

DSP TMS320F2812를 이용한 역률개선 제어기의 설계

김윤서, 양 오, 이혁진*
 청주대학교 전자공학과, 동아일렉콤*

The Design of a PFC Controller Using a DSP TMS320F2812

Kim Youn Seo, Yang Oh, Lee Hyeok Jin*
 Dept. of Electronic Engineering Chongju Univ. , Dong-A ElecCom*

Abstract - 본 논문에서는 TMS320F2812 DSP를 사용하여 PFC를 위한 디지털 제어기를 설계하였다. 디지털 제어기를 사용함으로써 원도우 기반의 PC와 통신을 통해 제어기의 각종 파라미터를 모니터링할 수 있고 원격제어가 가능하도록 설계하였다. 설계된 디지털 제어기는 DC 200V출력의 300W급 부스트 컨버터에 적용하였으며, 디지털 제어기를 통하여 입력전류가 입력전압의 위상을 추종하여 됨을 실험을 통하여 확인하였다.

1. 서 론

전원장치들은 대개 커패시터 입력형 정류회로를 사용함으로써 고조파 전류 성분을 발생시킬 뿐만 아니라 입력 역률이 낮아져 많은 무효전력의 발생의 원인이 되고 있다. 이러한 경우에 발생하는 고조파는 전압과 전류의 왜곡을 발생시켜 전력계통 설비에 접속되는 기기에 악영향을 미쳐 제어기의 오동작이나 동작불량, 수명단축을 야기한다.[1][2] 많은 무효전력의 발생은 전력을 효율적으로 사용하지 못하는 문제점을 갖게 되며 전원장치에 대한 직접 관리가 어렵다면 실시간으로 안정적인 전력 공급을 해야 하는 시스템의 안정성에 치명적이다. 먼저 역률을 개선하기 위해서는 기존의 정류회로에 역률개선 회로를 추가하여 역률을 개선하는 대책이 앞서는데 이는 아날로그 상용 IC에 의해 간단하게 이뤄질 수 있다 그러나 이러한 방법은 동작상황이나 고장의 유무를 육안으로 쉽게 판단이 되지 않기 때문에 관리상의 문제점이 노출될 뿐만 아니라 아날로그 PFC 제어에는 다음과 같은 한계점이 있다.[3]

1. Multiplier 연산의 비선형성으로 넓은 범위의 입력 전압에서 동작할 때 왜곡(distortion)을 발생시킨다.
2. 컨버터가 변경되면 이에 따라 PFC 제어회로의 파라미터도 변경을 해야 하기 때문에 회로의 유연성(flexibility)이 부족하다.
3. 아날로그 회로는 discrete한 소자들로 구성되어 있기 때문에 스위칭 노이즈의 영향을 받기 쉬우며 제어 회로의 절적인 기능에 영향을 주게 된다.

이러한 기존의 아날로그 제어방식의 문제점을 보완하기 위해 본 논문에서는 DSP를 이용하여 디지털 제어 방식으로 역률 개선 회로를 동작시킴으로써 역률을 개선하여 무효전력의 발생을 억제하고 DSP에 내장되어 있는 통신모듈을 이용하여 PC와 통신하면서 역률개선회로의 동작 상태를 모니터링 및 원격제어를 할 수 있는 제어기를 설계하였다. 마이크로프로세서의 발전으로 디지털 제어는 다양한 스위치모드 파워 컨버터에 점점 그 사용이 증가하고 있다. 디지털 제어기는 아날로그 제어기 이상으로 많은 이점을 얻을 수 있는데 다음과 같다.[3]

1. Gain이나 Bandwidth같은 제어 파라미터들이 소프트웨어로 변경 가능함으로써 더욱 더 편리하다.
2. 고정된 아날로그 제어기에서는 구현하기 힘든 다양한 제어방식(control scheme)을 선택하여 구현할 수 있다.
3. 실제 실용화에 있어서 소자의 수를 줄임으로써 이에 드는 추가 비용을 줄일 수 있다.
4. 프로세서의 디지털 프로세싱은 회로의 노이즈에 높은 면역성(immunity)을 제공하므로 보다 강인하고 안정적인 제어기를 만들 수 있다.

그 외에도 디지털 제어기가 갖는 이점으로는 다음과 같은 것들이 있다. 디지털 제어기의 연산 수행 능력 및 메모리 기능으로 RTC와 같은 정밀한 타이머에 의한 주기적인 소모 전력량의 계산 및 상태를 메모리에 기록하고 flash 메모리의 내장으로 하드웨어의 변경 없이 성능 개선을 위한 제어기의 변경이 가능하다.

