

(上) 負荷電流, (下) 高調波電流

電力系統의 高調波對策

Harmonics in Power System

④

박 종 근
서울대학교 전기공학과

신건학 · 이원빈 · 강영석
한전 기술연구원

5·4 직류 전류원의 구성

5·4·1 별도의 정류기를 사용하는 방법

정전류 직류 전류원은 제어 정류기 및 큰 용량의 인덕터로서 구현될 수 있다. 그러나 이렇게 하면 전류원이 또 다른 고조파 발생원으로 작용하게 된다. 따라서 전류원에서의 고조파 발생을 막기 위해서는 PWM 제어 정류를 하지 않으면 안된다.

5·4·2 인버터에 정류기의 역할을 추가하는 방법

인버터는 역으로 동작하면 정류기의 역할을 하게 된다. 그러므로 능동필터의 인버터를 기본파에 대해서는 역으로 동작시켜 정류작용을 하게 하면 인덕터에 일정한 전류를 유지할 수 있게 되며, 이렇게 함으로써 별도의 정류기를 사용하는 경우에 비해 소모 반도체 소자의 수효를 절반으로 줄일 수 있다. 또한 이때에도 PWM 제어 정류를 해야만 또 다른 고조파의 발생을

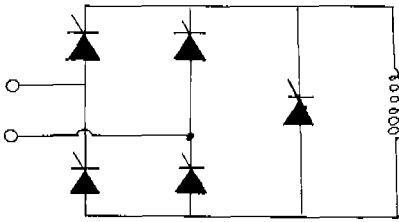
막을 수 있다.

5·4·3 직류 전류원의 전류 크기

직류 전류원의 전류 크기는 실제 하드웨어의 용량을 결정하는 척도가 될 뿐만 아니라 에너지의 손실에도 직접적으로 관계되기 때문에 적절한 값으로 결정되어야 한다. 전류의 크기가 너무 낮을 경우에는 고조파 전류에 상응하는 PWM 전류를 만들 수 없게 되며 너무 클 경우에도 하드웨어의 용량이 커질 뿐 아니라 에너지의 손실도 상대적으로 커진다. 그림 5·10과 같이 단일한 차수의 고조파가 있을 경우, 이에 대응할 수 있는 최저의 직류 전류는 고조파 최대치의 $\pi/4$ 배이다. 그러므로 임의의 고조파에 대해서도 그 최대치의 $\pi/4$ 배는 직류전류 최저치의 좋은 근사값이 된다.

5·4·4 Open-Loop 제어

인덕터에는 저항성분이 있으므로 정류작용을 통해서 계속해서 에너지를 공급해 주어야만



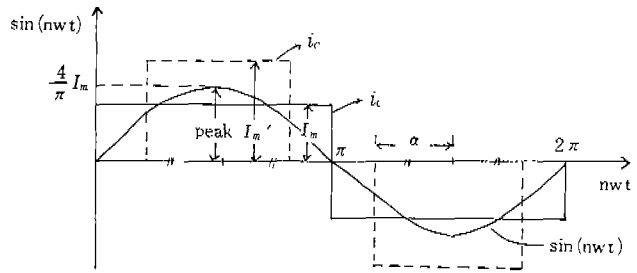
〈그림 5·9〉 인버터 및 정전류원
(정류기능을 부가한 경우)

인덕터가 일정한 전류를 유지할 수 있게 된다. 종래의 제어방법은 Open-Loop 제어로서 고조파 제어법의 비선형 연립방정식 계산시 인덕터의 저항에서 손실되는 에너지를 보충할 기본파를 추가하여 해를 구하게 되는데 전류의 변화 혹은 인덕터 저항값의 약간의 오차에 대해서도 안정하게 일정 전류를 유지할 수 없다는 약점을 갖는다.

5·5·5 Feedback-Loop 제어

고조파 전류의 변화 등으로 인덕터 전류의 크기가 변동되는 것에 대하여 이 변동의 정보를 Feed back 시킴으로써 전류를 안정하게 유지할 수 있다. Feed back의 방식은 전류의 변동분을 역으로 환산하여 비선형 연립방정식의 기본파 성분에 가감시키는 방식과 직접 인버터의 구동에 전류의 변동을 반영하여 On-Off를 조절하는 두가지의 방식을 생각할 수 있다. 첫번째 방식은 정류작용의 PWM 제어가 필터의 비선형 연립방정식에 포함되어 해결된다는 장점이 있으나 응답속도가 늦다는 단점이 있으며, 두번째 방식은 응답속도는 빠르나 정밀한 PWM 제어가 되지 않는다는 약점을 갖는다.

