특집 : 산업용 인버터 기술

산업용 인버터 하드웨어 기술

김 경 서
(LG산전 중앙연구소 책임연구원)

1. 서 론

산업용 인버터는 유도전동기나 동기 전동기의 가변속 구동을 주 용도로 하며, 자동화 설비, 수송 설비, 에너지절약 기기 등 광범위한 응용분야를 가지고 있다. 인버터 하드웨어는 전력용 반도체 소자로 구성된 전력변환회로와 이를 제어하기 위한 제어회로 그리고 부가 기능을 위한 옵션회로 등으로 구성되며 다양한 부품들로 이루어져 있다. 이중 가장 핵심적인 부품이 전력용 반도체와 마이크로프로세서이다. 다양한 제어방식의 개발과 더불어 고기능의 마이크로프로세서, 고속 전력용 반도체의 발달은 인버터의 성능과 기능 향상에 큰 역할을 하였을 뿐만 아니라 소형화, 저가격화를 가능하게 하였다. 이러한 소형화, 저가격화는 산업용뿐만 아니라 가전제품에까지도 인버터의 응용이 가능토록 하였다. 인버터를 구성하는 여러 기술 중 하드웨어 분야, 그중 인버터 기술 발전에 영향이 큰 분야에 대하여 살펴보기로 한다.

2. 제어 회로

80년대 혹은 그 이전의 인버터는 단순한 주파수/전압 변환 기능만을 갖추고 있었다. 마이크로프로세서를 채용한 인버터라 할지라도 마이크로프로세서의 기능은 시퀀스 처리나 아나로그 회로로 구현이 까다로운 비선형 함수의 구현 정도였다. 벡터제어와 같이 연산량이 많은 제어 알고리즘은 아나로그 회로와 로직회로 조합에 의하여 구현되었고 따라서 초기 벡터인버터의 제어회로는 수많은 IC로 구성되어 복잡하고 고가일 수 밖에 없었다. 마이크로프로세서의 기능이 향상되고, CPU 코어에 전동기 제어를 위한 주변회로가 결합된 마이크로콘트롤러가 등장하면서 제어회로의 많은 기능들, 복잡한 기능들이 마이크로콘트롤러 내부에서 구현되기 시작하였다. 그러나 실시간으로 빠른 연산이 필요한 경우는 연산속도가 문제가 되어 제어기 밴드폭을 제한하거나 연산을 위한 보조프로세서를 사용하기도 하였다.

DSP는 80년대 말에 신호처리용으로 상용화 되었고 pipe line 구조에 의한 병렬처리, barrel shifter 등 기존 마이크로프로세서와는 다른 구조로 인하여 빠른 연산이 가능하여 제어용으로도 사용되었다. 그러나 인버터에 응용하기 위한 주변회로가 갖추어져 있지를 않아 서어보 모터 제어, 유도전동기 벡터 제어 등 고성능 제어가 필요한 경우에는 필요한 주변회로를 ASIC으로 구현하여 사용하였다. 90년대 중반부터 DSP 코어에 전동기 제어를 위한 주변회로, 예를 들어 PWM 변조회로, 속도 엔코더 인터페이스, 다중 채널 A/D 변환기, 보호회로 등이 결합된 DSP 제어기가 등장하였다. 이를 이용하여 복잡한 고급 제어알고리즘을 실시간으로 구현하면서도 가격이나 사이즈는 감소된 제어기의 개발이 가능하게 되었다.

그림 1은 DSP 제어기를 이용한 유도전동기 제어용 인버터의 구성예로 인버터 구성을 위한 제어부의 주요한 기능 대부분이 one-chip화 되어 있는 것을 볼수 있다. 최근에는 세탁기, 냉장고, 에어컨 등의 가전제품에 인버터에 의한 가변속 방식이 채용되면서 가전시장을 겨냥한 저가격 DSP 제어기가 개발되고 있고 이로 인하여 기능이 향상되고 가격이 낮은 DSP 제어기를 일반 산업용 인버터에도 쉽게 적용할 수 있게

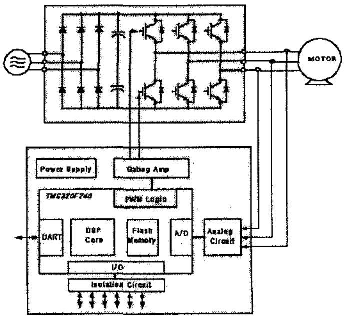

그림 1. 전동기 제어용 DSP에 의한 시스템 구성

되었다. 마이크로콘트롤러도 속도를 향상시켜 연산 능력을 높이고 가격은 점점 낮추고 있어 인버터의 원가 중에서 마이크로프로세서가 차지하는 비율은 더욱 낮아지고 있다.