컨버터의 제어뿐만 아니라 다양한 분야에서도 사용되는 DSP는 가격은 하락하고 성능은 더욱 높아지므로 차후 디지털 제어기는 더욱 주목받을 것이다. 본 논문에서는 그러한 취지와 현재의 추세에 맞추어 전원 장치의 입력단에 설치되는 역률개선 회로를 제어하면서 디지털 제어가 가지는 이점을 활용하였다. 전류의 입력전압에 대한 추종으로 역률을 개선하고 총 고주파 왜형율을 줄이는 기본 성능을 구현하였으며 시스템 제어기인 PC와의 통신을 통해 역률개선회로의 동작 중 파라미터의 변화를 모니터링하면서 필요한 경우에는 출력전압과 입력 전류의 값 지정과 제어기의 게인을 변경하는 등의 원격제어를 실현하였다.

2. 본 론

2.1 디지털 제어 PFC 컨버터의 구조

Boost 컨버터의 PFC를 제어하기 위한 디지털 제어기의 구조는 그림 1에서와 같이 AC입력을 DC로 만드는 정류기, 정류된 DC를 승압하는 Boost 컨버터, PFC와 출력전압 regulation을 위한 입출력 전압, 전류 검출부, 제어를 하기 위한 DSP로 구성된 디지털 제어기 그리고 원격제어와 모니터링을 하기 위한 PC로 구성되어 있다.

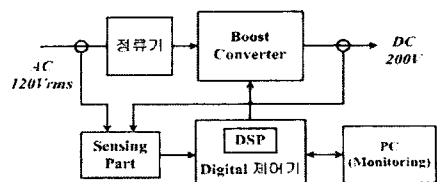


그림 1. 디지털 제어 PFC 컨버터의 구성

2.2 디지털 제어 PFC 컨버터의 설계

PFC를 하기 위해 컨버터로는 120[V]의 AC 전압을 입력받아 200[V]의 DC 전압을 출력하는 300[W]급의 Boost 컨버터를 설계하였다. PFC를 하기 위해 입력 전압·전류를, regulation을 위해 출력 전압을 검출하며, 과전류 방지를 위해 출력 전류를 계측하였다. 이러한 입출력 전압·전류의 계측은 컨버터와 디지털 제어기 사이의 절연을 위해 PT와 CT 그리고 절연 앰프를 사용하였다. 또한 제어기로부터 나오는 PWM 신호 역시 포토커플러를 통해 스위치(Q)를 드라이브하도록 하였으며, 초기 전압 인가시 높은 입력전압으로 인한 도립 전류를 막기 위해 입력단에 릴레이를 추가하여 DSP에서 제어하도록 하였고 이것 역시 포토커플러를 통해 절연을 하였다. 그래서 컨버터와 제어기 사이의 모든 신호는 절연이 되도록 구성하였다. 디지털 제어 PFC 컨버터의 전체적인 구조를 그림 2에 나타내었다.

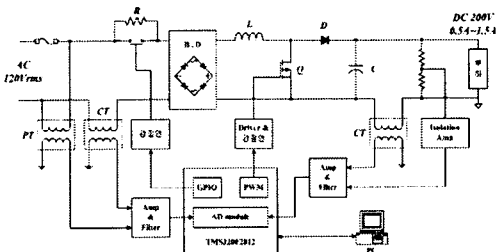


그림 2. 디지털 제어 PFC 컨버터의 구조

DSP는 TI사의 TMS320F2812를 사용하였으며, 시스템 클럭이 최대 150MHz로 고속의 부동소수점 연산이 가능하며, 다양한 스위칭 주파수를 만들 수 있는 PWM 로직과 12bit 분해능의 AD 컨버터 16채널을 내장하고 있다. 표 1에 DSP의 기본 사양을 나타내었으며, 표 2에 Boost 컨버터의 설계 사양을 나타내었다.

외부로부터 전원으로 DSP 구동전원인 5V와 24V를 공급받아 DC-DC 컨버터를 통해 FET 드라이브 및 OP Amp에 각각 절연된 전원을 공급하도록 하였다.

표 1. DSP의 기본 사양

System Clock		150MHz
PWM resolution		16bit
ADC	resolution	12bit
	channel	16
Memory	Flash	128K
	RAM	14K

표 2. Boost 컨버터의 설계 사양

입력 전압	AC 120V
출력 전압	DC 200V
출력 전류	0.5 ~ 1.5A
스위칭 주파수	20Khz

2.3 디지털 제어기의 설계

2.3.1 디지털 제어기의 기본 구조

디지털 PFC 제어기의 기본 구조는 아날로그 제어기의 구조와 동일한 구조를 가지게 된다. 아날로그 제어 방식의 PFC 방법은 다음과 같다. 컨버터의 출력전압은 전류 신호의 평균 크기를 regulation시킴으로써 제어하게 되고, 정류된 line 입력 전압과 전압 오차 amp의 출력을 아날로그 multiplier를 통해 곱함으로써 전류 레퍼런스 신호를 만들게 된다. 즉 전류 레퍼런스의 값이 정류된 입력 전압으로 만들어지기 때문에 입력 전류의 모양은 입력 전압의 모양을 따라가게 되고, 전류의 모양을 따라

