

유도전동기 구동을 위한 고압 대용량 인버터

**박선순 *정지준 *김왕문 °유효열 °성환호 °조규형
*코오롱 엔지니어링(주) °한국과학기술원

High Voltage Large Power Inverter for Induction Motor Drive

**S.S. Park, *J.J. Jung, *W.M. Kim, °H.Y. Liu, °H.H. Seong, °G.H. Cho
*KOLON ENG. °KAIST

ABSTRACT

From a point of view in energy saving and improvement of productivity, inverter for large power induction motor drive is very important.

In this thesis, we developed high voltage inverter for large power induction motor drive. We experimented the inverter with R-L series load, successfully, and are going to do the field test in the real plant.

1. 서론

최근 전력전자기술은 전력용 반도체소자와 Micro-Electronics의 개발과 발전에 힘입어 그 용량이 증대되고, 크기는 소형화되며, 성능은 고기능화 되어가고 있다. 또한 일반 산업계는 다양한 전력형태를 요구하게 되어 그 발전속도가 더욱 빨라지고 있다.

특히 가변속에 의한 구동방법은 에너지 문제가 크게 대두된 이후로 그 전력용량이 크게 증가되어 전 산업분야에 걸쳐서 사용되고 있다. 더구나 주목할 만한 것은 종래에는 고정속도 응용 분야에까지 에너지 절감이나 생산성의 향상을 위하여 가변속 구동장치가 적용되고 있다는 것이다.

최근 전력전자기술의 응용범위가 확대되어 중전 기기산업의 구조를 급히 변화시키고 있는 한편, 에너지 절약과 생산성 제고의 측면에서 대용량 교류전동기 구동을 위한 인버터에 관한 기술증대가 시급한 시점에 와 있다.

2. 전체 시스템의 구성

전력회로는 크게 3상 위상정류기(Phase Controlled Rectifier : PCR)부, 직류측 고조파 필터부, 그리고 인버터부로 구분된다. 그림 2.1에 고압인버터의 전체 시스템 블럭도를 보였다.

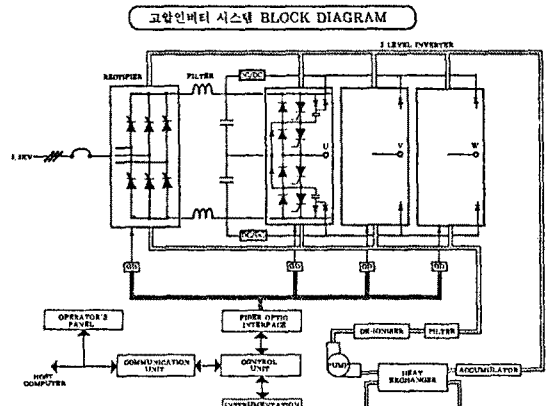


그림 2.1 고압인버터 시스템 블럭도

2.1 PCR (Phase Controlled Rectifier)

Rectifier Unit은 전체 전원을 개폐하는 VCB와 DC-Link전압을 조정하기 위한 PCR, GTO Inverter Unit에 과전류가 흐르는 경우 Inverter Unit을 보호하기 위한 Crowbar로 구성된다. 여기서 PCR은 시동시 직류 정류 캐패시터에 급격히 충전될때의 Surge Current, 전압 Spike 등의 발생에 의한 소자의 충격을 최소화하고 시스템을 안정되게 운전할 수 있도록 Soft Starting을 하기위해 사용하였다. 그림 2.2에서와 같이 인버터 입력에 3상 PCR이 사

용되는데 3개의 thyristor가 직렬로 연결되어서 1개의 스위칭 동작을 한다.

PCR 제어기는 그림 2.3에서와 같이 80C196KC μ -Controller, zero-crossing detector, EPROM과 gate logic circuit등으로 구성된다.

