

직류전동기 구동장치의 고조파 저감을 위한 수동필터 제어시스템 연구

이상익, 유재근, 전정채
한국전기안전공사 전기안전연구원

A Study on the Passive Filter Control System to reduce harmonic of DC Motor drives

Sang-Ick Lee, Jae-Geun Yoo, Jeong-Chay Jeon
Korea Electrical Safety Corporation

Abstract - 본 논문에서는 고조파 저감을 위해 사용하는 수동필터를 부하의 운전조건에 따라 자동으로 개·폐할 수 있는 DSP 기반의 제어시스템을 개발하였다. 수동필터 제어시스템은 부하에서 발생하는 전압, 전류, 고조파, 무효전력, 역률 등을 측정 및 감시하여 수동필터 개·폐 장치에 신호를 보내어 부하의 운전조건에 따라 필터의 각 분로를 자동으로 개·폐하게 된다. 이러한 제어시스템은 100마력 직류전동기 구동장치를 사용하는 제동에 수동필터와 함께 설치하고 고조파 및 무효전력 등을 측정함으로써 성능을 입증하였다.

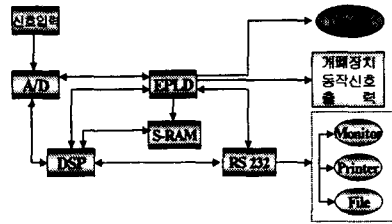


그림 1 수동필터 제어시스템의 블록선도

1. 서 론

전력변환장치 사용의 급증으로 인해 고조파 발생부하가 증가하고 있고 이에 의한 피해도 점차 늘어나고 있다. 이러한 고조파 발생을 억제하기 위한 대책은 고조파 발생원에서 이루어지는 것이 기본이라 볼 수 있다. 고조파 발생원 측에서의 고조파 억제 대책으로 고조파 전류를 흡수하는 필터를 설치하는 것이 가장 효과적이다[1,2,3,4].

이러한 고조파 대책으로 가장 일반적으로 사용되어 왔던 방법으로 수동필터(Passive Filter)가 있으며 그 크기는 제거하고자 하는 고조파의 주파수에서 직렬공진이 발생하도록 설정한다[1,4,5]. 이러한 수동필터는 구조가 단순하고 설치 및 보수유지가 비교적 편리하다는 이점이 있는 하나 공진발생가능성, 부하 운전조건 등에 따른 무효전력 과보상 등의 문제점이 있어 최근 수동필터를 대체하기 위해 고조파 전류를 계통에 주입하여 부하의 고조파 전류를 상쇄시키는 능동필터(Active Filter)에 대한 연구개발이 이루어지고 있다[5]. 그러나 능동필터는 가격이 매우 비싸 자금여력이 충분치 못한 대부분의 사용자에서는 고조파 억제대책으로 사용하기 매우 힘들다. 따라서 능동필터에 비해 가격이 저렴하고 구조가 단순한 수동필터의 문제점을 해결하여 고조파 억제대책으로 수동필터를 사용할 수 있도록 한다면 고조파에 의한 피해를 줄일 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 부하의 운전조건에 따라 전원측과 부하측의 전압, 전류, 무효전력, 역률, 고조파 등을 감시하여 부하의 운전조건에 따라 수동필터를 개폐할 수 있는 제어시스템을 제안하였다.

2. 본 론

2.1 수동필터 제어시스템의 개발

본 연구에서 제안한 수동필터 제어시스템은 전압·전류를 측정하는 센서와 필터로 구성되는 신호 입력부, 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 A/D 변환부, 연산기능과 주변장치를 제어하는 디지털 신호처리부, 시스템 인터페이스 처리를 수행하는 PLD부, SRAM 및 FROM으로 구성되는 메모리부, 시스템의 동작전원을 공급하는 동작 전원부, 수동필터 개·폐장치에 제어 신호를 내보내는 출력부 등으로 그림 1과 같이 구성된다.

그림 1의 수동필터 제어시스템은 전류센서·전압분배기 등을 통해 전압·전류 등의 신호를 입력한 후 변환기를 통해 A/D 변환기 입력에 적합한 신호로 변환하고 A/D 변환기에 의해 디지털 신호로 변환된다. 여기서 전압 8채널과 전류 10채널의 아날로그 신호를 동시에 A/D 변환하기 위해 conversion start 신호 입력기능이 있는 AC레벨의 아날로그 입력 4채널, 14bit A/D 컨버터인 Analog Devices사의 AD7865를 5개 사용하여 A/D 변환부를 설계하였다. 또한 A/D 변환부의 어드레스 및 데이터 버스는 소자의 고장이 발생할 경우 소자 독립고장으로 국한시키기 위해 8bit 양방향 버퍼(Buffer) 74F245를 사용하여 DSP와 A/D 변환기 사이의 고장발생에 의한 안정성을 확보하였다.

