

최근의 고기능화 인버터 기술의 현황과 전망

이근철

제일설계(주) 기술고문 · 공학박사

머리말

인버터란 사이리스터, GTO, MOSFET, IGBT 등의 반도체 전력용 스위칭 소자와 인덕터, 커패시터 등의 필터를 사용하여 직류전원을 가변주파수, 가변전압의 교류전원으로 변환하는 전력변환장치를 말한다.

다시 말하면, 인버터는 교류(상용전원)를 직류로 변환하고 이것을 트랜지스터 등의 반도체 소자와 같은 스위칭에 의해서 교류로 역변환하는데 이때 스위칭 간격을 가변시킴으로써 주파수를 임의로 변환시킨다. 실제로 모터 운전시에 충분한 토크를 확보하기 위해서는 주파수뿐만 아니라 전압도 주파수에 따라 가변할 수 있어 인버터를 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency : 가변전압 가변주파수)라고도 한다.

인버터의 기본구성은 컨버터부, 인버터부 및 제어부로 구성되어 있다. 인버터 주회로(主回路) 소자는 바이폴러 트랜지스터, 전계효과 트랜지스터(FET), 절연게이트 바이폴러트랜지스터(IGBT) 및 게이트턴오프(GTO) 사이리스터가 사용되고 있다.

최근 정류회로와 브레이크회로 및 인버터회로를 동일 패키지에 내장한 복합 모듈도 사용되고 있으며 인버터 회로에 드라이브회로와 보호회로를 설치한 IPM(Intelligent Power Module)도 있다. 본고에서는 최근 유도전동기, 엘리베이터, 반송기계, 수치제어공작기계, 로봇 등 FA용 전동기 구동, UPS 등의 전원장치 뿐 아니라 전기자동차, 고속전철, 항공기, 태양발전시스템, 화학 플랜트 등 산업전반에 걸쳐 그 영역을 확대해 나가고 있는 인버터의 최근 기술동향에 대하여 간단히 기술하고자 한다.

1. 인버터 회로소자 특성

가. 바이폴러 트랜지스터

인버터용의 스위칭소자로서는 이산형(離散形)의 바이폴러 트랜지스터 구조를 들 수 있다. 이때, 프리포일용 고속다이오드도 동시에 필요한데 최근에는 프리포일링 다이오드를 내장한 바이폴러 트랜지스터가 개발되었다. 이 경우에는 인버터회로의 각 스위칭소자를 절연할 필요가 있어 인버터회로가 대형이 되는데, 이것을 개선한 것이 트랜지스터 모듈이다.

트랜지스터 모듈은 내부의 스위칭소자가 방열면과 절연되어 있기 때문에 인버터회로 전체의 소자를 동일한 방열판(放熱板)에 설치할 수 있어 인버터장치를 소형화할 수 있다.

또한 전류용량이 적은 약 50A 이하의 소자에서는 장치를 소형화할 수 있고 인버터의 전체 6스위칭소자를 동일한 패키지에 내장할 수 있다. 이 외에 드라이브회로의 전류를 감소시켜 경비를 저감할 수 있는 이점이 있어 광범위하게 사용되고 있다.

나. 전계효과 트랜지스터(FET)

FET는 바이폴러 트랜지스터와 같은 스위칭소자로 되어 있으나 전압구동으로 인하여 바이폴러 트랜지스터에 비교하면 드라이브회로를 용이하게 구성할 수 있다. 또한, 구조적으로 소스에서 드레인에 대해 다이오드특성을 갖고 있기 때문에 프리포일 다이오드를 동일한 칩상에 형성할 수 있다. 다만 FET의 ON전압은 소자의 정격전압이 높으면 이에 따라 상승한다. 이때문에 600V 이상에서는 바이폴러 트랜지스터쪽이 스위칭손실이 적어야 되나 고내압소자로서는 적합하지 않다. 그러나 스위칭주파수는 바이폴러 트랜지스터보다 높게 되고 인버터출력파형은 평활하게 된다.