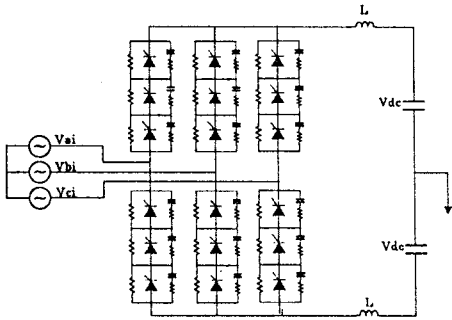


그림 2.2 3상 PCR의 전체회로도

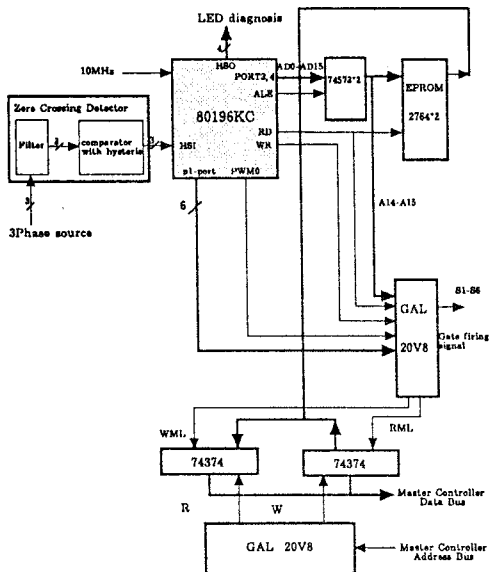


그림 2.3 PCR 제어기의 구성도

2.2 GTO INVERTER UNIT

GTO Inverter Unit 개발을 위한 요소기술로서 GTO 및 Diode Stack 조립, GTO Gate Driver 개발, Snubber 설계, Snubber Energy 회생 회로등이 있다.

1) Power Unit

본 과제에서 개발한 대용량 GTO Gate Driver의 구성은 그림 2.4에서 보이듯이 3개의

주요부분으로 구성된다. Control Unit은 Main Controller로부터 GTO의 Turn-On/Turn-Off 신호를 받아서 그림 2.5의 Gate 전류파형을 얻을 수 있도록 Power Unit의 MOSFET(O,O,O)를 차례로 On/Off 하는 MOSFET Gate Signal을 내어준다. 그리고, GTO를 보호하기 위한 보호회로와 GTO의 Turn-Off failure를 검출하고 SMPS로부터 Power failure를 받아서 Gate Driver Fault 신호를 Main Controller로 feedback 해주는 기능을 가지고 있다.

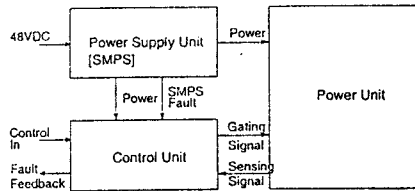


그림 2.4 GTO Gate Driver의 구성

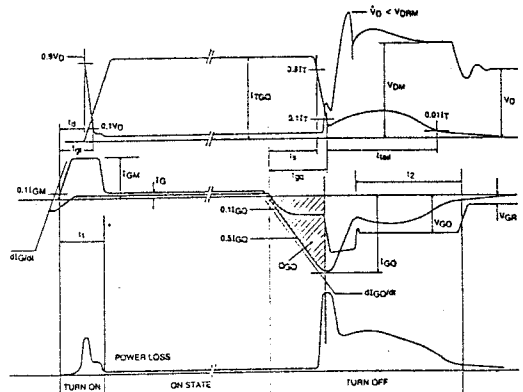


그림 2.5 GTO의 스위칭 특성

2) 회생 스너버

Westcode 사의 WG10045의 dv/dt 와 di/dt 정격은 각각 1800 V/ μ s 와 600 A/ μ s 이고 상전류의 최대치는 278 A가 된다. 전류 ripple 과 마진을 고려하여 상전류의 최대치를 300 A 로 하여 설계하였다. 최대 dv/dt 는 상전류의 최대치와 $L_s - C_s$ 의 공진에 의해서 결정된다. 최대 dv/dt 값을 마진을 두어 300 V/ μ s 정도로 하면 L_s 는 2 μ F 가 된다. 최대 di/dt 값은 DC-Link 전압과 L_s 값에 의해서 주어진다. 역시 최대 di/dt 값을 마진을 두어 100 A/ μ s 정도

로 하면 L_s 는 24 μF 가 된다. 스너버 에너지를 회생하기 위한 캐패시터 C_s 는 스위칭 주파수와 전압 ripple를 고려하여 정하였다. L_s 는 매우 큰 peak성 전류가 흐르기 때문에 공심으로 설계하였으며, C_s 는 Stray inductance가 매우 작은 것을 사용하였다.

3) 스너버 에너지 회생을 위한 DC/DC 컨버터

본 과제에서 채택한 DC/DC 컨버터 회로방식은 영전압 스위칭 풀 브리지 PWM 컨버터 (Zero Voltage Switching Full Bridge Converter)이다. 이 회로방식은 일반적인 풀 브리지 컨버터의 변압기에 작은 인덕터를 직렬로 연결하고 스위칭 pole의 Duty를 50%로 일정하게 둔채 그 Phase를 제어함으로써 간단하게 실현시킬 수 있다.