그러나 인덕터의 용량을 낮출 수 있다는 점등을 고려할 때 두번째 방식이 더욱 유망한 것으로 평가된다. 또한 일정 직류 전류가 유지되지 않은 상태에서의 PWM 보상 전류는 제대로 고



〈그림 5·10〉 단일 고조파인 경우의
최저 직류전류의 크기

조파를 보상하지 못하므로 Feedback-Loop 제어는 고조파 보상 PWM 전류보다 우선되어야 한다.

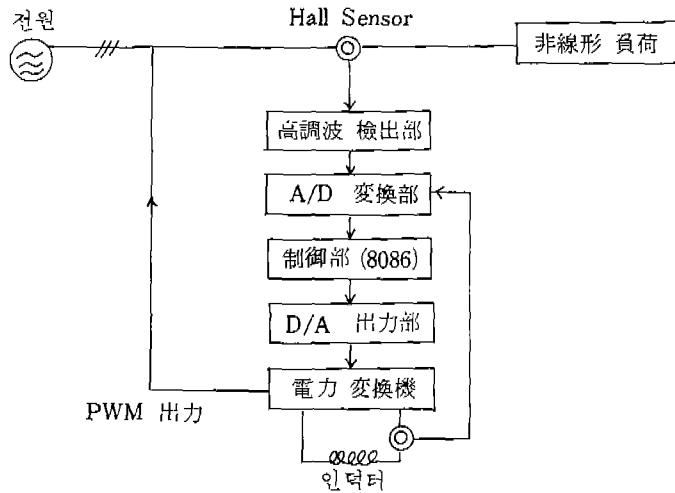
5·5 시스템 하드웨어 개요

구현된 하드웨어의 Block Diagram은 그림5·11과 같다. Hall Sensor는 전력선의 전류를 측정하는 장치로서 일반적인 CT와 같은 기능을 가지고 있다. 그러나 보통의 CT와 달리 넓은 주파수 대역에서 평탄한 동작특성을 가지고 있으므로 고조파 전류를 왜곡없이 측정할 수 있다.

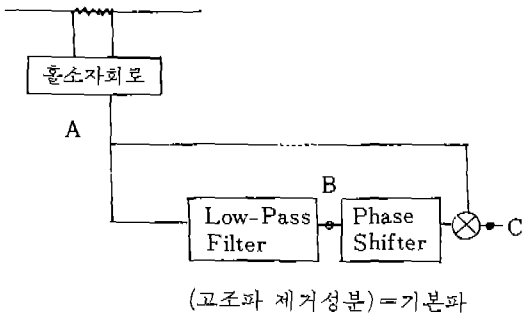
고조파 검출부는 Hall Sensor로 부터의 입력에서 60Hz의 기본파를 제외한 성분, 즉 고조파를 검출하는 역할을 하고 A/D 변환부는 고조파 검출부의 출력을 12Bit Digital 신호로 바꾸어준다. 제어부는 Digital화된 고조파 신호를 바탕으로 이를 상쇄시킬 수 있는 PWM Pulse의 형태를 계산해 내며 D/A부는 제어부로부터 Pulse 형태에 대한 Data를 전달 받아서 정확한 모양의 PWM Pulse가 만들어질 수 있도록 이 Data를 일정한 시간 간격을 두고 출력하는 역할을 한다.

D/A Gate부는 상기 신호를 인버터의 다섯개의 전력용 트랜지스터를 구동하는 신호로 바꾸어 주고 인버터는 이 신호를 받아 들어서 PWM 파형을 만든다.

5·6 하드웨어 각부의 설명



〈그림 5·11〉 하드웨어의 블록다이아어 그림



〈그림 5·12〉 고조파 검출부 구성도

5·6·1 고조파 검출부

Hall Sensor로부터 입력을 받아서 Low Pass Filter를 통과시켜 180° 위상 반전된 기본파 성분을 구한 후 본래의 Hall Sensor의 입력에 더해주면 고조파 성분만 존재하는 출력이 얻어진다. 이때 각 단계의 Gain이 1이 되어 고조파의 크기가 증감되지 않도록 하는 것이 중요하다.