다. 게이트턴오프(GTO) 사이리스터

GTO사이리스터는 턴오프능력을 갖는 사이리스터이다. 바이폴러 트랜지스터의 정격전압을 높이면 H_{fe} 가 낮아져 드라이브회로의 전류 능력을 증가시켜야 한다. 드라이브회로의 능력 향상이 곤란할 때는 High 타입이나 3단 다링톤접속의 바이폴러 트랜지스터를 사용한다. 어느 것이나 정격전압은 1,400V 정도가 한계이다. 1,600V, 2,500V, 4,500V, 6,000V 등의 정격전압이 필요한 경우 GTO사이리스터가 가장 적합하다.

라. 절연게이트형 바이폴러 트랜지스터(IGBT)

이것은 FET와 같이 전압구동을 할 수 있고 바이폴러 트랜지스터와 같이 포화전압이 낮은 스위칭소자이다. IGBT가 턴오프일 때 FET의 채널이 개방되어 PN다이오드와 FET가 함께 동작하게 된다. PN다이오드에 전류가 흐르면 바이폴러 트랜지스터와 똑같이 N-층에 전하가 축적되고 전도도 변조를 일으켜 전압강하가 감소된다. IGBT는 바이폴러 트랜지스터와 비교해서 스위칭 속도가 빨라 드라이브가 용이하므로 고속전철용 전원장치에 널리 이용되고 있다.

마. 복합모듈

복합모듈은 전류회로와 브레이크회로 및 인버터회로를 동일한 패키지내에 내장시킨 소자이다. 동일한 패키지내에 있기 때문에 개별적인 조립 경우보다 부피가 작고 저렴한 인버터장치를 실현할 수 있다. 다만 방열효과가 떨어져 약 50A 이하의 IGBT를 사용하는 인버터장치에 응용되고 있다.

바. 지능형 파워모듈(IPM)

이것은 인버터회로에 드라이브회로와 보호회로를 설치

한 집적회로이다. 광결합신호에 의해 IGBT를 구동함으로써 과전류보호, 온도보호 및 드라이브전원의 부족전합을 보호하는 것이 일반적이다. 보호회로의 동작방법이나 에러신호의 출력은 반도체메이커에 의존하고 있으므로 사용할 때는 인버터장치의 제어방법과 IPM의 입출력신호와의 정합이 필요하다. IPM은 소자 자신이 보호회로를 갖고 있기 때문에 시장수요의 확대와 인버터장치의 소형화, 저코스트화, 고성능화가 기대되고 있다. 현재 인버터의 전6스위칭소자를 내장한 것으로서 200A 600V, 100A 1,200V의 소자까지 상품화를 계획하고 있고 대전류화가 예상되고 있다.

2. 제어방식에 의한 인버터의 특성

가. V/F 제어

유도 전동기의 회전 속도는 전원 주파수와 극수로부터 결정되므로 전원주파수를 변화시키면 전동기의 가변속 운전이 가능하게 된다. 그렇지만 주파수의 변화에 따라서 전동기 내부 임피던스도 변화하기 때문에 단순히 주파수를 가변으로 하는 것만으로는 약여자에 의한 토크 부족이나 과여자에 의한 여자 포화 등이 발생하고 전동기의 역률, 효율의 현저한 저하를 야기한다.

V/F 제어는 주파수를 변화시킬 때에 인버터 출력 전압을 동시에 제어함으로써 전동기 자속을 일정하게 유지하고 광범위한 가변속 운전에 대해 전동기의 효율, 역률을 저하시키지 않도록 제어하는 방식이며 전압(Voltage)과 주파수(Frequency)의 비를 제어하는 점에서 V/F 제어라고 불린다.

V/F 제어는 가변속 인버터의 제어방식으로서 비교적 간단하고 역사도 오래되었으며 현재로도 범용 인버터나 팬·펌프 등의 에너지 절약 구동 시스템, 프로세스 라인의 테이블 구동 등에 다수 적용되고 있다. 또 최근에는 에어컨 등의 가정용 전기 기기에도 인버터가 응용되어

있는데 여기서도 V/F 제어가 이용되고 있다.

