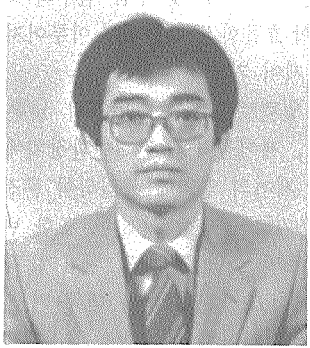


전력전자 및 유도 전동기 가변속 기술동향



금성산전 연구소
전력전자 연구실장
최 경 수

1. 서언

전력전자란 전력용 반도체로 구성된 파워회로와 마이크로 일렉트로닉스 소자로 이루어진 제어회로에 의해 전기 에너지를 자유롭게 변환, 제어하는 전력 변환기술 분야로 정의할 수 있다.

70년대 2차예의 오일쇼크를 겪으며 인식된 에너지 사정의 긴박성은 에너지 절약 및 공장자동화의 측면에서 전력전자 기술의 급속한 발전을 유도 했으며 또한 싸이리스터, 파워 트랜지스터등의 전력용 반도체의 발달과 고속 연산 및 데이터 처리 기능을 갖는 마이크로 컴퓨터 및 VLSI의 실용화에 의해 경쟁력을 갖춘 전력전자 제품의 생산이 촉진 되었다.

본란에서는 먼저 반도체 전력변환에 대하여 알아 보고 그 중요한 응용분야의 하나인 유도 전동기 속도제어의 기술 동향에 대하여 언급하겠다.

2. 반도체 전력 변환

미국의 Newell은 그림1에 표시한 바와 같이 파워

(회전기, 정지기)와 일렉트로닉스(회로, 디바이스) 그리고 이것들을 결합하는 컨트롤러의 기본 기술상에 전력변환이 존재한다고 정의하였다.

전력변환(전력전자)의 기원은 1957년 미국의 제너럴 일렉트릭에서 싸이리스터를 최초로 개발 소개한 시점으로 여겨지는데 싸이리스터의 발명 이전까지는 전력변환의 방식으로 MG 방식 혹은 수은정류기가 사용되어 왔으나 짧은 lifecycle, 유지보수의 어려움, 제품 크기등의 측면에서 많은 문제점을 갖고 있었다.

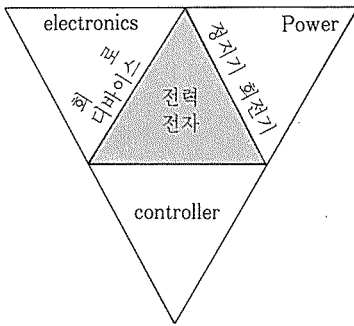


그림1. 전력 전자의 구성 영역

싸이리스터는 이러한 문제점을 해결하였고 철강산업을 위한 스테틱 레오나드 시스템, 교통·수송을 위한 초퍼 제어기 그리고 전력설비에 사용되는 HVDC의 변환기들이 실용화 되기 시작하였다.

70년대의 오일 쇼크는 에너지 절약의 심각성을 일깨워 주었으며 모든 전기 전자 장비의 고효율 운전, 저 전력소비, 고기능을 위한 전력변환 기술개발을 촉진시키게 되었다. 특히 인버터의 기술개발은 AC 전동기의 속도제어를 용이하게 하였고 현재 그 응용 범위는 가정용 에어컨에서 엘리베이터, 철강산업용 rolling machine에 이르기까지 산업 전문분야에 적용되고 있다.

싸이리스터, 파워 트랜지스터, MOSFET, GTO 및 IGBT 등의 전력용 반도체의 발달과 함께 마이크로 컴퓨터로 대표되는 VLSI의 진보 또한 놀라운 것으로서 아날로그 제어기술을 디지털화 시킴으로서 한층 고정도, 빠른 응답성을 갖게하였다. 이러한 전력변환 기술발전의 궁극적인 목표는 컴팩트하고 집적화된 제품을 공급하는데 있으므로 전력변환기의 용

용 분야는 전력설비를 포함 교통, 운수, 가정용기기, 정보, 우주항공, 자동차 산업에까지 다양해 졌으며 따라서 현대사회를 컴퓨터, 정보통신, 신소재등과 함께 전력변환의 시대라고 할 수 있게 되었다.

표1은 이러한 전력전자의 발전 추세 및 응용분야를 나타낸 것이다.

2-1 전력변환 기술의 요구조건

① 에너지 절약 및 자원절약

전력변환에서 에너지 절약을 추구 한다면 효율, 역율의 개선, 반도체 디바이스의 손실 저감, 부하에너지의 전원회생, 시동, 제어시의 손실 저감과 각 동작 시점에서 부하가 실제로 필요로하는 유효 전력분만을 공급하는 변환장치가 요구되며 자원절약의 측면에서는 장치의 소형화, 경량화를 실현하기 위하여 보다 높은 동작 주파수 및 부품 점수의 최소화가 가능하도록 복합 효율화 및 대형화가 이루어져야 한다.

② 디지털 제어 기술

마이크로 일렉트로닉스는 비교적 낮은 코스트로 고도의 판단, 제어능력을 전력변환장치에 부여하였으며 시스템 제어의 영역에 도입되어 운전의 자동화 및 자기진단 기능을 향상 시켰다. 또한 변환 회로에도 적용됨으로써 출력 전압 및 전류가 직접 디지털 제어로 가능해졌고 하드웨어가 대폭 간소화 되었다. 유도전동기 벡터제어와 싸이크로 컨버터의 무효전력 보상제어는 디지털 제어에 의해 가능해진 대표적인 경우이다.

③ 우수한 환경성

반도체 전력변환 장치는 동작원리상 파형 왜곡을 발생시키며, 소음 및 전파장애의 원인이 된다. 따라서 변환장치의 적용분야가 민생, 가정의 영역까지 확대되기 위해서는 우수한 환경성이 필수 요건이다. 이것을 위하여 가청 주파수 대역을 넘는 20KHZ의 변조 주파수를 이용한 인버터나 무효전력 및 고주파를 발생 시키지 않는 변환 회로와 이것을 보상할 수 있는 제어장치의 개발이 요구되고 있다.