5·6·2 A/D 변환부

+5V ~ -5V 사이의 입력을 받아들여 12Bit Digital 신호로 바꾸어 준다. 고조파 전류입력과 인덕터 전류입력을 받아들일 수 있도록 두개

의 입력 Channel을 가지고 있다. Sampling 주기를 변환시킬 수 있는 기능을 갖도록 하기 위하여 Counter를 내장하고 있으며 Counter의 분주 데이터를 입력하고 변환 완료신호가 출력될 수 있도록 제어신호를 주고 받을 수 있다.

쉬어가는 코너

● 어찌 할까?

어떤 젊은이가 회랍의 철학자 안티스테네스에 게 찾아와서,

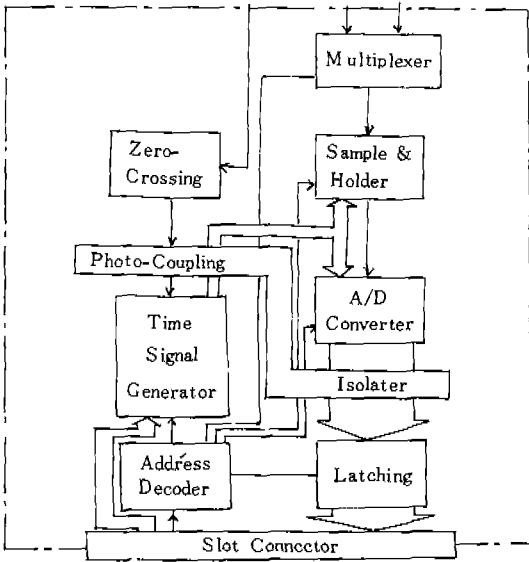
「선생님, 어떤 여자와 결혼하는 게 좋을까요?」 하고 물었다.

철학자는 간단히 대답했다.

「자네가 미인과 결혼한다면 그녀는 자네 하나만의 처가 아닐세. 또한 자네가 추녀(醜女)와 결혼한다면 돈이 많이 들 것이야」

「돈이 왜 많이 드나요?」

「자네가 바람을 피우지 않을 수 없을 테니까」



〈그림 5·13〉 A/D 변환부 구성도

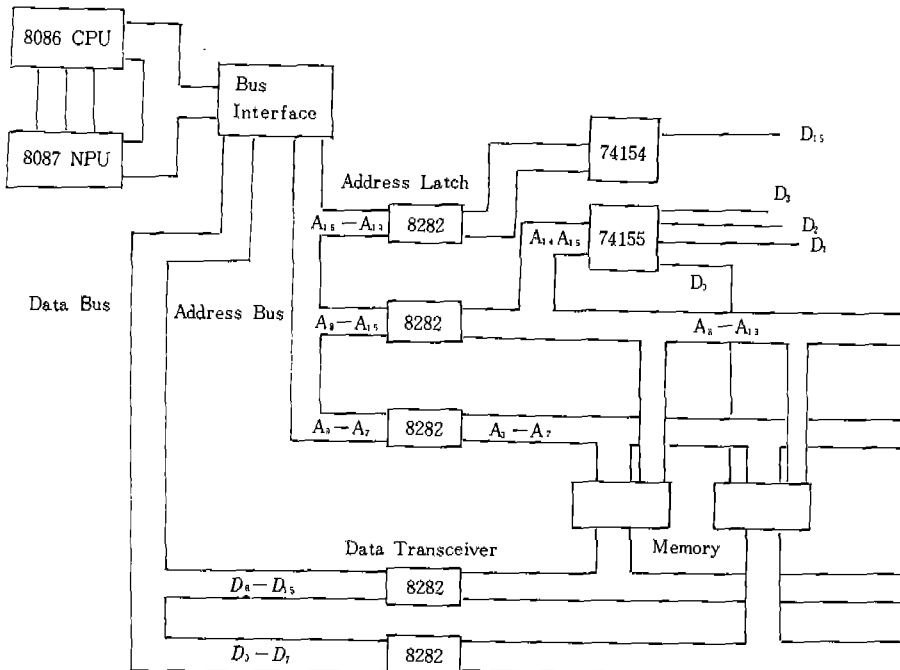
5·6·3 제어부

제어부는 Intel의 8086 마이크로 프로세서를 중심으로 메모리와 주변장치로 구성된다. 주변장치로는 입출력 Interface가 있다. CPU와 Memory 그리고 입출력 장치는 A, D, C Bus로 연결되고 CPU는 메모리로부터 프로그램(명령어의 집합)을 추출(Fetch)하여 그 명령을 수행하며 메모리는 명령의 집합을 기억하여 보존한다. 그리고 입출력 장치는 외부와 CPU를 연결하도록 한다. 제어부는 모든 Digital 알고리즘을 구현할 수 있는 능력을 가지고 있다.