가는 전류의 평균 크기 값에 의해 출력 전압이 제어되는 방식이다. 이러한 방법을 평균전류 제어 방법(average current control mode)라 한다.[4][5] 그림 3에 기본적인 디지털 제어기를 나타내었다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 디지털 제어기에도 2개의 제어 loop가 사용된다. 입력전류의 평균값에 의해 출력전압을 제어하는 전압제어 loop(그림 3 ①)와 입력전류와 입력 전압의 위상이 일치하도록 하는 전류 제어 loop(그림 3 ②)로 구성된다.

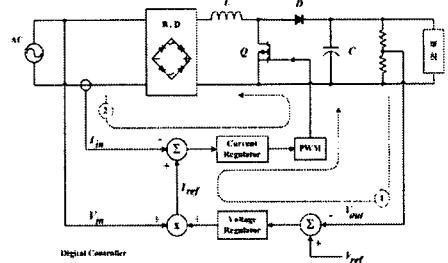


그림 3. 디지털 제어기의 기본 구조

2.3.2 디지털 제어기 설계

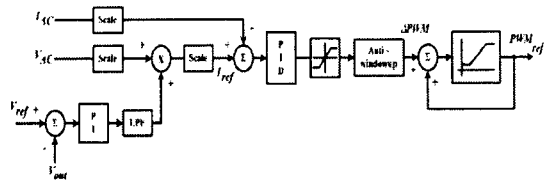


그림 4. 설계된 디지털 제어기의 구조

그림 4는 PFC를 하기 위해 설계된 디지털 제어기를 나타내고 있다. 출력전압을 제어하기위한 전압제어 루프와 위상을 제어하기위한 전류제어루프로써 2개의 제어 루프로 구성되어 있으며, 전압제어에서는 PI제어를, 전류 제어에서는 PID제어를 사용하였다. 전압제어기의 출력값과 AC 전압 계측 값을 곱해서 전류제어기의 레퍼런스 값을 생성하기 때문에 안정된 전류 레퍼런스 값을 만들기 위해 전압제어기의 출력 값을 디지털 필터 처리하여 사용하였다. 이렇게 하여 만들어진 전류 레퍼런스는 입력전압과 동일한 모양을 가지게 되고 입력전류가 추종을 하도록 PID제어기가 PWM을 조절한다.

한 주기 안에 만들어진 제어 값이 너무 크게 되지 않도록 최대·최소 한계값을 지정하였으며, I제어기에 의한 제어량이 포화되는 것을 막기 위해 anti window-up처리를 하였다. 이렇게 하여 만들어진 값이 PWM의 Duty를 조절하는 레퍼런스의 증가(또는 감소)량이 되며 Full Duty가 되지 않도록 설계하였다.

2.4 실험 및 결과

본 논문에서는 설계된 디지털 제어기를 이용하여 300W급 Boost 컨버터의 PFC에 적용하였다. Boost 컨버터는 AC 120V를 입력으로 하여 DC 200V를 출력하며 센싱을 위한 각각의 아날로그 값들은 안전한 제어를 위해 디지털 제어기와 절연을 하였다. 이렇게 얻어진 아날로그 값은 OP Amp를 통해 DSP 내장 AD 컨버터의 입력전압 범위인 0~3V 조절되고 이 값을 디지털 변환하게 된다. 디지털 제어기에서는 변환된 디지털값을 다시 실측값으로 환산하여 연산에 적용을 하게 되는데 실측값들 사이에는 크기가 서로 다르기 때문에 각각에 대해 적절한 scale 값을 곱해 비율을 맞춘 값을 실 연산에 사용하였다. 그림 5에 실험에 사용한 Boost 컨버터와 DSP 보드를 나타내었고, 표 3에 Boost 컨버터를 구성하는 주요 소자를 나타내었다.

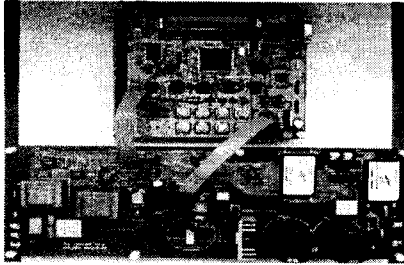


그림 5. 실험에 사용된 디지털제어 PFC 컨버터 보드

표 3. 회로에 사용된 소자값 및 형명

인덕터(L)	1.2mH
스위치(Q)	F19N60
환류 다이오드(D)	FCF16A60
출력 커패시터(C)	560uF/450V*2

PWM의 스위칭 주파수는 20Khz로 설정하여 전압 및 전류제어 루프를 50us마다 수행하였다. 각 제어기의 파라미터값들은 통신을 통해 PC에서 실시간적으로 변경하는 방법으로 시행착오에 의해 결정하였으며, 각 파라미터의 값을 표 4에 나타내었다. 오동작에 따른 보호를 위해 Full duty가 되는 것을 방지하도록 Duty의 범위를 5~85%로 제한하였다. 또한 O·V, O·C가 발생하였을 때 기기의 보호를 위해 PWM을 차단하고 입력회로를 OFF 시키도록 하였다.