나. 슬립 주파수 제어

슬립 주파수 제어는 전동기의 회전 속도를 검출하고 인버터의 출력 주파수를 전동기 속도와 슬립 주파수의 합계로 부여하도록 하는 방식이며, 토크나 전류에 직접 관계하는 슬립 주파수를 자유로이 제어할 수 있는 점에서 V/F 제어에 비해 가감속 특성 및 과전류 제한 능력이 향상한다. 또 속도 피드백을 이용해서 속도의 클로즈드 루프 제어를 행하는 속도 컨트롤러를 갖고 있기 때문에 자동 제어 시스템의 응용에 적합하다.

또한 슬립 주파수 제어에서는 전동기 속도를 피드백하는 점에서 속도 검출기가 필요하게 되고 또 통상 1대의 인버터로 여러 대의 전동기를 제어하는 단기 운전으로 사용한다.

다. 벡터 제어

유도 전동기의 가변속 기술은 최근 급속히 진보하고 있는데 그 성과의 하나로서 벡터 제어 방식의 실용화를 들 수 있다.

벡터 제어는 가장 제어성이 좋다고 하는 직류 전동기의 전기자 전류제어 방식과 동등 이상의 구동 성능을 유도전동기 가변속 시스템으로 실현하도록 개발하여 제품화된 제어방식으로서 가변속 시스템에서의 유도전동기의 적용 범위가 크게 확대되었다.

벡터 제어의 원리적인 특징은 유도전동기를 직류기와 동일한 토크 발생 기구, 즉 계자와 그것에 직교하는 전류의 곱이 토크로 된다는 기본적인 원리로 돌아가 해석함으로써 유도전동기에 급전되는 1차전류를 계자로 만드는 전류성분(계자 분전류)과 계자와 직교해서 토크를 발생하는 전류성분(토크 분전류)으로 이론적으로 분리하고 있다.

이 계자 분전류, 토크 분전류는 직류기의 계자 전류, 전기자 전류에 상당한다. 직류기에서는 정류자와 브러시

에 의해 기계적으로 양자의 직교 관계가 유지되고 또 개별로 급전할 수 있다. 한편, 유도 전동기는 급전된 1차전류가 전자 유도 작용에 의해 전동기 내부에서 계자 분전류가 직교하는 토크 분전류로 전기적으로 분리된다.

벡터 제어는 계자 분전류와 토크 분전류를 합성한 1차전류를 전동기에 급전하는 동시에 소정의 계자 분전류와 토크 분전류로 분리시켜 각각 자유로이 제어하려고 하는 방식이다.

따라서 원리적으로 직류기와 동등한 제어 성능이 얻어지고 또 직류기 시스템에 대해 다음과 같은 장점이 있다. 무보수와 전류 변화율의 역제가 불필요하며 전류 제어의 고응답화가 가능하고 계자 제어 범위(정출력 범위)를 넓게 취할 수 있으며 고속 회전이 가능하다.

3. 고기능화 인버터의 기술

인버터는 제어기술, 마이크로 일렉트로닉스 기술 및 파워 일렉트로닉스 기술의 진보와 더불어 비약적으로 고성능, 고기능화하여 일반 이용자의 다양한 요구조건을 충족시켜 왔으며 인버터가 발전하게 된 고성능 및 고기능화의 기술 현황을 보면 다음과 같다.

첫째, 저소음화(低騒音化)를 들 수 있다. 이것은 전동기를 인버터로 구동하는 경우 펄스폭 변조에 의한 자기소음(磁氣騒音)이다. 인버터에 사용된 바이폴러 파워 트랜지스터의 스위칭 주파수의 상한은 2~3kHz이고, 이 고조파전압의 전자력(電磁力)에서 발생하게 되는 것이다. 이에 대해 10kHz 이상에서 스위칭이 가능한 IGBT가 실용화되어 자기음의 주파수를 가청대역(加聽帶域) 이상으로 올리는 것이 가능하게 된 결과 소음 레벨은 상용전원에서 구동할 경우와 동등한 레벨로 개선되었다. 즉, 캐리어 주파수를 10~12kHz 이상으로 올린 결과 상용전원으로 구동할 때와 동등한 레벨로 개선되고 있다.