그림 2.6에 주전력 회로의 회로도가 있다. 스위칭 소자로 고속 IGBT (100 A, 1200 V)를 이용했으며, 정류 다이오드로는 고속 다이오드 모듈(60 A, 1200 V, 50 ns)을 이용하였다.

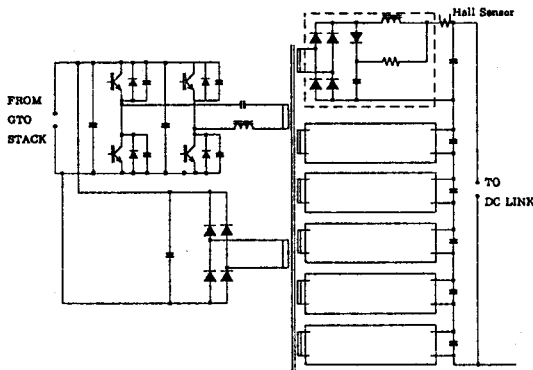
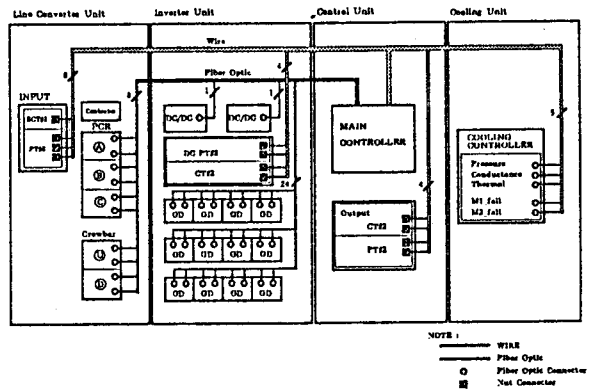


그림 2.6 스너버 에너지 회생을 위한 DC/DC 컨버터

2.3 제어

전체적인 제어는 24 Bit 디지털 신호처리를 μ -Processor가 사용되며 통신과 센서신호 전달, PCR등에 다수의 16 Bit CPU가 사용되고 있다. 그림 2.7은 주 제어를 포함한 전체 인버터내 각 부분의 신호 연결체계를 나타낸다. 각 부분을 기능별로 크게 구분하면 다음과 같다.

- 주 제어기 (Main Controller)
 - 사용자 조작 판넬 (Operating Panel)
 - VCB 상태제어
 - 스너버 에너지 회생을 위한 DC/DC 컨버터
 - Sequence용 반도체 계전기
 - 외부 동작표시용 발광소자 (LED)
 - 냉각장치의 순환펌프 이상 신호
 - 냉각수 전기 전도/온도 이상 신호
 - GTO 점호기 제어/상태 감시 신호
 - 누설 전류/영상 전류 감지기
 - 입력 전류 감지기/ DC-Link 전류 감지
 - 입력 전압/ DC-Link 전압 감지기
- 등이다.



이상의 모든 전기적 부분들은 주 제어기와 신호를 주고 받아야 하는데 비교적 고전압의 전기적 절연이 필요한 GTO 점호용신호 및 이상신호와 스너버 에너지 회생용 DC/DC 컨버터의 이상신호는 주 제어기와 적외선으로 구동되는 광섬유(Optic Fiber)를 통하여 전달된다.

2.4 냉각장치

순환 수류식 냉각장치는 주회로의 전력변환 과정에서 발생하는 열을 외부로 방출시키는 역할을 한다. 순환 냉각장치는 탈이온 증류수와 클리콜의 혼합물로서 0 $^{\circ}\text{C}$ 이하에서도 동작할 수 있다. 냉각장치와 냉각수의 상태는 계속해서 감시장치에 의해 감시되어 안정된 동작을 보장한다.

3. 인버터 출력시험

당사에서 개발한 고압 대용량 인버터는 저항-리액터 직렬 부하를 이용하여 시험하였다. 이 저항-리액터 부하의 전기적 사양은 다음과 같다.