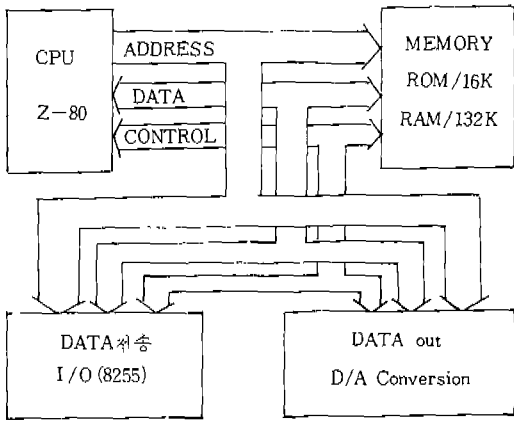
5·6·4 D/A부 (Z-80)

D/A부는 8086에서 Processing된 결과를 일정기간 간격으로 출력하는 부분이며 구성은 그림 5·15와 같다.

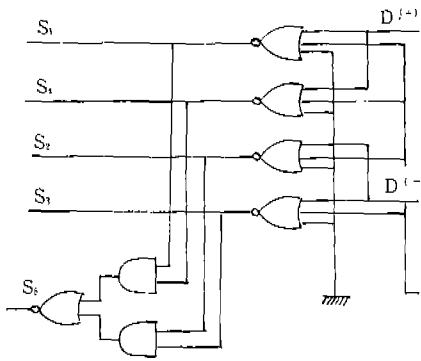
5·6·5 D/A Gate부



〈그림 5·14〉 제어부 구성도



〈그림 5·15〉 D/A부 구성도

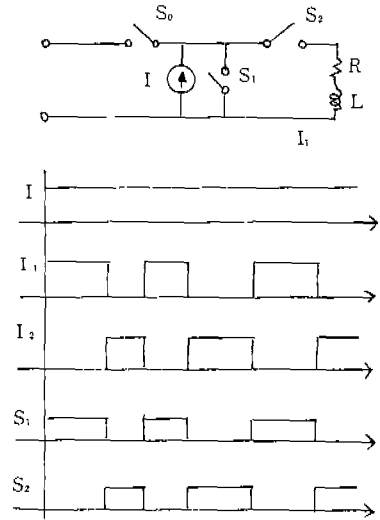


〈그림 5·16〉 D/A Gate부 구성도

마이크로 프로세서로 된 제어부로부터 발생하고자 하는 PWM파형의 제어신호를 트랜지스터 구동회로와 연결시켜 주는 논리회로이며 구성은 그림 5·16과 같다.

5·6·6 출력부(인버터부)

인버터부는 구형파 펄스형 전류를 발생시키는 출력장치이다. 임의의 정전류 전원을 그림 5·17과 같이 적절한 스위칭으로 조작하므로 출력단에 Pulse형 전류를 발생시킨다. 여기서 S_1 과 S_2 는 대전력용 트랜지스터를 사용하여 구현한다. S_0 는 정전류 유지를 위한 스위치이나 실제



〈그림 5·17〉 PWM Switching 원리도

회로에서는 출력단이 전력계통 전원회로와 병렬로 연결되므로 S_2 가 On 되었을 때 전력계통으로부터 무효전류를 공급받게 되므로 스위치 S_2 가 S_0 의 역할까지 담당하는 셈이 되어 별도의 S_3 는 없다. 여기서 특별히 S_1 과 같은 역할을 하는 트랜지스터를 Free Wheeling 트랜지스터라 한다.