표 4. 제어기에 사용된 파라미터값

전압 loop	P 게인	1.0
	I 게인	3.0
전류 loop	P 게인	0.5
	I 게인	6.66
	D 게인	0.00006
PWM Duty		5 ~ 85%

그림 6은 0.5A에서 역률개선을 하지 않은 일반적인 경우의 전압과 전류의 파형을 나타내고 있다. 이 파형은 입력라인의 전압과 전류 파형으로 심한 파형의 왜곡이 있음을 알 수 있다. 단위는 100V/div, 1A/div를 나타낸다.

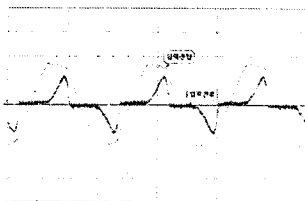


그림 6. 제어하지 않은 상태의 전압과 전류의 파형

그림 7과 8은 역률개선 동작을 수행했을 때의 전압과 전류의 파형을 나타낸 것으로 각각 0.5A부하와 1.5A부하에서의 파형이다. 그림에서 볼 수 있듯이 전압과 전류의 위상이 서로 일치함을 볼 수 있고 그림 6에서보다 역률이 현저히 개선되었음을 알 수 있다. 그러나 부하가 높아짐에 따라 고조파 함유율이 높아짐을 보이고 있다. 각 그림의 측정 단위는 100V/div, 5A/div이다. 그림 9는 1.5A부하일 때 DC 200V 출력 전압에 대한 전압 변동률을 입력전압과 함께 나타낸 것으로 측정 단위는 입력전압 100V/div, 출력전압 1V/div, 5ms/div이다.

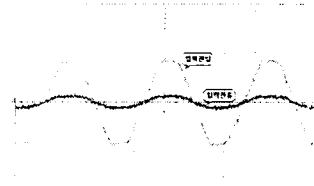


그림 7. 경부하(0.5A)에서의 PFC 제어 파형

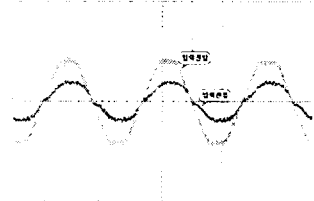


그림 8. 1.5A에서의 PFC 제어 파형

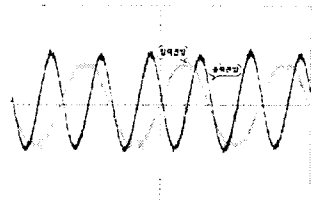


그림 9. 1.5A부하에서의 출력전압의 리플 파형

3. 결 론

본 논문에서는 PFC의 전류 추종제어로 PFC의 제어특성을 실제 구현을 통해 전류의 추종에 따른 역률개선을 확인하였다. 실험 결과 디지털 제어기를 역률개선회로에 적용했을 때 90%이상의 우수한 역률 개선효과를 얻을 수 있었으며, 최근 요구되는 통신 기능이 부가됨에 따라 기대효과를 높일 수 있었다. 본 논문은 약 300W 컨버터에 적용되었으며, 최소 1KW급 컨버터에 적용할 수 있도록 하며, 고조파 함유율을 줄여 실용화를 할 수 있게 하는 것이 앞으로의 과제로 남아있다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. Xiao, A.V. Peterchev, and S.R. Sanders, "Architecture and IC implementation of a digital VRM controller", Proc. IEEE Power Electron. Spec. Conf.(PESC), vol. 1, pp. 38-47, 2001
- [2] A. Prodic, D. Maksimovic, and R.W. Erickson, "Design and implementation of a digital PWM controller for a high frequency switching dc dc power converter", Proc. IEEE Ind. Electron. Soc. Conf(IECON), vol. 2, pp. 893-898, 2001
- [3] Minghua Fu and Qing Chen, "A DSP Based Controller for Power Factor Correction in a Rectifier Circuit", IEEE Appl. Power Electron. Conf.(APEC), vol. 1, pp. 144-149, 2001
- [4] U-134, UC3854 Controlled Power Factor Correction Circuit Design, Power Supply Control Products Data Book, Texas Instruments
- [5] U-159, Boost Power Factor Corrector Design with the UC3853, Power Supply Control Products Data Book, Texas Instruments