저항 부하

저항치 : 각상 0.4 Ω -- 1.6 Ω 탭변환가변
 전력용량 : 각상 40 KW (총 120 KW)
 절연내압 : 10 KV

리액터

리액턴스 : 각상 10 mH -- 60 mH 탭변환가변
 정격전류 : AC 220 Arms
 절연내압 : 10 KV

그림 3.1은 인버터를 15 Hz 로 운전하는 경우의 U-V 선간전압과 U상 전류파형을 보이며 그림 3.2는 인버터를 30 Hz 운전하는 경우의 U-V 선간전압과 U상 전류이다. 그림 3.1 과 그림 3.2를 비교하면, 그림 3.2에서 3-레벨 출력 특성이 나타나고 있음을 보인다. 그림 3.3 는 인버터를 45 Hz로 운전하는 경우의 U-V 선간 전압과 U상 전류이며, 그림 3.4 에서는 PWM 없이 최대전압을 출력하고 있는 3-레벨 인버터의 출력특성을 보인다. 그림 3.5은 인버터를 30 Hz 로 운전시킬 경우의 U-V, V-W 선간 전압을 보이고 있으며, 그림 3.6 은 인버터를 45 Hz 로 운전하는 경우의 U-V, V-W의 선간 전압 파형이다. 그림 3.7 는 인버터를 정지상태에서 60 Hz 로 가속시키는 경우의 U-V 선간 전압과 U 상 전류의 변화 파형이다.