전동기 제어용 마이크로콘트롤러로는 INTEL MCS80C196, ATMEL AT89C5x, PHILIPS P80C6x, SIEMENS의 SAB80C16X, MOTOROLA의 68HC1X, HITACHI의 H8/3xxx 등이 대표적이고, 전동기 제어용 DSP로는 TI사의 TMS32024xx, TMS320F281x, Analog Devices의 ADMC32X, ADMC400, Motorola의 DSP56F80x 등을 꼽을 수 있다.

보통 DSP나 마이크로콘트롤러는 ROM형태의 메모리를 내장한 것이 기본형이고 EEPROM 이나 프래시롬을 장착한 타입은 가격이 비싸 개발용으로 공급되었다. 그러나 최근에는 프래시 메모리의 용량이 커지고 프래시 메모리가 장착된 콘트롤러의 가격이 낮아지면서 이러한 형태의 콘트롤러가 보편화 되고 있다. 일부 마이크로콘트롤러는 ISP(In system programming)이라는 개념을 도입하여 현장에서 필요한 프로그램을 PC로부터 콘트롤러의 프래시 ROM으로 바로 다운로드할 수 있도록 하는 툴을 제공하고 있다. 이러한 기능을 이용하면 사용자 요구에 맞는 전용화 기능을 간편하게 제공할 수 있고, 사용자가 직접 환경에 맞는 응용 프로그램을 설치할 수도 있게 된다.

전동기 제어용 DSP와 마이크로콘트롤러의 클럭 속도도 계속 증가하고 있어 최근에 출시된 TI사의 TMS320F2810의 경우는 150MHZ 클럭을 사용하여 6.67nSEC의 사이클타임을 가지고 있다. 고속 DSP의 채용은 복잡한 제어 알고리즘의 구현을 용이하게 할 수 있을 뿐만 아니라 개발 환경에도 변화를 가져오고 있다. 연산속도가 충분하지 못한 경우는 수행속도 단축을 위하여 제어용 소프트웨어를 기계어로 구현하였으나 최근에는 C언어와 같은 고급 언어를 사용하여 제어용 소프트웨어를 작성할 수 있도록 하여 프로그램의 이식성, 재 사용성을 높이고 실시간 OS의 사용도 가능하게 되어 개발시간 단축이나 신뢰성 향상에 크게 기여하고 있다. 또한 전동기제어용 마이크로콘트롤러와 DSP에서 가장 취약한 부분이었던 A/D 컨버터도 변환속도나 분해능 등 성능이 개선되고 있다. 변환속도는 수백 nSEC 이하로 고속화되고 있고 분해능도 12bit가 보편화 되고 있으며 14bit의 경우도 발표되고 있어 정밀 제어가 요구되는 고급형 인버터에도 충분히 대응할 수 있게 되었다.

최근의 마이크로콘트롤러의 기능중 두드러진 것은 통신, 네트웍 기능의 강화일 것이다. 마이크로콘트롤러에 대부분 장착되어있는 RS232C 시리얼통신포트 외에도 필드버스 방식중 대표적인 CAN이 많이 장착되어 있고, 최근에는 PC와의 고속 통신을 위한 USB나 Ethernet 통신을 위한 통신 포트가 마이크로콘트롤러 내에 장착되기 시작하고 있다.