둘째, 저속도영역에서 토크 부족현상이 해소되었다. 즉, 전압/주파수 제어형 인버터는 제어 구성이 간단하고

가변 주파수 전원장치로서 가장 범용성이 우수하기 때문에 지금까지 인버터의 주류가 되어왔다. 전압/주파수 제어형 인버터는 전동기에 가해지는 전압과 주파수의 비를 일정하게 제어하고 주파수의 상승에 비례해서 전압이 커지도록 펄스폭변조에서 펄스폭이 제어된다. 전압/주파수를 일정하게 하는 목적은 전동기 내부의 자속을 일정하게 제어하는 것이지만, 실제로는 전동기의 1차권선 저항에 의한 전압강화의 영향으로 속도가 낮아질수록 자속이 약해져 토크가 감소된다. 이것에 대해 전압/주파수 일정 제어, 자속벡터 등의 기술에 따라 낮은 속도에서의 특성이 크게 개선되고 있다.

셋째, 속도 검출기가 필요없는 벡터 제어를 들 수 있다. 종래의 벡터 제어 인버터에서는 전동기에 속도 검출기가 필요했지만, 최근에는 이것이 필요없는 벡터 제어의 연구가 추진, 제품화되고 있다.

이 방식에서 토크의 요소는 자속과 2차전류를 전동기 전압, 전류로부터 연산하여 이들의 피드백 값이 각각 지령치와 일치하게끔 제어하고 있다. 또 1차주파수 지령에 슬립 주파수 지령을 가산함으로써 가산전의 양이 속도 추정치가 되며, 이것이 피드백되어 속도를 제어하고 있다.

넷째, 토크리플의 감소를 들 수 있다. 전동기를 인버터로 구동할 경우에 발생하는 토크리플 중 인버터에서 기인되는 것은 주파수 성분에 따라 발생원인이 달라 이들 각각에 대해서 개선책을 도모하고 있다. 즉, If성분에 있어서 전류, 전압과 같은 주파수의 토크리플이 발생하는 요인은 전류, 전압에 함유되는 직류성분이기 때문이다. 벡터제어 인버터인 경우 전류 제어 루프가 있으며, 전류 검출기의 오프셋 직류성분의 전류가 흐르게 된다.

최근 인버터에서는 이것을 방지하기 위해서 오프셋이 작은 전류 검출기를 사용함과 동시에 오프셋 전압의 자동전압조정기능을 탑재하는 것도 있다.

또한 2f 성분에 있어서 전류, 전압의 주파수 토크리플(6f성분)은 주회로 위, 아래 암(Arm)의 데드타임(Dead Time)에 기인한다. 데드타임의 크기는 바이폴러

트랜지스터의 경우 $30\mu\text{sec}$ 정도, IGBT인 경우 $3\mu\text{sec}$ 정도이지만, 전동기 제어의 측면에서는 전압파형에 대한 외란으로 6f성분의 토크리프의 원인으로 된다. 이에 대해 데드타임에 의한 전압외란을 보상하는 기능을 갖춘 것으로 6f의 토크 리플의 발생을 방지하고 있다.

다섯째, 자동 동조(自動同調)를 들 수 있다. 벡터 제어 인버터에서는 운전하는 전동기의 전기적 패러미터를 정확하게 정수로 설정하지 않으면, 본래의 성능이 얻어지지 않는다. 이 때문에 통상은 표전 전동기를 시리즈화 해서 인버터 메이커에서 정수측정(定數測定) 실험후 인버터에 설정하여 공급하는 방법을 취해 왔다.

이 때문에 기존의 전동기라든가 해외의 전동기에 적용하는 것은 곤란하였으나 자동동조 기능이 확립되어 있어, 전동기 명판의 데이터만 입력시키면 인버터가 어떤 결정된 패턴으로 단시간 자동운전을 하는 동안에 벡터 제어에 필요한 정수를 자동조정할 수 있게 되었다.