2-2 전력변환의 기본방식

전력변환이란 전원과 부하간의 전압, 전류, 주파수(직류 포함), 위상, 상수(相數)가운데 하나 이상을 전력용 반도체 디바이스의 스위칭 동작에 의해 변화

표1. 전력전자의 발전 추세및 응용분야

요구 사항		1960	1970	1980	1990	2000	
		노동력 절감 에너지 절약		소형화 및 집적화 고정도및 빠른 응답성 요구	고효율 에너지 절약 대체에너지 시스템과의 연계		
응용분야 ▲ testing ● 실용화 ○ 개발중 ● 개발계획	자동차			● IC regulator ● direct ignition	○ 전자제어식 Throttle	○ Automatic steering	
	정보통신	● 싸이리스터방식 UPS		● 트랜지스터방식 UPS	● 공진형 전원장치	○ 고주파링크 UPS	○ card-type 컨버터
	가정용기기			● 인버터 에어컨	● 고주파 형광점화	○ Flexible Power supply receptacle	
	전원설비		▲ 주파수변환기	● 싸이리스터방식 HVDC 컨버터	○ GTO방식의역율보상기	○ 고주파	○ 자기소형성디바이스 방식의 HVDC컨버터
	교통·운수		● 초퍼 제어형	● GTO방식	○ 차세대 고속열차		○ 초전도 MAGLEV
	산업용	● static leonard	● 에너지 절약용 인버터	● 디지털 제어형 static leonard	● Vector 제어형 싸이크로 콘버터		○ DC link-less 인버터

표2. 전력 변환 회로의 종류

출력	입력(전원)	DC	AC	
	DC		직류 초퍼 직류간접변환	정류 회로 직류전동기제어
AC		인버터 무정전 전원장치	교류전력 조정	교류전력 조정회로
			주파수 변환 상수(相數) 변환	싸이크로 컨버터 교류간접 변환 회로

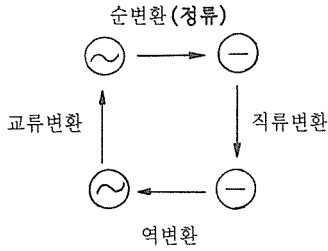


그림 2. 전력 변환의 종류

시키는 것을 의미하며 기본방식은 직류 전력과 교류 전력간의 에너지 교환으로 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 표2는 각각의 경우 변환회로의 종류를 나타내고 있다.

① 직류변환

교류를 개입하지 않고 변환을 행하는 직류초퍼와 교류를 개입하여 변환을 행하는 직류 간접변환이 있다. 직류초퍼는 그림 3-a와 같이 트랜지스터등의 반도체 스위치를 이용 회로의 온, 오프시간을 제어 평균전력을 조정하며 직류간접 변환회로는 그림 3-b와 같이 반도체 스위치 Q와 변압기 Tr 및 정류회로로 구성된다. 이것은 플라이백형 회로로 트랜지스터 Q를 온하여 변압기 1차측에 여자 에너지를 축적하고 오프하여 축적된 에너지를 부하에 공급하게된다.

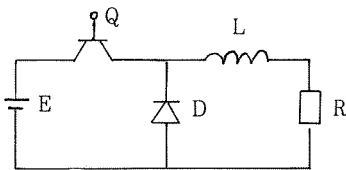


그림 3-a 직류 초퍼 회로

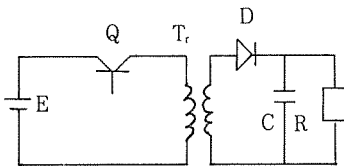


그림 3-b 직류간접 변환 회로

② 순변환

교류전력을 직류전력으로 변환하는것을 순변환(정류)라하며 이 회로를 순변환 회로 혹은 정류회로라 부른다. 사이리스터등 온(ON)상태 제어가 가능한 소자를 사용하면 위상제어에 의해 전압 조정도 가능하다 다이오드와 같은 소자를 사용하면 전압제어는 불가능 하게된다.

③ 역변환

직류로부터 교류로 전력을 변환하는 것을 역변환, 이 회로를 인버터라 한다.

인버터는 전류(轉流)전압이 역변환 회로의 구성요소로 부터 공급되는 자력식 및 전류(轉流)전압을 외부로부터 공급받는 타력식 인버터가 있다. 타력식 인버터는 다시 전류전압의 공급원에 따라 전원전류형과 부하전류형으로 구분된다.

④ 교류변환

교류전력 조정회로는 그림4에 표시한 바와같이 싸이리스터 역병렬 접속으로 구성된 양방향 반도체 스위치에 의해 교류전력을 제어하는 것으로 부하에 가해지는 전력의 주파수는 전원과 같게 된다. 그림5는

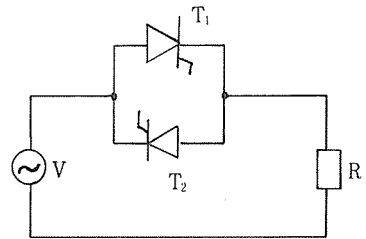
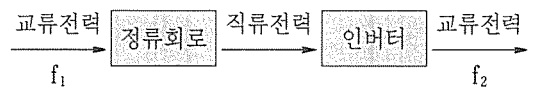


그림 4. 교류 전력 조정 회로



a) 사이크로 컨버터



b) 교류 간접 변환회로

그림5 주파수 변환회로

주파수 변환 회로를 나타내고 있으며 하나의 회로로 직접 주파수를 변환 시키는 싸이크로 컨버터와 정류 회로와 인버터의 조합에 의해 주파수를 변환시키는 교류간접변환 회로가 있어 이때는 상수(相數)변환도 동시에 행할수 있다.

2-3 전력변환 장치의 기본기술

전력변환 장치에 관한 기본기술은 다음의 3가지로 볼수 있다.

① 전력용 반도체

전력용 반도체 소자의 발전은 전력변환기의 발달을 가속화 시켰으며 이것은 다시 반도체 디바이스의 보다 개량된 형태로의 발전을 촉진시키고 있다. 그림6은 파워 반도체 소자의 종류, 동작가능 주파수 및 용량범위등을 중심으로한 발전추세를 나타낸 것이다. 70년대까지는 싸이리스터 및 바이폴라 트랜지스터가 주요한 역할을 하였으며 MOSFET는 용량, 가격면에서 용도가 제한적 이었다. 대전력화가 가능한 싸이리스터가 HVDC 송전용 전력변환기에 까지 적용되었으며 스위칭 주파수 측면에서 보면 1~2KHZ

까지 사용가능한 바이폴라 트랜지스터가 주로 적용되었다. 80년대에 들어서의 파워 디바이스의 진보는 다음과 같다.