DSP나 마이크로콘트롤러의 발전은 인버터의 제어 성능이나 기능 향상에 기여를 하였지만 소형화 측면에도 큰 영향을 미쳤다. 마이크로콘트롤러에 전동기 제어 전용 하드웨어 기능블록이 추가되면서 외부에 로직 IC나 ASIC으로 구현되던 기능이 콘트롤러 내부로 흡수되고, 메모리나 아나로그 부분까지도 온칩화 하면서 제어용 하드웨어 부분이 대폭 감소하였다. 또한 IC뿐만 아니라 저항이나 콘덴서 등의 수동소자가 표면실장형으로 바뀌면서 제어부의 소형화, 제조 공정의 자동화에 크게 기여하고 있다. 최근에는 커넥터와 같은 기구부까지도 표면실장형으로 교체되고 있는 실정이다. 최근의 인버터 제어부에서 축소가 어려운 부분이 입/출력 부이다. 산업용 인버터의 경우 입/출력 부분을 절연시키는 경우가 많으며 이때 절연을 위한 이격 거리 확보, 각 입/출력 접점마다 포토커플러에 의한 절연회로 등이 제어부 소형화 하는 데에 있어서 걸림돌이다. 최근에는 콘트롤러의 직렬통신 포트를 이용하여 제어보드 내부와 외부 접점과의 사이를 직렬통신으로 연결하는 방식을 이용하기도 한다. 이 경우 절연해야할 신호선 갯수가 대폭 줄어들므로 제어부를 더욱 작게 축소할 수 있게 된다.

3. 전력용 반도체

인버터의 핵심이 되는 소자는 전력용 반도체로 SCR이 개발되어 정지형 전력제어가 가능하여진 이래 80년대의 BJT (Bipolar Junction Transistor)를 거쳐 90년대의 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)에 이르게 된다. 90년대 초 IGBT가 본격적으로 산업용 인버터에 적용되면서 초기에 문제가 되던 래치업 현상이나 손실문제가 개선되면서 BJT가 주로 사용되던 중소용량 인버터시장이 IGBT로 빠르게 대치되어 전력용 BJT는 자취를 감추게 되었다. 고압 대용량 인버터는 여전히 GTO(Gate Turn-off Thyristor)가 주요소자로 사용 되고 있기는 하지만 구동회로가 복잡하고 스너버회로가 필요하기 때문에 장치가 복잡하고 커지는 단점이 있다. 이를 개선하여 구동이 간단하고 스너버가 필요치 않은 IGCT(Integrated Gate Commutated Thyristor)가 실용화되어 고압 대용량 인버터 분야에서 빠르게 GTO를 대치하고 있다. 그러나 IGBT의 경우도 철도차량을 목표로 대용량 IGBT가 개발되고, EUPEC을 중심으로 대용량화를 거듭하여 최근에는 6600V급 400A 까지도 개발되어 대용량 인버터 시장에서 IGCT와 경쟁하고 있다.

소용량 인버터의 경우는 개별소자보다는 하나의 모듈안에 여러 전력소자와 회로를 집적한 복합모듈을 많이 사용한다. 이러한 소자를 사용할 경우 인버터 사이즈를 축소시킬 수 있을 뿐만 아니라 제조공정이 간단하여져 제조원가를 낮출 수 있기 때문이다. 복합모듈 내부에는 IGBT로 구성된 삼상 브

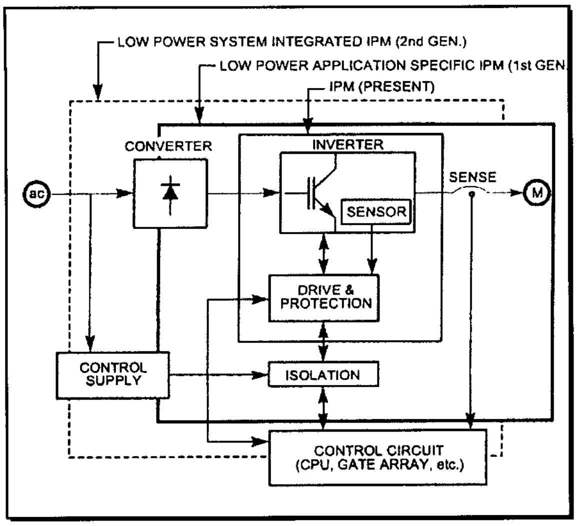

그림 2. IPM의 구조

리지 회로뿐만 아니라 입력 정류용 다이오우드나 제동 쵸퍼용 IGBT까지도 내장한다. 복합모듈보다 좀더 발전한 형태가 IPM(intelligent power module) 로 그림 2와 같이 전력회로뿐만 아니라 구동회로, 보호회로, 센서까지도 포함한다. 아직까지는 IPM가격이 복합모듈에 비하여 높은 편이나 가전제품에 적용이 확산되고 있어 가격하락이 예상된다. IPM 사용 초기에는 수마력 이하의 소용량 인버터에만 적용 가능하였으나 현재는 수 백 암페어 급까지도 개발되어 산업용 인버터에 IPM의 사용이 늘어나고 있다.