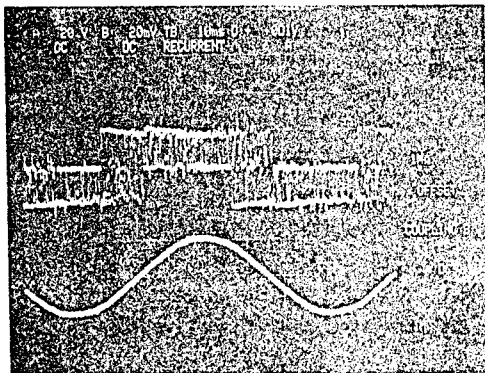


그림 3.1 인버터의 15 Hz 운전시 U-V선간전압과 U상 전류파형

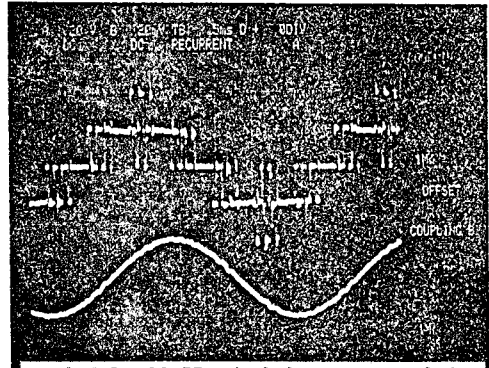


그림 3.2 30 Hz 운전시 V_{UV}, I_U 파형

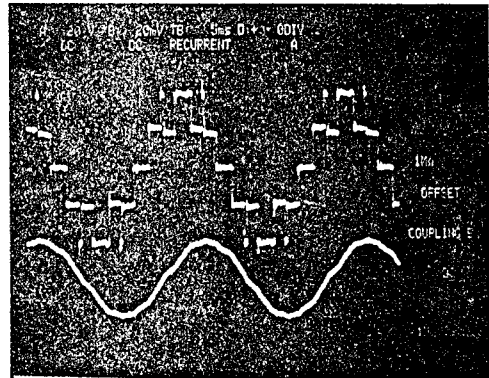


그림 3.3 45 Hz 운전시 V_{UV}, I_U 파형

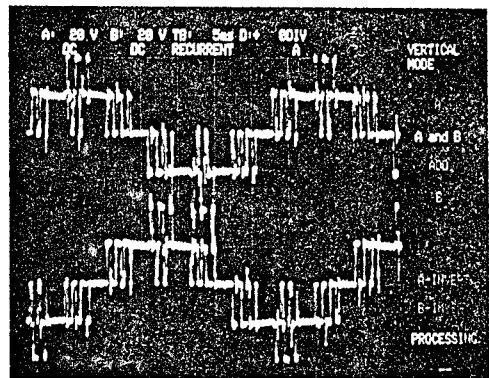


그림 3.4 60 Hz 운전시 V_{UV}, I_U 파형

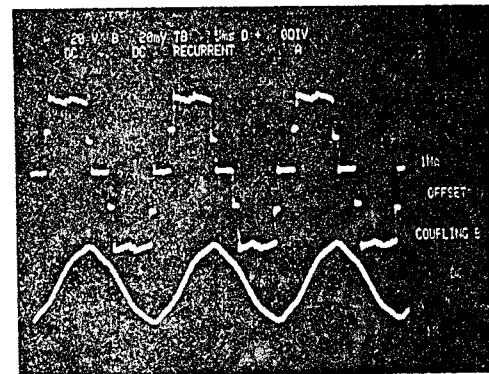


그림 3.5 30 Hz 운전시 V_{UV}, V_{VW} 파형

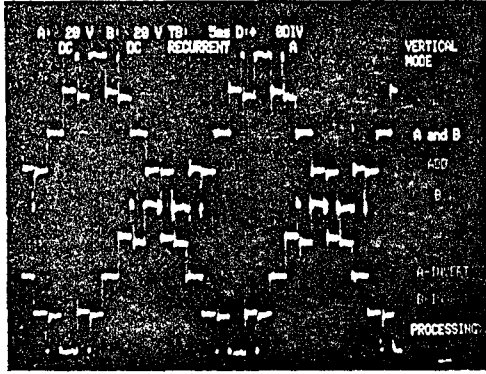


그림 3.6 45 Hz 운전시 V_{uv}, V_{vw} 파형

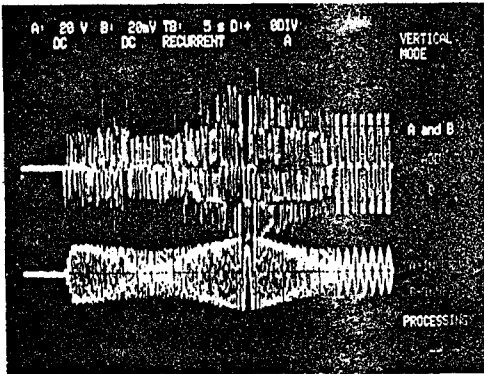


그림 3.7 정지상태에서 60 Hz로 가속시키는 경우 V_{uv}, I_u 파형

4. 결론

당사에서는 고압 대용량 인버터에 관한 요소 기술을 개발하였고 각 요소기술을 기반으로 하여 인버터 시스템을 개발 하였다. 또한 저항-리액터 부하를 이용하여 이 인버터를 시험 완료 하였고, 다음과제로서 실 Plant의 적용 시험을 준비하고 있다.

실 Plant의 적용시험을 거쳐 고압 인버터 요소기술과 함께 주요기술인 실 Plant 적용기술을 확보하려 한다.

참고문헌

- [1] A.Ferraro, "An Overview of Low Loss Snubber Technology for Transistor Converters", IEEE Power Electronics Specialist Conf. Rec., July 14 - 17, 1982, pp. 466 - 477.
- [2] L.Malesani, et. al., "A Synchronized Resonant DC Link Converter for

Soft-Switched PWM", IEEE-IAS Annual Conference Record, 1989, pp. 1037 - 1044.

[3] A. Nabae, I. Takahashi and H. Akagi, "A New Neutral Point Clamped PWM Inverter", IEEE Trans. on IA, Vol. IA-17, No. 5, pp 518 - 523, Sept/Oct 1981.

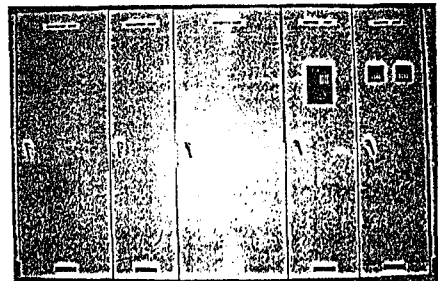
[4] G. Carrara et al. "A New Multi-level PWM Method: A Theoretical Analysis", RESC '90 RECORD, pp. 363 - 371, 1990.

부록

부록 1에 연구 개발품의 사양을 나타내었으며, 부록 2에 5개의 판넬로 구성된 고압 대용량 인버터의 외관을 보인다.

구분	내용	
입력	주공급전원	3상3선식 3300VAC ± 10%
	보조공급전원	3상4선식 VAC 440 ± 10%
	공급전원주파수	50 Hz 또는 60Hz ± 5%
	입력속역률(기준파)	약 1.0
출력	정리출력용량	1 MVA
	출력전압	0 ~ 3300 V
	출력주파수	0 ~ 120 Hz
	정리주파수	30 ~ 120 HZ
	주파수안정도	± 0.01%
	속도제어정도	명령치의 ± 0.01%
	효율	99% 이상 (정리전류 부하)
기타사항	입력부	Phase Controlled Rectifier
	출력부	Neutral Point Clamping Pulse Width Modulation 방식
	연조방식	공간벡터
	전력변환소자	Thyristor, GTO, DIODE
	제어방식	24 bit DSP 를 이용한 고정 DIGITAL 제어
	신호전송	광섬유 전송
냉각방식	수류순환식 (열교환방식)	

부록 1. 연구 개발품 사양



부록 2. 고압 대용량 인버터 외관
좌로부터 Rectifier Unit, DC-Capacitor Unit, Inverter Unit, Control Unit, Cooling Unit