- a. 파워 MOSFET의 온(on)저항 감소 및 용량확대
 - b. GTO 싸이리스터의 고압, 대전류화
 - c. IGBT와같은 바이폴라, MOS 복합형 디바이스의 실용화
 - d. 복합형 파워IC의 용량증대 및 응용범위 확장
- 스위칭속도의 고속화, 안전동작영역의 확대 그리고 간편한 구동방법 때문에 FET가 고속 스위칭 레출레이터 및 고정도 전동기 제어장치에 광범위하게 사용되기 시작하였으며 GTO싸이리스터는 일반 싸이리스터에 비해 전력변환장치의 사이즈축소및 효율향상에 절대우리하다. IGBT는 바이폴라 트랜지스터가 MOSFET의 장점만을 취하여 개발된 제품으로 대전력화 및 스위칭동작 주파수를 높일수 있다. 즉 IGBT는 가청 주파수 이상의 스위칭이 가능하므로 노이즈의 대폭적 감소가 가능하며 전력 변환기의 보다 우수한 출력과형 제어가 가능하다. 최근에는 M-

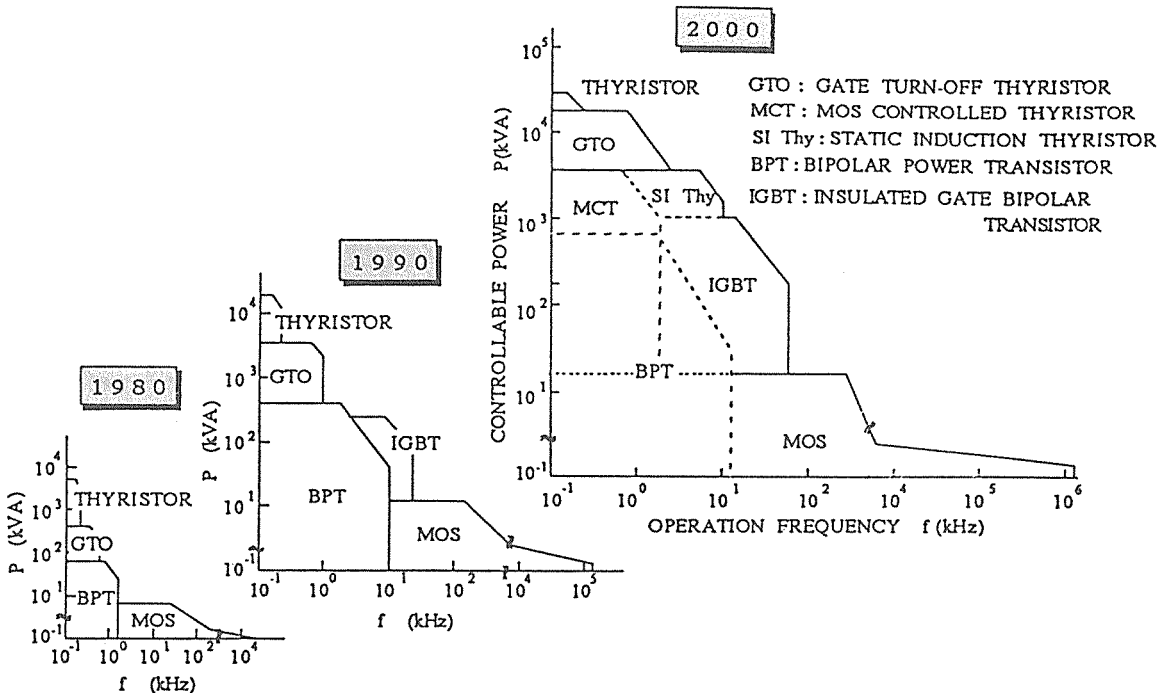


그림6 전력용 반도체 소자의 발전 추세

OSFET와 싸이리스터의 복합형인 MCT도 개발되고 있다. 장래에는 GTO 싸이리스터가 대형 전력변환 부분에서도 싸이리스터를 앞설것으로 예상되며 또한 MCT 및 SI싸이리스터와 같이 간편한 구동 방식을 갖는 소자가 실용화 될 것이다. 물론 IGBT 및 MOSFET도 용량범위 및 스위칭 능력이 더욱 향상됨으로써 바이폴라 트랜지스터는 점차 이러한 디바이스로 대체될 것이 분명하다.

파워IC는 전자의 개별 소자와는 다른 것으로 하나의 칩(chip)상에 여러가지의 제어 소자들까지 종합한 것으로서 장치의 소형화 및 신뢰성 향상 그리고 제품 코스트 다운 측면에서 광범위하게 쓰일 것으로 예상된다. 현재까지는 소형 전동기 제어장치 및 전

원장치 분야에 일부 적용되고 있다.

② 전력변환부

전력변환부는 크게 전동기 제어장치 및 전원장치로 분류될 수 있으며 주요 연구방향은 크기 및 중량 감소, 효율 및 제어 정도향상, 빠른 응답성 그리고 전압, 전류 혹은 주파수 제어범위 확대이다. 전력변환장치의 크기 및 성능은 전력용 반도체 디바이스의 성능과 밀접한 관계가 있음은 두말할 필요가 없다. 예를들면 범용 인버터는 바이폴라 트랜지스터를 채용함으로써 싸이리스터 방식에 비해 제품크기를 1/3로 축소시킬 수 있었으며 최대 출력 주파수도 60HZ 정도에서 360HZ까지 증대되었다. 물론 IGBT나 FET를 사용하면 출력 주파수는 최대 1KHZ까지도