전력 소자의 구동은 별도의 회로를 만들어 구동하는 방법도 있으나 전문업체에 의하여 공급되는 구동용 IC나 모듈을 사용하는 경우도 있다. IR이나 HP에서 공급하는 IGBT 구동용 IC의 경우 구동회로 이외에도 보호회로가 내장되어 간단히 인버터 회로를 구성할 수 있도록 하고 있다. 용량이 큰 IGBT의 경우는 IC보다는 모듈형태로 구동회로가 공급된다. EUPEC이나 MITSUBISHI같은 반도체 회사에서 IGBT에 적절한 구동 모듈을 공급하고 있다.

90년대 초반 인버터용 전력 소자가 BJT에서 IGBT로 바뀐 이래 IGBT는 소용량에서 대용량까지 가장 널리 사용되는 전력소자가 되었다. 차후에 IGBT를 대치할 것으로 기대되는 차세대 전력소자가 SiC이다. 손실을 크게 개선한 Cool MOS와 같은 소자들이 개발되어 관심을 끌고 있지만 궁극적인 방향은 SiC라는 것이 일반적인 의견이다. SiC는 아직은 Infenion등에서 10A 정도의 소용량 다이오드만 상용화 하고 있으나 이는 제조공정이 아직 미흡하여 대용량화 기술이 부족한 때문으로 수요가 늘어나고 공정이 개선되면 대용량화가 가능하다는 의견이다. SiC는 기존 전력소자와 비교하여 스위칭 주파수를 높일수 있다. 이는 그림 3의 경우와 같이 기존 전력소자가 역방향 회복전류가 큰 반면에 SiC의 경우 역방향 회복전류가 거의 없기 때문이다. 역방향 회복이 없다는 점 때문에 스위칭 손실이 감소하고 스위칭에 의하여 발생하는 스파이크나 EMI가 대폭 감소하게 되어 기존 인버터에서 문제가 되는 많은 부분이 크게 개선되리라는 예상이다. SiC의 또 다른 장점은 기존 SiO2가 150도 정도까지 정션온도를 허용하나 SiC의 경우는 이론적으로 1,000도 정도의 고온까지도 견딜수 있다는 것이다. 인버터 체적의 절반 정도를 차지하는 것이 방열 구조물이므로 SiC가 상용화 되면 인버터 크기가 획기적으로 줄어들 것이라 예상할 수 있다. 그러나 현재까지는 수율이 낮고 원가가 높으며 스위칭 소자까지는 좀더 개발이 필요해 SiC를 전력소자로 본격적으로 사용하는 데까지는 좀 더 시간이 필요할 것 같다.

4. 전력회로 : 고압 대용량 인버터

대용량 고압 인버터의 경우 UP/DOWN 변압기를 사용하거나 SCR 혹은 GTO소자를 이용한 전류형 인버터가 많이 사용되어 왔고 소자의 직렬 연결을 이용한 고압화 방식도 일부 인버터에서 채택되었던 방식이나 소자들간의 스위칭 시점을 정확히 일치시켜야 하는 문제점을 가지고 있다. 고압 인버터를 구현하기 위한 또 다른 회로 방식으로 멀티레벨 방식이 있다. 멀티레벨 인버터 방식 중 가장 오래된 방식이 NPC (neutral point clamped) 방식으로 그림 4(a)와 같이 다이오드를 통하여 스위칭 소자에 걸리는 전압을 클램프하여 소자의 전압 분배가 일정하도록 하는 방식이다. NPC에 의한 3레벨 인버터 방식은 저압 전력소자를 이용하여 고압 인버터를 구현하기 위한 방법으로 지하철용 인버터에 많이 사용되어 왔고 소자들이 고압화 되면서 일반 산업용 인버터에도 널리 사용되고 있다. 인버터 출력전압을 증가시키려면 NPC 방식을 확장하여 멀티레벨이 되도록 하여야 하나 이 경우 클램핑 다이오드에 걸리는 전압 스트레스가 일정치 않고 직류단 커