4. 인버터의 보호기능

가. 인버터 보호

최근 범용 인버터의 주류를 차지하고 있는 것은 전압형 펄스폭변조(PWM)제어이다. 컨버터회로부는 정류다이오드, 평활회로는 대용량의 전해콘덴서 그리고 인버터회로부는 파워트랜지스터소자로서 구성되어 있으며, 주회로에는 직류전압검출, 전류검출 등의 보호회로가 설치되어 있다.

일반적으로 인버터 보호는 기기를 구성하는 회로소자가 최대한의 기능을 충분히 발휘하여 고장으로 인한 인버터의 사고를 방지하는 것이 목적이다. 이를 위하여 전원계통, 인버터, 모터, 부하장치 등의 전체를 포함한 구동 시스템의 보호로서 과전류보호와 같은 기능이 있다. 이것은 인버터의 출력이나 모터측에서의 상간단락 등으로 인하여 인버터회로부의 파워트랜지스터소자의 허용전

류값을 초과하는 이상전류를 검출하였을 때 인버터회로부의 파워트랜지스터 소자 출력을 차단해서 인버터를 정지시켜 보호하는 기능이다. 또한 인버터로서 운전중 모터에 정지상태의 부하를 클러치 등 기계적으로 급격히 접속해서 회전이 상승하는 급격한 부하변동이 있으면 모터속도의 순시강하가 발생해서 모터의 슬립이 커져 전류가 급격히 증가한다.

이 경우 파워트랜지스터 소자의 허용전류값을 초과하는 이상전류가 흐르면 과전류보호기능이 동작한다. 이 보호동작레벨은 일반적으로 인버터의 정격전류에 대해서 160~200%로서 전류는 홀 CT나 셉트저항 등으로 검출한다. 이 외에 과속한 단시간 가속운전으로 출력전류가 급격히 증가한 경우에도 출력전류의 상승을 억제하고 과전류보호에 의해 인버터를 정지시키지 않고 커런트리미트 기능이나 부하전류 등에 따라서 주파수의 상승을 억제하여 가속화시키는 스톱방지기능이 있다.

커런트리미트 기능은 인버터의 출력전류가 정격전류값을 초과하고 미리 설정된 전류제한레벨에 도달했을 때 인버터 회로부의 파워트랜지스터 소자의 동작을 일시적으로 정지시키거나 제한하여 제한값 이상의 전류를 흐르지 않도록 제어하는 것이다.

스톱방지기능은 인버터가속중에 미리 설정된 스톱방지 동작레벨에 전류가 도달하면 주파수와 출력전압의 상승을 중지하고 또한 가속을 둔화시키면서 인버터의 가속중 전류증가를 방지하는 것이다. 모터의 가속이 인버터의 출력주파수에 추종하고 슬립이 적어서 모터전류가 감소하면 인버터가 재차 가속된다.

나. 과전압 보호

이것은 평활회로부의 전압을 감시하고 전압이 높은 경우 인버터회로부의 파워트랜지스터 소자의 출력을 차단하여 보호하는 것이다. 평활회로의 전압이 상승하는 원인에는 2가지가 있다. 첫째는 감속중의 모터로부터의 회생전력의 영향이다. 이것은 부하의 GD^2 이 크고 인버터

의 감속시간이 부하의 관성에 의해 자연정지시간보다 짧을 때에 모터로부터 전력이 회생되어 평활회로의 직류전압이 상승한다.

인버터 운전시 정지는 감속시간보다 속도를 늦추기 때문에 모터는 발전기로서 작용하여 부하의 회전에너지를 인버터에 회생시키면서 감속정지하게 된다.

최근 인버터에는 직류전압을 검출해서 희망하는 값 이상의 전압이 되었을 때 자동적으로 감속시간을 연장해서 회생전력의 발생을 억제하는 기능이 포함되어 있다. 또한 제동저항회로를 부착하고 희망하는 값 이상의 전압이 되면 제동회로를 동작시키고 회생전력을 저항기로서 소비하여 평활회로의 직류전압상승을 방지할 수 있다.