A/D 변환된 데이터는 디지털 신호처리부의 DSP(TMS320C32)에 전송되고 전압과 전류의 각 사이클에 대해 푸리에 변환을 수행하여 주파수 분석, 전력량 계산 등을 하게 된다. 그리고 DSP와 부 디지털 소자들 사이의 인터페이스를 EPLD(Erasable/Programmable Logic Device)로 간단하게 처리하였다. 본 연구에서 사용된 DSP가 60MHz의 높은 주파수로 동작하므로 인터페이스 회로가 이에 무리 없이 따라가도록 하기 위해 논리회로를 설계하여 프로그램 할 수 있는 PLD를 사용하였다.

또한 측정 데이터의 저장과 프로세서 프로그램의 빠른 수행을 위해 삼성전자의 4Mbit S-RAM 메모리 K6R4008 56개를 직·병렬로 접속하여 메모리 블록을 구성하였다. 이러한 메모리는 한 개의 소켓에 8개의 메모리가 들어갈 수 있도록 72핀 SIMM 소켓을 이용하여 보드에 장착할 수 있도록 설계하였으며, DSP의 프로그램 메모리로 사용하기 위해 AMD사의 FROM 29F040을 사용하여 512kB의 메모리를 구성하였다. FROM은 DSP 프로그램을 내장하는 부분으로 DSP 프로그램을 FROM에 넣으면, _reset 신호를 입력한 DSP는 FROM으로부터 프로그램을 입력받아, SRAM에 복사한 후, 프로그램을 실행하여 정상동작 mode로 동작된다. 사진 1에 PCB로 제작하여 구성한 수동필터 제어시스템의 하드웨어를 나타내었다.

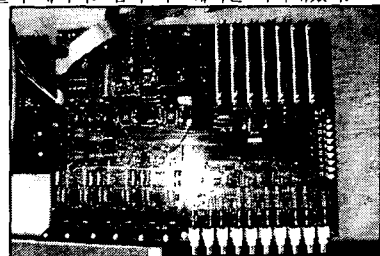


사진 1 수동필터 제어시스템 PCB

2.2 프로그램의 개발

수동필터 제어시스템은 부하의 운전조건에 따라 전압 및 전류를 측정하여 고조파, 전력 및 역률 등을 분석하고 이에 따라 수동필터를 개·폐하게 된다. 이렇게 수동필터 제어시스템에 의해 측정되고 분석된 데이터를 하드웨어로부터 전송받아 사용자가 확인할 수 있도록 윈도우 환경에서 동작하는 컴퓨터 프로그램을 볼랜드사의 C++ Builder를 이용하여 개발하였다. 컴퓨터 프로그램은 각 차수별 수동필터의 투입상태를 확인할 수 있도록 하였으며, 수용가의 부하측과 전원측 2개소의 측정 포인트로 분류하여 각각의 포인트별 전압, 전류, 전력 등의 파형과 데이터를 확인할 수 있도록 구성하였다.

2.3 수동필터 제어시스템의 시험

2.3.1 수동필터의 개발

본 연구에서 제안한 수동필터 제어시스템의 시험을 위해 필요한 수동필터(용량 : 약 27kVAR)를 설계 및 제작하였다. 수동필터는 3차, 5차, 7차의 동조필터와 하이패스 필터(11차 이상)로 구성되며 각 차수별 개·폐 스위칭을 위해 무접점 릴레이(Solid State Relay : SSR)를 사용하여 수동필터 제어시스템에서 출력된 신호에 의해 수동필터 각 분로의 개·폐 동작을 수행하도록 하였다.

2.3.2 수동필터 및 제어시스템의 현장설치

본 연구에서 제안한 제어시스템을 수동필터와 같이 100마력 직류전동기 부하와 압출기, 송풍기 등의 기타 부하를 사용하는 그림 2와 같이 설치하여 직류전동기 운전조건의 변화에 따라 수동필터의 각 분로를 개·폐하도록 하였다. 그림 2의 계통은 경기도 인천에 있는 H업체로써 자동차 방음재 등을 생산하기 위하여 직류전동기를 사용하고 전동기의 반복적인 기동 및 정지, 잦은 운전조건 변화 등으로 인해 고조파 억제를 위한 수동필터의 효과를 최적화하기 힘들다.