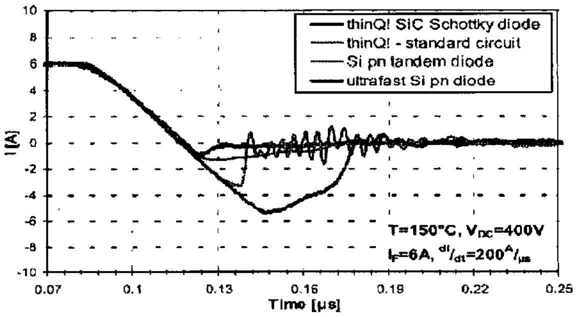

그림 3. SiC의 reverse recovery 특성

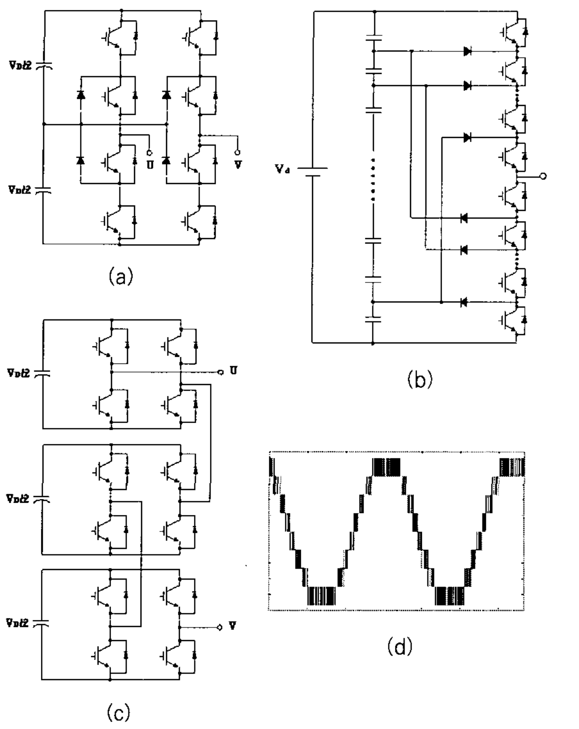

그림 4. 멀티레벨 인버터 (a)NPC 방식 (b)Flying Capacitor 방식 (c)Cascaded 방식 (d)멀티레벨 전압 파형

패시터의 전압 밸런스가 까다롭다. 이러한 문제점을 개선하기 위한 방식이 플라잉 커패시터 방식이다. 이 방식은 그림 4(b)와 같이 커패시터에 의해 소자의 전압강하를 균일하게 하는 방식으로 다이오드 클램프 방식의 문제점을 어느 정도 보완할 수 있다.

또 다른 멀티레벨 인버터 방식으로 Cascaded 방식이 실용화되고 있다. 이 방식은 소자를 직렬 연결하는 대신에 그림 4(c)와 같이 단상 H 형태의 브리지로 구성된 셀을 시리즈로 연결하는 방식이다. Cascaded 방식은 직렬로 연결된 셀 들이 독립된 단상인버터 구조이므로 NPC나 플라잉 커패시터 방식에서와 같은 전압 불균형 문제가 없어 전압 밸런스를 위한 별도의 다이오드나 커패시터가 필요 없고 레벨 수를 증가시키는 데에 제약이 없다. 따라서 저압 소자들을 이용하여 고압 인버터를 구현하기에 적합한 방법이다. Cascaded 방식의 가장 큰 장점은 각 셀이 전기적이나 기계적으로 동일한 구조를 갖는다는 것이다. 따라서 고장 수리가 셀 교환만으로 이루어지므로 고장수리시간이 짧고 셀 수 조정에 의하여 인버터 출력 전압을 쉽게 바꿀수 있어 사양 변경이 용이하다. 그러나 순환전류의 문제가 있어 각 셀의 직류링크가 절연되어야 하며 이를 위하여 셀간 절연을위한 절연 변압기를 따로 설치해야하는 단점이 있다.