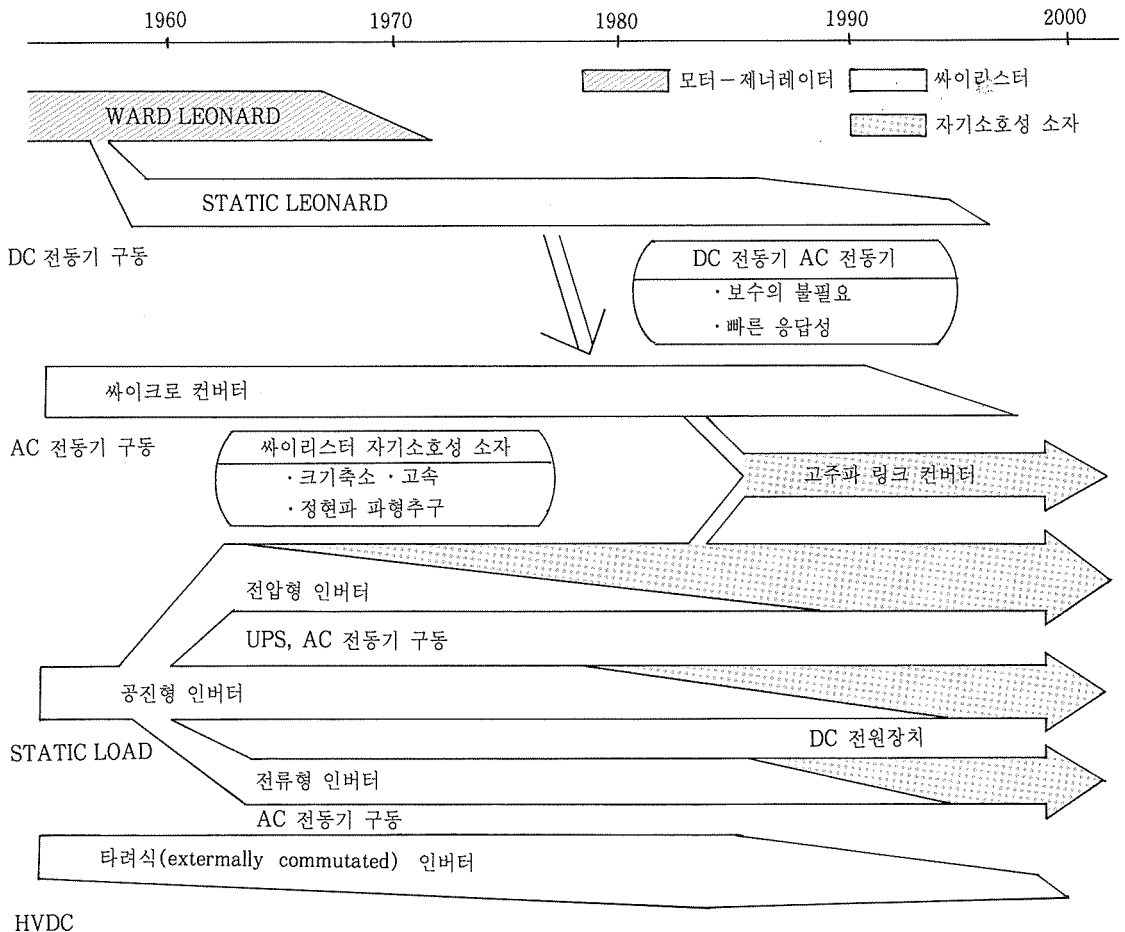


그림7 전력변환 장치의 발전 단계

가능 하게된다.

그림7은 전력변환 장치의 발전단계를 나타내고 있다.

DC전동기는 속도제어의 간편함 때문에 가변속 구동의 주류를 이루어 왔으며 그러한 목적으로 싸이리스터 위상 제어기 혹은 초퍼와 같은 스테틱 레오나드 장비가 광범위하게 사용되어 왔다. 그러나 DC전동기는 커뮤테이터와 브러쉬의 정기적인 검사 및 보수를 필요로 하며 고속운전및 대용량화에 문제점이 있기 때문에 현재에는 AC전동기로 교체가 이루어지고 있다. 반면에 AC전동기는 속도제어 측면에서보면 전압, 주파수는 물론이고 위상까지 제어를 요하게 되기 때문에 AC전동기의 속도제어는 한층 복잡해질 수 밖에 없다. AC전동기에 적용되는 대표적인 전력변환 장치로는 싸이크로 컨버터 및 인버터를 꼽을수 있다. 싸이크로 컨버터는 주파수의 변환 정도가 적은 대용량에 주로 적용되고 있으며 대형팬및 시멘트Kiln구동용에 적용 되어왔으며 벡터제어의 도입에 의해 빠른 제어응답 특성도 갖게되어 철강용의 rolling mill에도 사용되고 있다. 그러나 싸이크로 컨버터는 상용전원(모선)의 역률 저하를 일으키며 많은 고조파를 유발 시키기 때문에 이 역시 장애에는 인버터로 점차적으로 교체될 것으로 생각된다.

인버터는 전압형, 전류형의 2가지 형태가 있으며 양쪽 방식이 모두 자기 소호(self-turn off)능력이 있는 파워 디바이스를 사용하고 있으며 무정전 전원 장치 (UPS)및 AC전동기 구동에 주로 적용되고 있는 전압형 인버터는 현재의 전력변환 장치의 대표적 종류이다. 전원으로의 전력 회생이 가능한 전류형 인버터는 철강라인의 테이블 구동및 엘리베이터와 같이 빈번한 속도 변화를 요구하는 부분에 에너지 절약의 관점에서 사용되고 있다.

전류(轉流)를 위해서 공진현상을 이용하는 공진형 인버터도 최근에 관심을 끌고 있는데 이러한 인버터는 최초로 유도가열을 위한 스테틱 로우드에 사용되었으며 MOSFET를 사용한 새로운 형태의 공진형 인버터는 MHz까지의 동작도 가능한 단계에 있다. 이러한 전자장치가 적고 고효율을 나타낼수 있는 인버터는 호스트 컴퓨터나 OA기기를 위한 DC 전원장치 등에 광범위하게 적용될 것으로 기대되며 일부 상품화 단계에 접어들고 있다.

③ 제어기술

진보된 제어기술은 전력변환기의 효율 및 성능향상에 필수적인 요소 기술이다.

초기에는 프로세스(process)제어에 이용되던 PID 제어가 주로 사용될 수 밖에 없었으나 온도에 따른 드리프트 및 많은 회로상의 조정요소의 단점 때문에 디지털 제어로 넘어가게 되었다. 이러한 의미에서 마이크로 컴퓨터의 출현은 전력변환기의 발전에 새로운 장을 열었고 현재 다음 세대로 개발이 일부 완료된 ASIC마이크로 컴퓨터는 생산성, 제어 성능의 향상뿐 아니라 사용자의 특수 사양까지 만족 시킬수 있게 되었다. 또한 고속연산이 가능한 DSP의 출현은 초기의 마이크로 컴퓨터로는 불가능 했던 현대 제어이론의 적용을 가능하게 하였으며 최근에는 인텔리전트 AI 제어도 개발 적용되고 있다. Fuzzy 제어 시스템은 그 대표적인 예로 전동차의 착상제어 시스템 및 철강라인의 최적 속도제어에 이미 적용되고 있다.