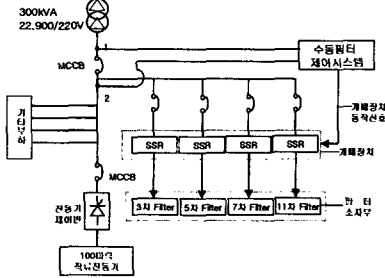
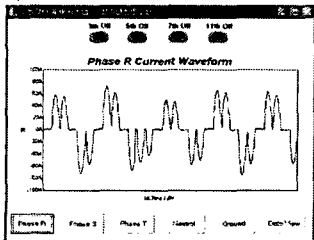


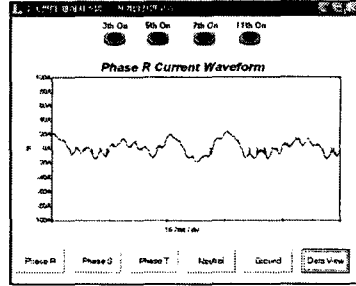
그림 2 수동필터 제어시스템의 결선도

2.3.3 시험결과

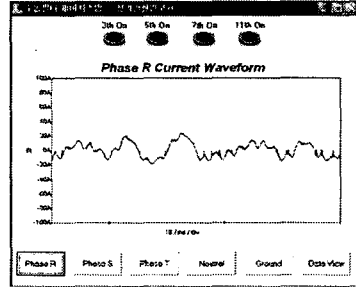
그림 3은 전원측(그림 2의 포인트 1)전류 파형으로서 필터를 설치하지 않았을 경우의 전류파형이 많이 왜곡되어 있고 필터와 제어시스템을 설치하였을 경우는 완전 정현파는 아니지만 필터를 설치하지 않았을 경우보다 파형이 개선된 것으로 나타났다. 물론 단순히 파형만을 보고는 제어시스템의 효과를 확인할 수 없다.



(a) 필터 미설치

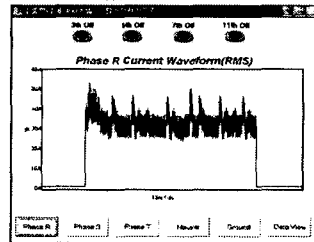


(b) 필터설치

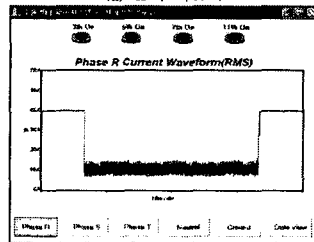


(c) 필터와 제어시스템 설치
그림 3 전류 파형

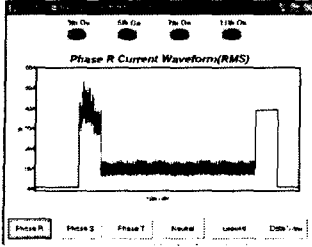
그림 4는 전원측 전류크기변화를 나타낸 것으로 그림 4 (a)에서 필터를 설치하지 않았을 경우 전동기가 운전하지 않을 때는 전류가 흐르지 않다가 전동기가 운전시 대략 40A정도가 됨을 알 수 있다. 그림 4(b)와 같이 부하의 운전조건과 상관없이 계속적으로 필터가 투입되어 있을 경우에는 전동기 운전시에는 필터에 의한 고조파 저감으로 인해 설치 전류가 전원측에 10A 수준으로 감소하였으나 전동기 정지시에는 필터가 계속 투입되어 있어 필터 임피던스로 인해 무효전류가 40A정도 발생하는 것을 알 수 있다. 그림 4(c)는 직류전동기가 운전시에 수동필터를 투입하고 직류전동기가 정지모드로 일정한 시간(본 연구에서는 업체의 운전패턴에 따라 5분정도)이 유지되면 그에 따라 수동필터 제어시스템에 의해 자동으로 수동필터를 개방시킨다. 그림에서 알 수 있듯이 직류전동기가 운전시에는 필터를 투입하여 고조파를 감소시키므로써 전류를 10A 수준으로 작아졌고 직류전동기 정지시 수동필터를 개방시켜 일정시간(5분)이 지난 후에는 무효전류가 흐르지 않는 것을 알 수 있다.



(a) 필터 미설치



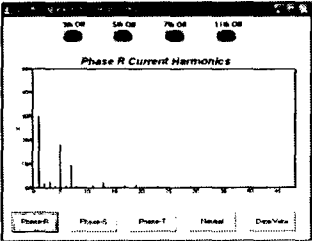
(b) 필터 설치



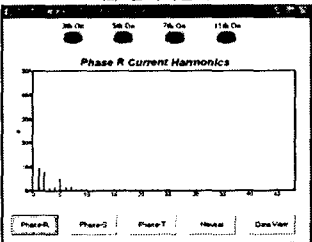
(c) 필터와 제어시스템 설치
그림 4 전류 크기 변화

그림 5는 전원측 전류 고조파 크기 스펙트럼으로써 필터와 제어기를 설치하였을 경우 기본파 전류와 고조파 전류가 줄어들었음을 알 수 있다. 그러나 여기서도 필터만 설치하였을 경우와 제어시스템을 같이 설치하였을 경우의 차이점은 발견하기 어렵다.