멀티레벨 인버터 방식의 경우는 저압 범용소자를 사용하여 구성할 수 있으므로 부품수급이 용이하고 dv/dt 값이 적어 일반 고압 인버터에서 문제가 되는 dv/dt에 의한 전동기 권선의 절연파괴, 베어링 전류 , 커먼모드 노이즈 등의 문제가 적다. 그림 4(d)는 멀티레벨 인버터의 출력전압 파형의 한 예이다. 파형에서 볼 수 있듯이 dv/dt가 작을 뿐만 아니라 2레벨이나 3레벨에 비하여 정현파에 가까운 출력 전압 파형을 얻을 수 있다. 레벨 수를 증가시킬수록 dv/dt 값은 점점 줄어들고 출력 전압은 더욱 더 정현파에 가까워진다.

5. 전력회로 : 소용량 인버터

소용량 인버터에서 수 마력 이하의 경우는 복합모듈이나 IPM을 많이 채택하고 있다. 제어용 하드웨어가 마이크로콘트롤러를 사용하여 대폭 간소화된 것처럼 소용량 인버터의 전력회로도 이러한 모듈을 사용함으로써 매우 간소화 되어있다. 소용량 인버터의 경우는 전류용량이 작아 PCB를 전력용 배선 대신에 사용 조립 공정을 간소화하고 자동화가 손쉽도록 하고 있다. 일부 소용량 인버터의 경우에는 반도체 회사로부터 전용 모듈을 주문생산하여 사용함으로써 조립공정을 매우 단순화 시키고 있다.

범용인버터에 고기능의 마이크로프로세서가 이용되면서 자속제어, 센서리스 벡터제어 등의 고급 제어 방식이 채택되고 있고 이에 따라 정확한 전류 정보를 필요로 하게 되었다. 그러나 벡터제어형 인버터와 같은 고성능 인버터에서 사용하는 홀 센서의 경우는 가격의 문제가 있어 소용량 경제형 타입에서는 전류 측정을 위하여 션트저항을 주로 이용한다. 션트 저항을 홀 센서처럼 인버터 출력단에 부착할 경우는 센서간의 전위차 때문에 반드시 절연을 필요로 한다. 절연을 하지 않기 위한 방편으로 인버터의 아래쪽 암 각각에 션트 저항을 부착하는 방법을 사용하며 이 경우 센서로 부터의 신호는 공통 그라운드가 되므로 이 신호를 직접 A/D 컨버터에 연결할 수 있게 된다. 그러나 제어부와 전력부의 그라운드가 직접 연결되므로 전력부에서 발생하는 스위칭 노이즈가 문제가 되어 수 마력 이하의 소용량 에서만 이러한 방법을 사용한다. 센서 회로를 더욱 간단히 하기 위하여 직류단에 션트저항 하나만를 부착하여 측정하는 방법도 사용된다. 이 경우는 직류링크의 전류와 인버터 스위칭 상태로부터 삼상 출력전류를 추정하여야 하므로 콘트롤러에서 연산과정이 필요하다는 단점이 있다. 그러나 전류센서의 가격이 부담이 되는 소형 경제형 인버터의 경우는 유리한 방법이다. IPM의 경우 모듈 내부에 션트저항을 내장하고 있지만 아직까지는 정밀도가 낮아 과전류 보호를 위한 전류 센서로만 사용하고 측정용으로는 외부에 별도의 션트저항을 부착하여 회로를 구성하고 있다. 그러나 이를 전류 피드백 제어용으로 이용할수 있도록 정밀도를 높

이기 위한 개발이 진행되고 있어 향후에는 별도의 션트저항 없이 IPM 내부 전류센서를 이용할 수 있을 것이다.

일반 산업용인버터는 삼상교류를 직류로 변환하기 위한 다이오우드 정류기, 커패시터로 구성된 평활회로, 그리고 직류를 다시 삼상 교류로 변환하기 위한 IGBT 인버터 등을 기본 구성으로 하고 있다. 평활 콘덴서는 대부분 전해콘덴서를 사용하며 전해콘덴서의 수명은 주위 온도나 리플 전류에 의하여 크게 좌우된다. 콘덴서 수명을 늘리기 위하여 리액터를 사용하여 리플 전류를 줄이거나 온도 등급이 높은 콘덴서를 사용하기도 하지만 근본적인 해결책이 되지는 못하고 있다. 직류 링크가 없는 AC/AC 변환방식도 아직까지 상용화 단계에 이르지는 못하고 있는 실정이어서 현재까지 평활 콘덴서 부분이 산업용 인버터에 있어 가장 취약한 부분으로 남아있다.