2-4. 응용분야

① 일반산업 분야

전동력 응용 영역에는 반도체 전력변환 회로를 이용한 교류기의 가변구동이 넓게 사용된다. 대형 송풍기등 일정속도의 운전을 하지 않고 부하의 상태에 의해 가변속으로 운전 에너지 절약을 꾀하는 경우와 압연기 구동등 종래의 직류전동기 대체로 사용되는 경우가 있다. 후자의 경우는 교류전동기 벡터제어기술의 확립에 따라 직류전동기에 맞먹는 우수한 제어성을 나타내기 위하여 대용량의 경우는 싸이크로 컨버터를 사용한다. 산업용 로봇등 메카트로닉스 분야에도 교류 전동기 서보가 사용되며 고속의 제어성을 갖는 소형 자려식 PWM 인버터가 실용화 되어 있다. 유도가열의 경우 고주파용으로 부하전류형 인버터가 사용되며 고속 싸이리스터 및 GATT에 의해 수 KHZ에서 수십KHZ의 범위에 사용 되고 있다.

② 교통·수송분야

직류초퍼는 연속제어와 대폭적인 에너지 절감이 가능한 철도 차량에 적용되고 있으며 교류전동기를 이용한 구동 방식은 보수성 및 차량의 무게감소의 측면에서 최근 급격히 추진되고 있다. 국내에서도 수도권 지하철에는 인버터 방식이 검토되고 있으며

고속전철에도 적용 가능하다. 또한 장래의 교통기관으로 기대되는 자기 부상식 철도와 리니어 모터 구동 철도에는 대용량의 교류 변환이 필요하게되며 무효전력 보상을 위한 싸이크로 컨버터와 자려식 인버터의 개발이 진행중에 있다. 엘리베이터 분야 역시 종래의 직류전동기 대신에 자려식 인버터에 의한 유도전동기 구동이 주류를 이루고 있는 실정이다.

③ 전력설비 분야

광(光)트리거 싸이리스터의 발달과 함께 초고압 전력변환 장치(주파수 변환기)가 일본인 경우(300 MW)실용화 되고 있으며 전원계통을 유효하게 운전하기 위한 계통내의 무효전력 보상장치가 개발되고 있는데 이 장치는 부하변동에 기인하는 전압변동을 방지하기위해 플리커(flicker) 방지 장치로 사용되며 자려식 인버터에 의해 계통을 보다 적극적으로 보호하기위해 역률 제어 및 고조파 제거기능을 갖는 액티브 파워필터의 연구도 실용화 단계에 와 있다.

④ 대체 에너지 개발 분야

대체 에너지를 위한 새로운 발전연구는 태양전지 및 연료전지에 의한 직류발전이 주목받고 있으며 2

차 전지의 전력 저장과 마찬가지로 전력계통에도 접속되는 고효율을 갖는 계통선 연결형 인버터가 필요하게 되며 소규모 발전시스템에서는 전원계통에는 연결되지 않는 고효율, 저왜율의 병렬운전이 가능한 독립형 인버터가 요구된다.

⑤ 가전·민생 분야

자려식 인버터에 의한 가변속 운전은 룸에어콘, 냉장고, 팬히터등에 응용되고 있으며 소형 고성능의 전자 전동기는 비데오 테이프 레코드 등의 영상기기에 사용되고 있으며 수십KHZ의 고주파 인버터를 이용 크린 레인지(clean range)형광등의 점등에 이용되고 있다.

⑥ 무정전 전원장치

정보통신 시스템 보급과 함께 양질의 전력을 요구하는 수요가 증가하고 있기 때문에 전원 시스템은 당연히 높은 신뢰성 및 고품질을 요구하게 된다. 수 KVA 용량을 넘는 것은 무정전전원장치(UPS)로서 트랜지스터, GTO, IGBT등 자기 소호성 소자를 사용하고 있으며 수백KW 이하의 소형 스위칭 레조레이터는 수십KHZ로 부터 수백KHZ의 고주파를 이용

표3 인버터 구동의 특징

인버터 구동의 특징	효 과	용 도 예
표준 모터의 속도제어 가능	기 설치된 모터의 속도제어 가능	공조기
연속적인 속도제어 가능	항상 최적의 속도선택 가능	공작기계, 각반기
시동 전류가 작다	전원 설비 용량이 작아도 됨	컴프레사
최고 속도가 전원에 좌우되지 않는다	전원 주파수에 관계없이 최고 속도를 낼수 있으며 주파수에 따른 설계 변경이 필요없다	펌프, 팬, 콘베이어, 기타 산업용 기계전반
모터의 고속화, 소형화 가능	어떠한 가변속 장치로도 실현 불가능한 고속운전이 가능	연삭기, 섬유기계
방폭형에 대응이 쉽다	직류 모타에 비해 방폭 모타가 소형, 저가격으로 설계 가능	약품 기계, 화학 Plant
저속시에도 토크가 출력된다	저속에서 단시간 동안 록(LOCK)하여도 지장없다	정 위치제어 장치
가감속의 기울기를 조정할 수 있다	부하의 미끄러짐을 방지한다	반송기계
농형 모터 사용	모터의 보수가 필요없다	프로세스(Process)라인 차량, 엘리베이터

하여 소형, 경량화를 달성하고 있다.

3. 가변속 구동장치

흔히 인버터로 불리우는 AC전동기 속도제어 장치는 초기에는 에너지 절감 효과를 얻기위해 풍수력 기계(팬, 펌프 블로워등)구동에 적용되었다. 그러나 최근에는 전력 변환장치의 기술 발전과 더불어 그 적용 범위가 FA용 설비에서 산업용 기계설비 그리고 가정용 기기에까지 확대되었다. 표3은 일반적인 인버터 구동의 특징을 나타내고 있으며 표4는 인버터 채용의 목적에 대하여 설명하고 있다. 그러나 아직도 사용자 측면에서 다음과 같은 개선 사항이 요구되고 있다.