두번째 원인은 전원전압의 상승으로서 전원전압상승에 의한 인버터내부회로 소자의 파손이나 사고를 방지하기 위하여 직류전압이 희망하는 값 이상의 전압으로 인버터를 정지시키는 기능이 내장되어 있다.

다. 부족전압 보호

전원전압이 희망하는 값 이하인 경우 인버터를 정지해서 보호한다. 인버터는 마이크로프로세서 등과 같은 전자제어회로가 많이 사용되나 전원전압이 저하함으로써 마이크로컴퓨터나 제어회로의 오동작 및 파워트랜지스터 소자의 구동불능이 발생하게 된다. 또한 입력전원전압의 저하에 비례해서 인버터출력전압이 저하하기 때문에 모터의 발생토크가 저감하게 된다.

이 결과로 저감된 토크를 보완하기 위하여 모터전류가 증가하고 과전류보호가 작용하는 경우도 있다. 전압피드백제어에 의한 고성능 인버터에서는 전원전압이 변동해도 출력토크를 확보해서 제동시 과전류보호동작 등을 저감시킬 수 있다.

라. 순시정전 보호

전원계통의 고장이나 낙뢰 등의 정전에 의해 순시적으로

로 전원전압이 내려가는 경우 부족전압보호가 행해진다. 또한 복전(復電) 후 신속하게 자동운전을 계속하고 싶은 경우 감속되어 있는 모터의 회전수를 검출해서 저전압에서 모터회전수에 상당하는 주파수를 출력하여 모터를 재시동하는 순간 논스톱제어기능을 내장한 인버터도 있다.

바. 퓨즈 보호 및 과열 보호

파워트랜지스터 소자 등이 제어기능 상실로 인하여 소자의 파손사고가 발생한 경우 주회로에 설치된 퓨즈 용단 또는 배선용 차단기(MCCB)의 차단에 의해 전원계통과 인버터를 전환함으로써 사고의 확대를 방지한다. 퓨즈 용단 또는 배선용 차단기가 차단된 경우 인버터 내부회로 및 소자가 손상되어 있는 경우가 많아 운전하기 전에 인버터를 점검하고 손상부품을 교환할 필요가 있다. 한편 인버터 주회로의 파워트랜지스터 등은 냉각팬에 부착되어 방열하게 되는데 팬의 고장으로 설정온도가 넘을 경우 인버터 운전을 정지시켜 보호하게 된다.

5. 인버터주변기기 설정

인버터 설정이 끝나면 인버터운전에 의한 효율향상 인버터와 모터 보호 및 기타 기기에 미치는 영향의 저감을 위하여 다음과 같이 주변기기를 검토하여야 한다.

가. 변압기

변압기는 송전용 고압전원을 부하에 맞도록 저압으로 변환하기 위하여 사용되며 변압기의 선정은 임피던스용량, 임피던스 투입시에 돌입전류와 이에 따르는 변압기 2차측의 전압강하를 고려하여 선정한다. 일반적으로 인버터용량의 1.5배 이상인 변압기용량이 적당하다.

다음에 선정된 변압기로서 인버터 전원투입시 전압강하를 검토한다. 인버터는 교류전원을 일단 직류로 변환하기 때문에 내부의 주회로에 대용량 전해콘덴서를 설치

한다. 인버터 전원투입시 전해콘덴서에 돌입전류가 흐르고 변압기의 2차측에 통상 이러한 현상을 억제하기 위하여 인버터내부에는 돌입전류 억제저항을 부착함으로써 인버터 정격전류의 2~3배 정도를 억제하고 있다. 그러나 변압기 용량이 충분하지 않으면 전압강하가 커지게 되고 인버터의 부족전압 보호동작레벨(정격전압의 15~25% 강하시)에 도달해서 인버터가 트립하게 된다. 이 경우 전원투입시의 전압강하는 10%가 바람직하다.