인버터에 전압을 인가하면 평활용 콘덴서에 큰 충전전류가 흐를 수 있다. 이를 방지하기 위하여 초기에 충전저항을 통하여 콘덴서를 충전 후 릴레이를 이용하여 저항 양단을 단락시키는 초기충전 방식을 보통 사용한다. 그러나 이러한 충전회로 방식에서 릴레이 접점의 열화가 시스템 신뢰성을 떨어뜨리는 요인이 되고 있어 초기 충전회로에 릴레이 대신 SCR을 사용하는 예가 늘고 있다.

6. 입력, 출력 필터

반도체 소자를 이용한 전력변환 장치의 사용은 전력 품질에 나쁜 영향을 미치고 있다. 전력 품질에 영향을 미치는 부분은 고조파와 EMI로 스위칭 소자의 속도가 증가하면서 이러한 문제가 더욱 악화되고 있는 실정이다. 이와 관련하여 고조파 관련 규격이 제정되고 고조파에 대한 규제 움직임이 대두되고 있으며 IEEE519나 EN61000 등의 고조파와 관련된 대표적인 규격이다. 유럽에서는 이와 더불어 EU336/89와 같은 EMC에 대한 규격을 강화하고 이에 관련하여 CE마크를 의무화하고 있다. 전력 품질과 장해에 관련하여서는 미국이나 유럽뿐만이 아니라 모든 나라들이 비슷한 인식을 하고 있으므로 향후 이에 대한 대책을 세워야 할 것이다.

고조파를 감쇄시키기 위한 대책으로 수동 필터나 APF (Active Power Filter)등이 사용가능하나 사이즈나 가격면에서 효율적이지 못하다. 정류기 부하의 경우 입력단의 고조파 감쇄를 목적을 사용되는 것이 리액터이다. 리액터는 입력 교류 단에 부착하거나 직류링크 단에 부착하여 고조파 저감의 목적, 또는 상 불평형에 의한 과도한 콘덴서 충전전류의 억제를 목적으로도 사용된다. 과거부터 사용되어온 간단하고 효과적인 고조파 억제 대책의 하나가 입력 정류부를 복수로 연결하는 다펄스 정류방식이다. 대용량 인버터에서는 오래 전부터 사용되어온 방식으로 최근에는 Yaskawa에서 이방식을 사용한 소용량 인버터를 출시하고 있다. 가감속이 빈번하거나 효과적인 고조파 대책이 필요한 경우는 PWM 컨버터를 부착하는 것도 효과적인 대책이나 아직까지 PWM 컨버터는 가격때문에 특수한 용도에만 쓰이고 있다. 인버터 입력단의 EMI 문제는 L-C-R로 구성된 전용 EMI필터를 입력단에 부착하여 해결하고 있으나 가격이 비싸 수출용 인버터와 같은 필요한 경우에만 제한적으로 사용되고 있다.