- 전동기에서 발생하는 전자소음 저감
 - 토크 맥동 및 저속 운전시 토크 증대
 - DC전동기에 대응할수 있는 속도 제어정도 향상 및 4상한 운전가능
 - 대형 팬, 펌프 구동을 위한 인버터의 대응량화
 - 인버터의 고기능화, 조작의 간편성, 간편한 유지보수 및 상위 기종과의 시스템 인터페이스
- 그림8은 일반적인 전동기 구동의 블럭도이다.

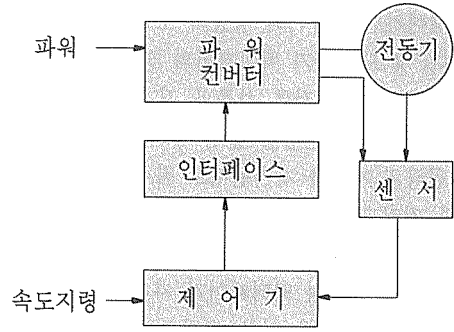


그림8 전동기 구동의 블럭도

3-1 AC 구동의 기술동향

① AC 구동의 제어방식

그림9는 AC 구동을 제어방식 중심으로 분류한 것인데 v/f제어로 대표되는 개루프(open-loop)제어와 벡터제어로 대표되는 폐루프(close-loop) 제어로 구분될수 있다. 폐루프 제어에는 슬립주파수 제어방식도 존재 하는데 현재 차량제어등에 일부 적용되고 있다.

벡터 제어는 전동기에 공급되는 1차전류를 계자(界磁)전류 성분과 전기자(電機子)전류 성분으로 분리하여 계자전류 성분과 독립적으로 전기자 전류 성

표4 가변속 장치 사용목적

사용목적	내 용
에너지절약	팬, 펌프등을 요구 유량에 따라 또는 압출기, 각반기등을 부하상태에 따라 회전수 제어를 함으로써 구동 전력을 절감한다.
자동화	반송기의 정지 위치정도 향상, 라인(line)속도의 제어정도 향상, 피드백 제어에 의한 유량 제어에 의해 자동화 실현
제품 품질 향상	제조에 최적인 라인속도 실현, 가공에 최적한 속도제어, 라인내의 장치간의 속도 협조에 의해 제품 품질 향상
생산성 향상	제품 품종에 맞는 최적의 속도 및 가감속도를 실현, 라인 속도의 증속에 의해 생산성 향상
보수성 향상	기계에 무리를 주지않는 시동, 정지, 무부하시 저속운전에 의해 설비수명 연장
설비의 소형화	고속화에 의한 설비의 소형화 및 기계사양의 여유분 삭제로 소형화 실현
승차감 향상	엘리베이터, 전철등에서 부드러운 가속, 감속으로 승차감 향상
환경의 쾌적성	공조설비등에서 온, 오프제어 대신 연속으로 공조능력을 제어함으로 쾌적한 공조 시스템 유지
저 소음화	부하에 맞게 회전수를 저하시킴으로 기계 소음을 저감한다.

분을 제어하면 직류기와 동등의 토크 제어가 가능하게 된다. 유도 전동기 벡터제어의 경우 전압 전류 방정식으로부터 계자전류 성분과 전기자 전류 성분을 비간섭 제어하는 간접형(슬립 주파수 제어형)과 전동기 공극의 자속을 자기센서로 직접검출하거나 1차 전류와 전압으로부터 계산을 통하여 얻은후 1차 전류를 제어하는 직접형(자계orientation)이 있는데 슬립 주파수 제어형 벡터제어가 자속의 연산이 용이하고 디지털 제어에 의한 고정도 연산이 가능하기 때문에 주로 사용되고 있다.

동기 전동기의 경우 자극(磁極)축을 기준으로 하는 벡터제어와 1차 자속을 기준으로 하는 방법이 있는데 후자의 방법이 고역율 운전에 유리하다. 싸이리스터 전동기 혹은 브리시레스 DC전동기는 동기 전동기에 자극 위치검출기를 부착하고 여기서 얻는 신호에 의해 주파수 변환기의 스위칭 시간을 제어하게 되는데 기본 특성은 직류기와 유사하게 되어 전

기자 전압으로 회전속도의 조절이 가능하다.

②AC 구동의 용도별 기술동향

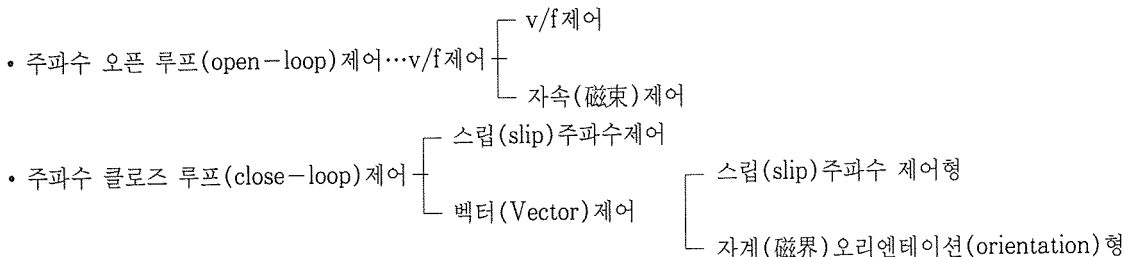
표5는 적용 분야별로 인버터의 기술동향을 나타낸 것이며 그림10은 인버터의 기본 형태를 보여주고 있다.

a) 범용 인버터

전동기 공극내의 자속을 일정하게 유지 정토크 특성을 얻기 위하여 주파수의 변화와 함께 단자 전압도 변화시키는 v/f제어가 사용되고 있다. 용도는 에너지 절약을 위한 펜 블러워등의 단순 가변속제어에서 공작기계 주축구동, 콘베이어의 위치제어등의 고정도 제어에까지 사용되며 가변속 범위의 확대를 위해 자속제어를 통한 저속시의 토크특성 개선 순시전류제한 기능 부가에 의한 부하 급변시 안정된 운전 등이 실현되고 있으며 상위 제어기와의 연계를 위한 통신기능의 내장도 요구되고 있다.