나. 배선용차단기

배선용차단기는 전원의 개폐와 회로의 과부하 또는 단락사고 발생시 전원에서 인버터를 개방하여 사고의 확대를 방지하는 것이다. 인버터는 내부에서 전류값을 측정하여 인버터 출력측에서 동작으로 인버터 출력을 차단하고 전원과 부하를 격리시킨다. 그러나 인버터 내부가 고장인 경우 인버터 자체에 고장전류를 차단하는 기능이 없는 경우가 있으므로 배선용 차단기를 설치해서 전원으로부터 격리시켜 사고확대를 방지한다.

배선용차단기의 선정은 (a)정격전류값 (b)동작특성 (c)정격차단전류를 고려하여야 한다.

다. 전자접촉기

인버터운전에 의한 모터의 시동 및 정지는 전자접촉기(電磁接觸器)뿐만 아니라 인버터 제어단자의 접점지령에 의해서 행한다. 따라서 운전상 전자접촉기를 생략할 수 있으나 인버터가 트립되었을 때 전원에서 격리시키는 경우나 제동저항기를 이용하는 경우 전자접촉기를 설치한다. 또한 제동회로의 파워트랜지스터 소자가 단락모드로서 고장인 경우 단시간 정격의 제동저항에 연속적으로 전류가 흘러 제동저항이 소손된다. 이 경우의 보완 제동저항에 부착된 과부하 계전기의 신호로서 전자접촉기를 해방하게 되는데 정격전류가 인버터의 입력전류값보다 크거나 같아야 한다.

라. 입력리액터

목적은 첫째 전원과의 협조, 둘째 역률 개선, 셋째 고조파 대책이다. 첫째는 것은 전원용량이 큰 경우, 사이리스터 전류(轉流)방식의 제어장치와 공통의 변압기에 접속되어 있는 경우 및 아크로(爐)와 왜곡파 발생원이 동일한 전원계통에 접속되어 있는 경우, 큰 전압왜곡인 경우 및 전원전압이 불평등일 때 협조를 도모한다.

역률 개선은 인버터의 입력전류와 전압이 정현파가 아닌 왜곡파이기 때문에 입력역률은 전원전압과 전류의 기본파 위상차가 $\cos\theta$ 로서 나타내는 기본파역률뿐만 아니라 유효전력과 피상전력의 비로서 표시되는 총합역률로 나타낸다.

고조파 대책은 동일 계통에 역률개선용 콘덴서에 접속되어 있으면 인버터에서 발생하는 고조파가 역률개선용 콘덴서에 유입해서 전압이 상승한다든지 역률개선용 콘덴서에 나쁜 영향을 미치는 경우가 있다. 이때 고조파 전류의 영향에 대해서는 전원계통임피던스를 고려해서 검토하면 되나 일반적으로 역률개선용 콘덴서의 설치용량은 전원단락용량/200보다 적다고 한다.

마. 과부하계전기(THR)

표준 모터는 상용전원에서의 운전을 전제로 설계되어 있으며 인버터에 의해 정격회전수 이하로서 연속운전을 하면 정격전류에서도 팬에 의한 냉각이 불충분하게 된다. 특정토크부하인 경우 정격회전수 이하에서도 모터전류가 거의 정격전류이기 때문에 모터의 온도상승이 커지게 되고 최악의 경우에는 모터가 소손된다. 이와 같은 저속 영역에서는 정격전류치를 기준으로 하여 전류값의 대소로 보호를 하는 과부하 계전기에는 모터를 보호할 수 없다.

일반적으로 인버터는 전자서멀 보호기능을 구비하고 있어 모터의 허용특성에 맞는 보호를 위하여 외부에 과부하 계전기가 불필요하게 된다. 그러나 표준전용 이외의 모터를 사용하고 한 대의 인버터로서 복수의 모터를

운전하는 경우에는 과부하 계전기에 의한 모터를 보호할 필요가 있는데, 이때 주파수의 하한리미트 기능을 병용해서 모터의 허용운전범위 이하의 주파수로서 운전할 것을 권장하고 있다.