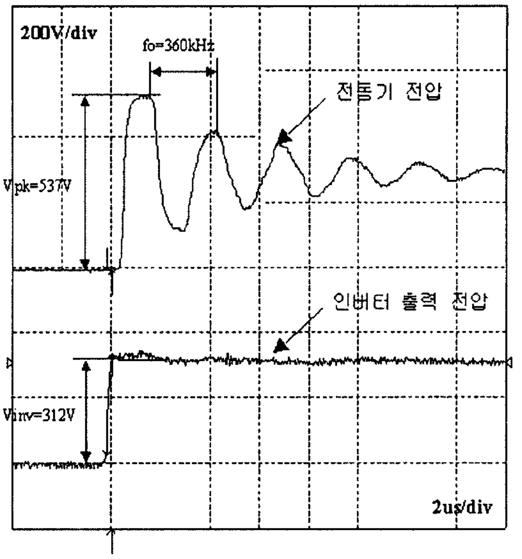

그림 5. 서어지 전압

전력소자의 빠른 스위칭에서 기인한 높은 dv/dt는 전동기 절연파괴, EMI, 베어링 전류 등의 원인이 되고 있다. IGBT 인버터에서 만들어진 빠른 기울기를 갖는 구형파 전압이 전동기 입력단에 다다르면 그림 5와 같이 높은 전압의 서어지가 중첩되게 된다. 전압 서어지는 스위칭 속도가 빨라지고 케이블의 길이가 길어질수록 크기가 증가하게 되어 전동기 절연파괴의 주요 원인이 되고 있다. 이러한 문제를 완화하기 위한 방법으로 인버터 출력단과 전동기 사이에 서어지 필터를 설치한다. 서어지 필터로는 리액터만을 이용한 단순한 형태나 L-C-R로 이루어진 복잡한 필터를 사용하기도 하는데 dv/dt 기울기를 감소시키거나 서어지에 대한 임피던스를 증가시키는 방법으로 서어지의 영향을 완화시킨다. 또 다른 서어지 전압 대책으로는 R-C 터미네이터가 있다. 인버터 출력파형이 전동기에 다다를 경우 케이블과 전동기 간에 임피던스 불연속이 있으면 반사파가 발생하며, 이는 다시 진행되어 오는 전압 파형과 중첩되어 특정 주파수에서 정상파가 발생하며 이로 인하여 전동기 입력단에 높은 전압 맥동이 발생하게 된다. 이러한 임피던스 불연속을 없애기 위하여 전동기 터미널에 임피던스 매칭을 위한 R-C 터미네이터를 설치하며 Rockwell 경우가 이러한 방식을 사용하고 있다.

멀티레벨 인버터의 경우에는 레벨수가 많아질수록 dv/dt가 감소하여 절연파괴 문제가 2레벨 방식에 비하여 덜 심각하다. 그러나 멀티레벨 방식은 소자수가 많아지므로 가격이 비싸지는 문제가 있어 고압 인버터에서만 사용되어 왔다. 그러나 최근에 발표된 Yaskawa의 범용인버터의 경우는 440V급 소용량에 3-level방식을 채용하여 스위칭에 의한 전동기 절연파괴의 문제 해결을 꾀하고 있다.

7. 맺음말

산업용 인버터는 새로운 제어 방식이나 이론이 도입되면서 기능이나 성능 면에서 오늘날까지 발전을 거듭하여 왔고 각종 산업현장에서 중요한 동력원 역할을 하고 있다. 이러한 발전은 하드웨어, 특히 고기능 마이크로프로세서와 고속 스위칭소자의 개발 및 응용이 뒷받침 되었기에 가능한 일이다.

산업용 인버터의 하드웨어와 관련하여 마이크로콘트롤러, 전력 소자 및 전력 회로, 인버터용 필터 등의 개발 추세 및 동향을 간단히 살펴보았다. 현재까지 산업용 인버터에 있어서 중요한 요소는 기능이나 성능 그리고 가격, 사이즈 등이었다. 앞으로는 여기에 추가하여 환경문제, 즉 전력 품질이나 EMC 관련된 기술개발과 개선 노력이 좀 더 부가되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] H. Stemmler, "State of the Art and Future Trends in High Power Electronics", Proceedings IPEC-Tokyo 2000, pp. 4-14, 2000.

[2] I. Zverev, M. Treu, and. H. Kapels, "SiC Schottky rectifiers: Performance, reliability and key applications", EPE 2001 Proceedings, pp. P1-P6, 2001.

[3] R. Kerkman, G. Skibinski, and D. Schlegel, "AC DRives: Year 2000(Y2K) and Beyond", APEC '99 Proceedings, pp. 28-39, 1999.

[4] Mitsubishi Electric, "Feature Products Technology and Trend", 1998.

[5] "Chip makers put more power into motor controller", EE Times(Web document), 2002.

[6] J. Lai and F. Peng, "Multjlevel Converter - A New Breed of Power Converters" IEEE IAS Conf. Rec., pp. 2348-2356, 1995.

〈저 자 소 개〉

김경서(金庚緖)

1982년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 졸업(석사). 1990년 동 대학원 졸업(공박). 1991년~1992년 미국 테네시주립대학교 Post-Doc. 1984년~1987년 금성계전연구소 주임연구원. 1988년~현재 LG산전 중앙연구소 책임연구원, 전력전자연구팀장.