b) 일반 산업용 인버터

〈유도 전동기〉



〈동기 전동기〉

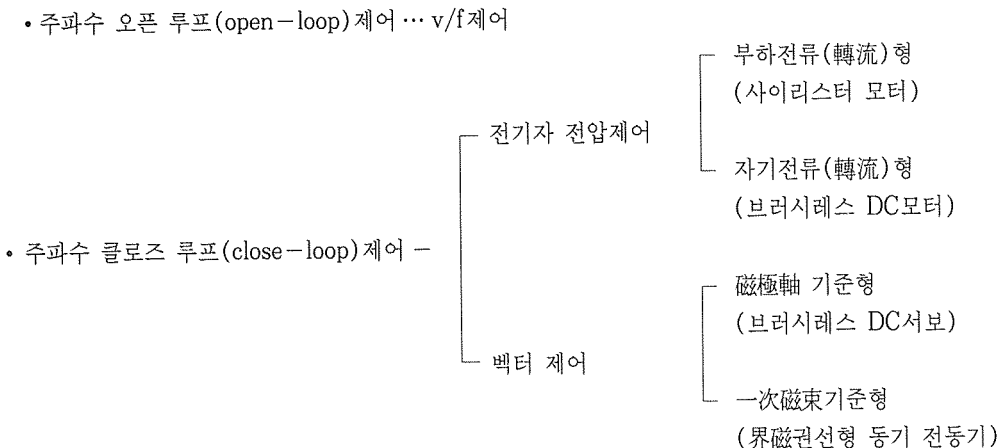


그림9 전력변환기로 구동되는 교류전동기의 제어방식

속도 센서를 이용하지 않고 출력전압, 전류로 부터 연산에 의해 구한 토크전류 및 자속에 의해 속도를 추정하여 벡터제어를 행하는 센서리스 속도제어 시스템이 최근 급속히 실용화 단계에 와 있다. 또한 대용량의 고속구동이 요구되며 출력 변압기를 이용

하지 않고 컨버터의 출력과형을 개선하기 위한 3-step 인버터의 개발과 GTO를 이용하는 PWM인버터의 개발이 적극적으로 진행되고 있다.

c) 철강, 제지라인용 인버터

압연mill주 전동기로는 유도전동기 보다 역율1 제어가 가능한 동기전동기가 적용되고 있으며 싸이크로 컨버터는 출력 주파수의 한계때문에 전동기 용량이 1,000~10,000KW, 회전수 1500rpm이하에 적용되며 그 이상의 고속용도에는 싸이리스터 모터가 또 400~1000KW의 영역은 종래에는 전류형 인버터가 적용 되어왔으나 향후에는 제어성능이 우수한 전압형 인버터가 사용될 것으로 기대되며 GTO에 의한 PWM인버터가 검토되고 있다.

d) 엘리베이터

엘리베이터 분야에도 전력전자 및 마이크로 일렉트로닉스의 진보와 에너지 절약의 요구에 따라 아날로그 제어로부터 디지털 제어로 또 전동기 구동시스템은 MG를 사용한 Ward-Leonard로부터 싸이리스터-Leonard방식으로 다시 인버터를 채용하는 VVVF 방식으로 진보되었다. 트랜지스터를 사용하

인버터

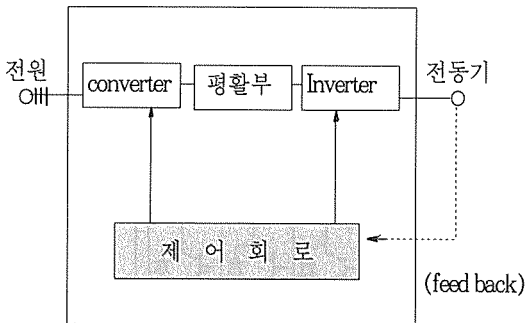


그림10 인버터의 기본 구성

표5 AC 구동기술 동향

기종	제어방식	용량(KW)	속도응답	기술동향	적 용 기 술
범용 인버터	V/F제어	0.3~220	-	무소음화 저속시 토크특성 개선 Trip-less화	<ul style="list-style-type: none"> IGBT에 의한 고주파 PWM 자속(滋束) 제어 전류제한 기능
일반산업용 인버터	V/F제어 Vector 제어	3.7~10,000	10~30 rad/sec (vector제어)	무 보수화 대용량·고속구 동	<ul style="list-style-type: none"> 속도 sensor-less 3step 인버터에 의한 직접 고압 구동 GTO에 의한 PWM 인버터
철강, 제지 line	Vector제어 V/F제어	10 ~ 10,000	30 ~ 60rad/sec (Vector 제어)	대용량화 고역율화	<ul style="list-style-type: none"> GTO에 의한 PWM 인버터 싸이크로 컨버터 동기전동기 구동
엘리베이터	Vector제어	2.2~100	수 rad/sec	토크리플저감 고 역율화 저 소음화	<ul style="list-style-type: none"> IGBT에 의한 고주파 PWM 인버터 고역율 컨버터

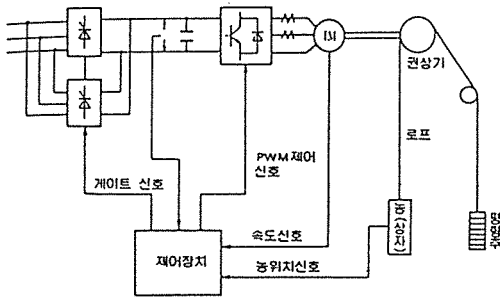


그림11 엘리베이터용 인버터의 구성

압을 제어하는 방법이 고려될 수 있으며 이에따라 저주파 영역에서의 토크특성 개선 및 데드타임에 의한 전류 불안정 현상의 해결이 가능 원활한 가감속 운전이 가능할 것으로 기대된다.

그림12는 이러한 방식의 인버터로 운전주파수 W_1 과 자화전류 $i\delta$ 에 해당하는 W_1^* 와 $i\delta^*$ 가 주어지고 전류 변환기에 의해 검출된 출력전류를 여자전류 $i\delta$ 와 토크전류 i_r 로 변환 제어기에 주어지게된다. 본 방식에서는 1차전압 V_r 와 $V\delta$ 가 1차저항 및 리액턴스에 영