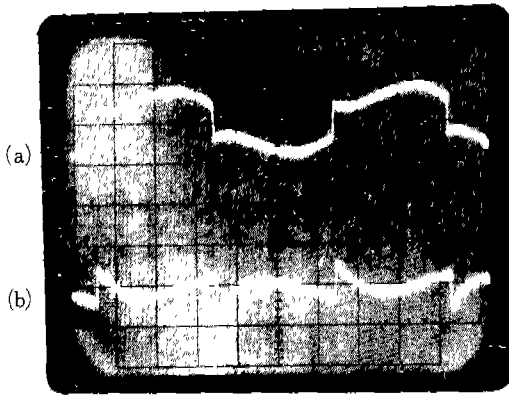
5·6·7 동작시험

가. 고조파 검출신호 측정

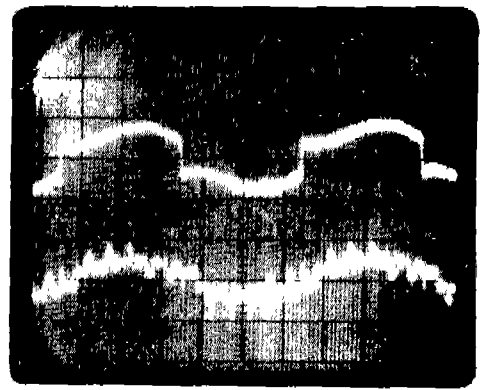
고조파 검출장치를 이용하여 측정한 고조파 발생원에 흐르는 부하전류의 파형은 그림 5·18의 (a)와 같고, 이 부하전류중 고조파 성분만을 검출한 파형은 (b)의 파형과 같다. 이 고조파 전류가 능동전력 필터를 이용하여 제거하여야 할 전류이다.

나. 주입전류 측정

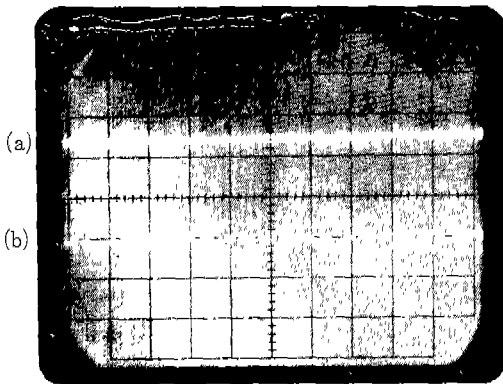
D/A 출력부 신호에 의해 고조파 출력부의 Power Tr이 제어되어 Inductor에 흐르는 전류가 전원측에 주입된다. 정전류원으로서 Inductor에 흐르는 전류는 그림 5·19의 (a)와 같고



〈그림 5·18〉 (a) 부하전류
(b) 고조파 전류



〈그림 5·20〉 (a) 부하 전류
(b) 보상후 전류



〈그림 5·19〉 (a) 인버터 전류
(b) 주입 전류

전원측에 주입되는 제어된 전류는 (b)와 같다. 이때 고조파 전류가 Positive인 구간에서 주입 전류는 Negative Pulse가 되고, 고조파 전류가 Negative인 구간에서는 주입전류는 Positive Pulse가 된다.

다. 보상후 전류파형

그림 5·20의 (a)는 비선형 부하에 흐르는 부하전류이고 그림 (b)는 고조파 성분이 포함된 전원전류에 역위상의 고조파 전류를 주입하여 보상되어진 전류이다. 주입전류 및 보상후 전류의 측정이 용이하게 하기 위하여 본 시험에서는 1

주기내에 12개의 Pulse를 삽입시켜 구현하였다. 즉 12개의 Pulse에 의해 6차까지의 고조파를 제거하였다.

실제 시스템의 구동에서는 폭이 대단히 좁은 Pulse가 존재하는 주입전류나 보상후 전류의 측정을 고려하지 않고 1주기내에 많은 수의 Pulse를 삽입시킴으로써 보다 고차까지의 고조파를 제거할 수 있고, 현재 개발된 능동전력 필터에서는 충분한 수의 Pulse를 발생시킬 수 있도록 제작되었다. 그리고 능동전력 필터를 이용하여 제거한 차수 이상의 고차 고조파는 수동필터를 연계하여 고조파를 제거함으로써 비선형 부하에 의해 발생된 고조파 성분을 모두 제거한 정현파의 전류를 얻을 수 있다.

5·6·8 향후계획

앞에서 설명한 능동전력 필터는 16Bit 마이크로 프로세서를 이용하고 인버터부에 별도의 정류기를 사용하지 않는 소용량(사용전압 220V, 용량 약 20kVA) 시험용으로 개발되었다. 따라서 차기 연구에서는 대용량의 능동전력 필터를 개발하여 계통에서의 현장 적용시험을 통한 실용화를 실현시킴으로써 전력전자기기 응용기술의 축적은 물론, 이러한 고조파 억제기기를 이용한 효율적인 고조파 억제대책을 강구할 예정이다.

〈다음호에 계속〉