

H-bridge 멀티-레벨 인버터의 파워Cell AVR에 관한 알고리즘

전재현, 윤홍민, 김민극, 이정표, 장동제, 나승호, 권봉현
LS산전 자동화 연구소

Algorithm on the power Cell AVR(Auto Voltage Regulation) of H-Bridge Multi-level Inverter

J.H.Jeon, H.M.Yun, M.K.KIM, J.P.Lee, D.J.Jang, S.H.Na, B.H.Kwon
Automation R&D Center, LS Industrial System Co.,Ltd

ABSTRACT

본 논문은 멀티-레벨 H-bridge 인버터에서 입력 전압 변동에 따른 AVR(Auto Voltage Regulation) 기능을 적용 그 타당성을 제안하였다. 기존의 범용 인버터에서 (V/F)로 구동되는 전동기 시스템에 있어서 인버터에 공급되는 입력 전압은 출력 주파수에 따라 출력 전압 비율을 일정하게 하고 기동에 필요한 전압을 더하여 출력하는 방식이다. 집중 제어 방식의 멀티-레벨 H-bridge 인버터에서는 Cell의 DC-Link 전압을 Master에서 받아들여서 각각의 Cell에 기준 전압값을 지령하게 된다. 그러므로 입력 전압 변동에 따른 DC-Link 전압의 변동이 발생하게 되면 상전압 Unbalance 가 발생하게 되어 부하가 원하는 출력 전압을 낼 수가 없게 된다. 또한 각각의 Cell을 제어하는 Master 제어기가 가지고 있는 문제점을 보완하여 각각의 Cell 제어기 스스로가 AVR을 수행하는 좀더 나은 방법을 제안하였다.

1. 서 론

최근에, 멀티-레벨 인버터는 고압 대용량 인버터 시스템을 위한 토폴로지로서 관심이 증대되고 있다. 멀티-레벨 인버터는 고압 대용량에 적합한 장점을 가지고 있는데, N-레벨인 경우 기존의 범용 인버터인 2-레벨 인버터에 비해 전압을 (N-1)배 증가시킴으로써 전력변환 장치를 대용량화 할 수 있으며 2-레벨 인버터 보다 더 많은 전압 Level을 가짐으로써 보다 정현적인 출력 전압 파형을 얻을 수 있다. 이로 인해 고조파 감소뿐 아니라 출력 필터 설계시 필터의 크기를 작게 할 수 있고 스위치 과도 상태 동안 발생하는 dv/dt 와 Surge 전압의 감소로 인하여 EMI(Electro-Magnetic Interference) 현상이 저감된다. 이러한 멀티-레벨 인버터는 크

게 3 가지의 종류(Diode Clamped Inverter 인버터, H-bridge 인버터, 플라잉 커패시터 인버터)가 있다. 그 중에서 H-bridge 인버터는 저압 H-bridge 를 직렬로 연결하여 독립된 DC-Link를 갖는 단위 Cell로 구성되어 있으며 인버터 출력 전압은 각 Cell 의 합과 같으며 Cell 수에 따라 출력 전압을 생성할 수 있다. H-bridge 인버터의 최대 단점은 독립된 DC-Link 전원을 공급해 주어야 한다는 것이다^[1]. 그 이유는 인버터에서 출력 되는 스위칭 상태에 따라 DC링크 전압과 스위치를 통해 단락 회로가 발생할 수 있기 때문이다. 분리된 전원은 통상적으로 Phase-Shift 변압기를 통해 공급 된다^[2]. 그러므로 각 Cell의 DC-Link는 독립된 전원으로 일정해야 하나 변압기 권선법이 어렵고 변압기의 % 임피던스 전압 강하 및 커패시터 정전용량의 차이로 인하여 DC-Link 전압의 불평형이 발생할 수가 있다.

2. 멀티-레벨 H-bridge 인버터의 특징 및 AVR(Auto Voltage regulation)방법

2.1 H-bridge 멀티-레벨 인버터

그림 1은 7-레벨 H-bridge 인버터의 시스템 구성 도를 보여준다. 멀티-레벨 H-bridge 인버터의 입력단 DC-Link 전압을 충전시켜주는 Phase-Shift 트랜스포머와 각각의 Cell, 그리고 Cell과 정보를 주고받는 Master Controller를 보여 준다. H-bridge 인버터 시스템에서 각상은 여러 개의 POWER Cell로 구성되어 있다. 각각의 Cell은 직렬로 연결하여 저압으로 고 전압을 얻을 수 있는 구조로 되어 있다. 입력단 Phase-Shift Transformer는 1차측을 통해 2차측에 extended delta 결선으로 +- 20도의 위상차를 가지고 각각의 Cell DC-Link 전압을 충전 시킨다. 각 Cell의 A1/A2/A3 는 한 Leg를 결정하고 각각 직

릴 Pass 로 연결되어 있다. 또한 각각의 Cell 제어기는 Master 제어기와 광통신으로 데이터를 주고 받는다. 입력측 변압기인 Phase-Shift Transformer는 각각의 Cell에 독립된 전원을 공급하기 위함이고 2차측 탭간에 위상차를 두어 Multi-Pulse 방식의 정류기형 컨버터를 구성하여 기존의 6-Pulse 전류 방식에 비하여 낮은 입력단 THD를 얻는다.