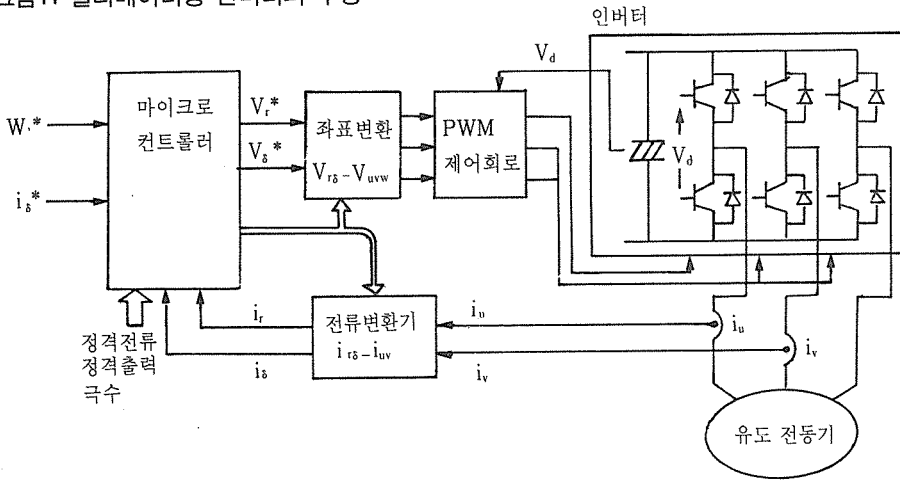


그림 12. V/f제어의 특성개선

턴 인버터 부분은 IGBT를 이용 변조주파수를 10 KHZ이상 사용함으로써 전동기에서 발생하는 소음을 저감하며 또한 토크리플의 최소화로 승차감을 향상 시키고 있다. 엘리베이터는 특성상 가감속이 빈번히 발생하기 때문에 부하로부터 발생하는 회생 에너지를 전원측에 반환할 수 있는 컨버터 제어는 에너지절감 및 역율제어에 의한 전원설비 용량감소의 측면에서 매우 중요시 되고 있다. 그림11은 엘리베이터용 인버터의 구성을 나타내고 있다.

3-2 AC 구동의 현황과 전망

앞절에서는 용도에 따른 AC 구동기술에 관하여 설명 하였는데 본절에서는 특히 주목되는 몇가지 AC 구동기술의 현황과 전망에 대하여 알아보겠다.

① 범용 인버터의 특성개선

v/f제어가 적용되는 범용 인버터는 성능 향상을 위해 전동기의 자화 및 토크전류를 검출하여 1차 전

향없이 자화전류 $i\delta$ 에 의해 주어지기 때문에 부하상태와 운전주파수에 관계없이 일정한 공극자속을 유지할수 있으므로 양호한 운전특성을 얻을 수 있다.

② PWM 제어와 다중화(多重化)

인버터는 PWM제어 및 다중화의 개선에 의해 고성능화 대응량화가 가능한데 PWM방식은 종래부터 삼각파 비교방식이 사용되어 왔으며 다중화 하는 경우는 캐리어인 삼각파를 다상화하여 고조파를 저감하는 방식이 실용화 되어 있다.

그러나 최근에는 인버터 각상 및 각암(arm)소자의 스위칭 상태보다는 전동기 내부에 발생하는 공간전압 벡터에 주목하여 전압벡터를 발생하는 스위칭 패턴 및 발생시간을 제어하는 전압벡터 PWM방식이 실용화 되고 있다. 이 방식의 특징은 전동기의 속도, 토크등을 제어하면서 다른 제어양(스위칭·횟수, 전류리플, 전력손실)등을 최소화 할 수 있다는 것이다.

표6 인버터의 요소 기술과 기술개발의 효과

기술 구분	기술 항목	효과
전력용 반도체 소자	제조기술, 적용기술(구동 및 보호)	고내압, 대용량, 소형화, 고신뢰성
제어기술	디지털 제어, PWM제어, 벡터제어, 현대제어이론 적용	고기능화, 고성능화
마이크로 일렉트로닉스	Digital Signal Processor의 도입, 게이트 어레이화	고정도화, 고집적화
전동기 기술	절연, 냉각기술 고속화 기술	고성능화, 적용분야 확대
센서 기술	전압, 전류, 속도, 위치등의 검출 현대제어이론에 의한 상태량 관측	고정도화, 고성능화 고신뢰화
전력변환기술	전원회생, 다중화기술, 저 무효전력 변환 고조파 저감	고역율·효율화, 대용량화
인버터 적용기술	시스템 연계기술, 주변기기 개발, 전원 고조파 및 전파장애 저감	납기단축, 고기능화, 고품질화

다중화의 경우는 출력 변압기를 사용하지 않는 3-step 인버터에 관한 연구가 진행 중이다. 또한 트랜지스터에 비해 대용량화가 용이한 GTO 인버터에 대해서도 PWM화 다중화에 의한 고성능, 대용량화가 진전될 것이다.

③ 벡터제어

인버터 싸이크로 컨버터에 적용되는 유도전동기 벡터제어 방식은 고성능 가변속제어의 실현이 가능하여 널리 보급되어왔으며 최근 DSP의 도입에 의해 한층 안정도가 높고 시스템 구성도 간단한 형태로 발전되고 있다. 현재까지는 전류모델형인 슬립주파수 제어형이 실용화 되어있는데 전동기 정수의 변화 및 오차에 따라 실자속에 대한 연산오차가 발생 토크진동 및 출력저감 등의 문제점이 있는데, 전동기의 온도를 검출하여 연산에 이용함으로써 오차를 보정하고 있다. 벡터제어는 전동기 정수의 정확한 설정이 매우 중요한데 이러한 문제의 해결을 위해 전동기 정수변화의 영향이 적은 전압형 제어방식 벡터제어나 현대제어이론을 이용 전동기 정수값을 자동

조정 하는 방식 그리고 오프라인 방식으로 전동기 정수를 측정 사용하는 방법들이 연구되고 있다. 표6은 AC 구동을 위한 기본적인 요소기술 및 기술개발 방향 및 효과에 대하여 나타내고 있다.

4. 결론

전력전자를 구성하고있는 기본 기술들은 계속 발전해가고 있으며 전력전자의 다양성에 비추어 볼때 새로운 분야로의 응용이 계속될 것이며 이제는 모든 시스템에 없어서는 안될 핵심 기술의 한 분야로 인식 되고있다. 전원설비, 운송분야, 자동차, 가정용기기 그리고 제조업분야에서 에너지 절약 측면에서 큰 역할을 하고 있으며 연료전지나 태양광 발전시스템 등과 같은 새로운 에너지 분야에도 필수적인 요소로 기여할 것이다. 향후도 전력전자는 핵심기술로 발전을 계속할 것이며 모든 인류에게 보다 편리하고 안전한 생활환경을 제공할 것이다.