.

Fig. 7. Simulation results(capacitor input rectifier load). (a)Waveforms (b)Harmonic spectrum of source current after compensation. (c)Harmonic spectrum of loadcurrent.

4.2 실험 및 결과

그림8은 본 연구에서 사용한 비선형부하로 커패시터입력형 다이오드 정류기부하의 입력전류파형과 이 파형의 주파수 스펙트럼을 보여주고있다. 60Hz기본파 성분외에 홀수 차수인 3, 5, 7, 9, ... 고조파가 크게 존재함을 알수있다. 이 기본파에 대한 전체 고조파 성분을 나타내는 THD는 분석 결과 48.4%에 달한다. 그림9는 제어기에 의해 보상전류가 전압형PWM컨버터에 의해 주입된뒤 전원전류 파형을 보여주며, 이 파형의 주파수 스펙트럼을 분석한 결과이다. 기본파를 제외한 고조파성분이 거의 제거됨을 알 수 있다. 그림상에 주파수성분의 크기를 나타내는 세로축의 단위를 log 눈금으로 나타냄으로써 3, 및 5고조파 크게보이나 보상된 파형의 THD는 분석결과 3.14%로 상당히 개선됨을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 SPS시스템의 능동필터 기능을 디지털 제어기에 의한 방법을 제시하였고 시뮬레이션과 실험을 수행하여 좋은 결과를 얻었음을 보였다. SPS시스템이 갖는 각각의 운전 모드를 프로그램에 의해 쉽게구현 할 수 있음을 제시하고, 고조파 및 무효전력을 보상하기 위한 무효전류 성분의 실시간 검출기법을 샘플링 주기간격을 갖는 window moving 방식으로 구현함으로써 과도상태에서의 오차를 줄일 수 있음을 보여 주었다. 또한 기존의 아날로그 방식의 문제점을 개선함과 자기진단 기능및 모니터링 과 같은 부가적인 기능을 추가함으로써 전체적인 기능을 향상할 수 있음을 제시하며 앞으로 전원계통의 유무에 따라 By-pass 모드 와 Stand-alone 모드가 선택적으로 수행되는 연구가 더 이루어져야 한다고 본다.

REFERENCES

- [1] K.Hirachi, et. al., "A novel 3 kVA UPS using a switching mode rectifier," in *Conf. Rec., IEEE INTELEC'86*, pp.392-399, 1986.
- [2] Meirick, R.P., "The evolution of uninterruptible power supplies," *PCIM Magazine*, Sept., 1989.

- [3] Kawabata, T., et. al., "Chargerless UPS using multi-functional BIMOS inverter", in *Conf. Rec., IEEE IAS Annu. Meet.*, pp.513-520, 1986.
- [4] Kawabata, T., et. al., "Parallel processing inverter system", in *Conf. Rec., IPEC-Tokyo'90*, pp.107-114, 1990.
- [5] Mohan, N., et. al., "Standby power supply(SPS) with load-current *harmonics neutralizer", in *Conf. Rec., EPE'91*, pp. , 1991.
- [6] 최재호 외 3인, "Single-chip 마이크로프로세서를 이용한 UPS용 인버터의 순시전압제어," 한국조명전기설비학회지, 6권, 6호, pp.49-57, 1992.
- [7] Wan-ki Min, et. al., "High performance real time control of PWM inverter for UPS," in *Conf. Rec., ISEDEM'93*, pp.406-411, 1993.
- [8] K.Hirachi, et. al., "A novel 3kVA UPS using a switching mode rectifier," in *Conf. Rec., IEEE INTELEC'86*, pp.392-399, 1986.
- [9] M.Yatsu, et. al., "Three-phase 200kVA UPS with IGBT consisting of high power factor converter and instantaneous waveform controlled HF PWM inverter," in *Conf. Rec., IEEE IECON'90*, pp.1057-1062, 1990.
- [10] 최재호 외 1인, "예비전원장치(SPS)의 고조파 및 무효전력 순시보상기법에 관한 연구." 전력전자 춘계학술발표지, pp.40-43, 1994.

그림 8. 실험에 사용된 비선형부하의 파형과 주파수 분석결과.

Fig. 8. Load current and it's Harmonic spectrum.

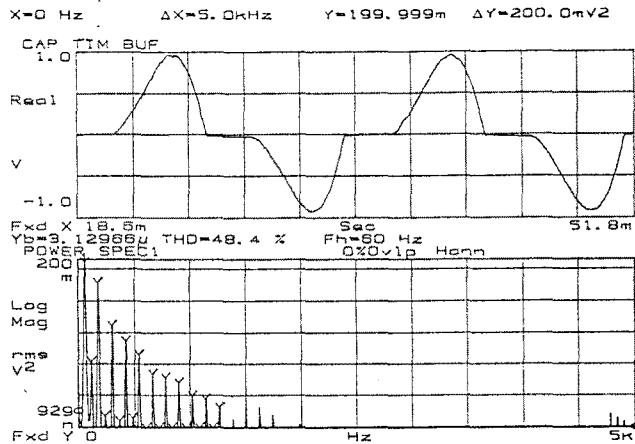


그림 9. 보상된 전원전류 파형과 주파수 분석결과.

Fig. 9. Compensated sourced current and it's Harmonic spectrum.