바. 상용전원전환회로

상용전원전환회로를 설치하는 목적은 상용전원과 같은 주파수로서 운전하는 경우의 운전효율 향상과 인버터가 고장이라도 운전을 계속시키고자 하는 경우를 들 수 있다. 인버터 운전과 상용전원운전의 전환에는 인버터운전에서 상용전원운전으로 전환하는 경우와 상용전원운전에서 인버터운전으로 전환하는 경우 모터를 정지시키면서 전환할 필요가 있다.

후자의 경우 모터가 프리런하는 중에 인버터로 전환하면 인버터 출력주파수와 모터회전수 차이로 인한 모터의 평활 증가로서 과전류가 흘러 인버터가 트립하는 것도 있다. 마이크로서지대책으로는 전동기의 절연내력을 향상시키고 인버터출력으로 마이크로서지 억제필터(LCR 필터) 또는 교류리액터를 설치하는 것도 있다.

6. 인버터의 소음, 진동 및 발열 등의 대책

범용 인버터는 대부분 펄스폭변조(PWM)제어를 이용하고 있고 출력전압파형은 정현파가 아니므로 모터에 흐르는 전류에는 많은 고조파 성분이 포함되어 있다. 이때문에 인버터로서 모터를 구동하는 경우 구동모터의 권선이나 철심이 고조파성분에 의해 진동하며 자기(磁氣)소음을 발생하게 된다.

정격주파수로서 인버터를 구동하는 경우 상용전원으로 구동하는 것에 비하여 모터소음은 5~10dB(A) 정도로 커지게 된다.

PWM제어 인버터로서 출력주파수를 내려 운전한 경우 모터의 냉각팬 풍음(風音)이나 베어링 등의 기계음은

감소하나 고조파성분에 의한 자기소음은 감소하지 않으며 전체의 소음값은 감소하지 않는다.

소음저하의 방법으로는 ① 저속밀도가 낮게 설계된 모터를 사용한다, ② 인버터출력에 교류리액터를 삽입한다, ③ 인버터출력에 출력파형(전류, 전압)을 정현파로 하기 위하여 필터를 삽입한다, ④ 주 회로로서 고속스위칭소자(MOSFET)를 사용하고 PWM캐리어 주파수를 12kHz 이상으로 올린 저소음(靜音)형 인버터를 사용한다 등을 들 수 있다. 최근들어 빌딩의 공조기계를 중심으로 급속히 보급되고 있다.

진동대책은 소음인 경우와 똑같이 진동이 증대하는데 고조파성분 특히 저차(기본주파수의 5차, 7차)의 성분에 의해 발생하는 맥동토크가 축계(軸系)에 진동을 주며 축계의 기본주파수와 일치하여 큰 진동을 발생하는 것이 있다.

진동저감대책으로는 ① 인버터출력전압(V/f비)을 내린다, ② 기계구조부의 강성(剛性)을 강화한다, ③ 접속 커플링을 탄성체로 한다, ④ 인버터출력에 교류리액터를 삽입한다, ⑤ PWM캐리어주파수를 변경한다 등을 들 수 있다.

인버터를 구동하는 경우 저속에서 고속까지 가변속운전을 하기 위하여 정격주파수 이외의 주파수로서 부하기계 등의 공진이 발생하는 경우가 있다. 이 경우 공진주파수로서 연속해서 운전하는 것처럼 특정주파수를 점프해서 운전하는 것이 유효하다.

열설계(熱設計)는 일반적으로 정격운전시 약 95%로서 입력의 약 4~6%가 열손실로서 발생하여 수납반(收納盤)내의 온도를 상승시킨다. 이를 위하여 수납반 설계시 수납반내의 냉각에 대해 충분한 고려를 하여야 할 것이다.

이상과 같이 인버터의 최근 기술동향을 대략적으로 기술하였다. 최근에는 우수한 고속스위칭 소자가 개발되어 이용되고 있으나 앞으로 고조파성분을 억제하기 위한 필터설계와 소음, 진동, 발열 등의 억제대책에 대하여 체계적인 연구가 필요할 것이다. ■