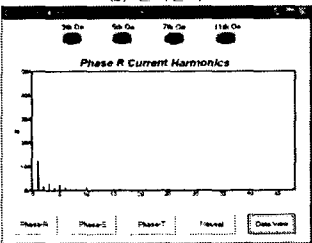
그림 6은 전동기 운전조건 변화에 따른 전원측 무효전력 크기 변화를 나타내고 있다. 그림 6(a)에서처럼 필터를 설치하지 않았을 경우에는 전동기가 정지시 무효전력이 없고 전동기 운전시 약 25kVAR 정도 발생하게 된다. 그림 6(b)에서처럼 전동기 운전조건과 상관없이 필터를 계속 투입하였을 경우에는 전동기 운전시에는 필터에 의해 무효전력을 보상해줌으로써 무효전력이 5kVAR 정도까지 줄었으나 전동기 정지시에도 필터가 계속 투입되어 있어 무효전력이 23kVAR 정도 수동필터에 의해 공급되고 있다. 그림 6(c)는 제어시스템을 설치하여 전동기 운전조건에 따라 필터를 개·폐시켰을 때의 결과로서 전동기 운전시에는 필터를 투입시켜 무효전력을 보상해 주어 전체적으로 역률을 개선시키고 전동기 정지시 필터를 개방시켜 무효전력의 공급을 억제시켜 무효전력의 과보상을 막아주고 있음을 알 수 있다.



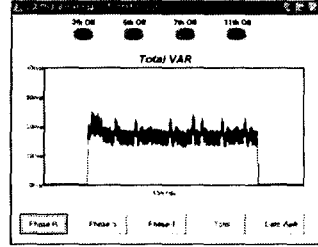
(a) 필터미설치



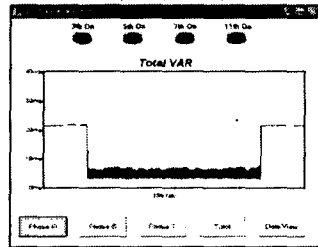
(b) 필터설치



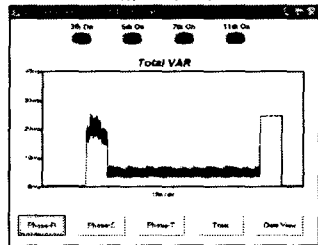
(c) 필터와 제어시스템 설치
그림 5 전류 고조파 스펙트럼



(a) 필터 미설치



(b) 필터설치



(a) 필터와 제어시스템 설치
그림 6 무효전력의 크기변화

3. 결 론

본 연구에서는 부하 변동시 수동필터 성능 저하 등의 문제점을 해결할 수 있는 수동필터 제어시스템을 개발하였다. 또한 필터의 동작상태 및 성능, 제어시스템의 동작상황 등을 사용자가 확인할 수 있도록 전용의 프로그램을 개발하였다. 수동필터 제어시스템은 고조파, 무효전력, 역률 변화 등에 따라 필터의 각 분로를 자동으로 개·폐할 수 있고 또는 복수 필터 설치시 필터를 자동으로 개·폐할 수 있다. 본 연구에서 개발한 수동필터 제어시스템을 100마력 직류전동기 부하에서 필터와 적용하여 시험을 하였다. 시험결과 직류전동기 운전조건이 변하고 무효전력 변화 및 고조파 변화에 따라 필터의 분로를 개·폐함으로써 전동기 정지시 수동필터를 개방시켜 무효전류 발생을 억제시키고 이에 따른 무효전력 과보상 문제도 해결할 수 있었다. 또한 실제 시험계통에서 발생하지 않았지만 계통과의 공진발생이나 필터 고장시 자동으로 필터를 개방시킬 수 있다.

본 연구는 전력산업기반기금 전력연구개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. Arrillaga, D. A. Bradley, "Power System Harmonics" John Wiley & Sons, 1986.
- [2] 한국전기안전공사, "전기사용장소의 고조파 장해분석 연구", 1996
- [3] 고조파 저감기술 조사전문위원회, "고조파 저감기술 현황과 전망", 대한전기학회, 1993.
- [4] 한국전기안전공사, "고조파 억제용 수동필터의 현장 적용화 연구", 1999
- [5] Tein-Ting Chang and Hong-Chan Ceng, "An Efficient for Reducing Harmonic Voltage Distortion in Distribution Systems with Active Power Line Conditioners", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 15, No. 3, 2000