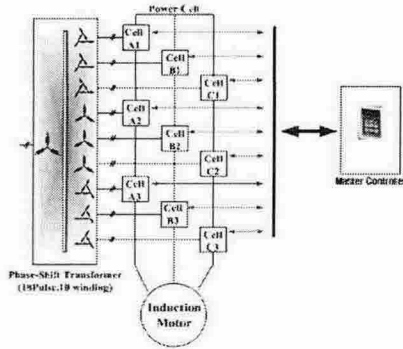


그림 1 7-레벨 H-bridge 인버터의 시스템 구성도

2.2 인버터 자동 전압 조절 방법

일반적인 범용 인버터(V/F)로 구동되는 전동기 시스템에서 인버터에 공급되는 입력 전압은 여러 가지 원인으로 인하여 입력 전압 변동을 가져온다. 이러한 입력 전압 변동(허용치: $-15\% \sim +10\%$)에 있어서 인버터는 trip 이 없는 상태(ex:과전류, 기동불가..)로 전동기를 구동하여야 한다. 인버터는 전동기에 인가되는 주파수를 가변시켜 기동 토크를 얻음과 동시에 전동기 속도를 제어하는 용도로 사용된다. 그러므로 기존 범용 인버터에서 AVR 기능은 그림 2 에서 처럼 출력 주파수에 대한 출력 전압 비율을 일정하게 하고 여기에 기동에 필요한 전압을 더하여 출력하는 방식이다.

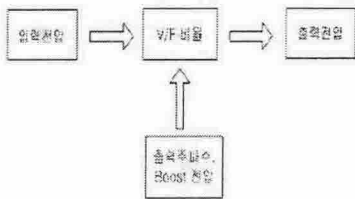


그림 2. 기존 자동 전압 조절 방법에서 출력 전압

3. 멀티-레벨 H-Bridge 인버터에서 발생하는 문제점

기존의 멀티-레벨 H-bridge 인버터에서 제어기 블록 구성도가 그림 3에서처럼 구성되어 있다. 제어기는 Master 제어기와 Cell 제어기 두 가지로 구

성되어 있다. Master 제어기는 전동기 가변속 제어를 위한 제어기를 내장하고 있으며 이에 필요한 전압/전류 값을 계산한다. 또한 시스템의 Level에서의 감시 및 진단, 모니터링, 보호, MMI, 통신, 기타 보조 기능을 수행한다. Cell 제어기는 각 Cell마다 위치하며 Master 제어기의 지령치에 따라 Cell 단위의 감시 및 보호 기능을 갖는다. Master 제어기는 각 Cell 제어기와 Fiber Optic Cable로 이루어진 고속 Link로 연결되며, 직렬통신을 이용하여 데이터를 주고받는다. Master 제어기와 Cell 제어기의 통신은 CAN(Controller Area Network)을 이용한다. 전류 제어기의 출력인 3상의 전압 기준값을 각 상별로 동기를 맞추어서 Fiber Optic Cable를 이용한 CAN 통신을 통하여 각 Cell 제어기로 데이터를 송신한다. Cell 제어기는 Cell의 DC-Link 전압과 Master 제어기의 전압 reference 값을 사용하여 PWM(Pulse Width Modulation)신호를 만든다^[3].

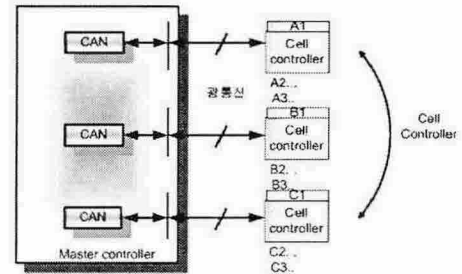


그림 3. 멀티-레벨 H-bridge 인버터의 직렬 통신 블록 구성도

그림 1에서처럼 A1.A2.A3/B1.B2.B3/C1.C2.C3의 각각의 Cell 제어기가 입력 변압기로 들어오는 독립된 DC-Link 전압을 센싱 하게 된다. 하지만, DC-Link에 저장된 전압은 입력단 변압기의 %임피던스(변압기 오차)와 커패시터 정전용량의 차이로 인해서 전원 전압의 차이를 발생시키고 그에 따라 DC-Link 전압에 차이를 가져오게 된다. 이는 출력상전압의 전압 불평형을 가져와서 회생으로 인한 특정상에 연결된 인버터 과전압으로 인한 인버터 소자의 소손을 발생시킨다. 그림 4는 범용 인버터 IP5A로 모터를 구동한 구성도이다. 독립된 전원을 인가하기 위하여 10KVA 복권변압기 3대를 범용 인버터 IP5A 5.5KVA 인버터 3대 U, V, W 상에 입력 전원으로 인가하고, Master 제어기로 인버터를 구동 18.5KVA 부하장치에 연결하였다. 인버터에서 Cell trip 상황시 Gate를 차단한 경우 DC-Link 전압 및 전류 파형을 그림 5에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 독립 전원을 사용한 단위 Cell에서 고장 시 기존과 같은 방식으로 Cell Trip 상황이 발생하면 다른 상의 전압이 상승하는 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해

서 제안된 AVR 기능을 멀티-레벨 H-bridge 인버터에 적용하였다.

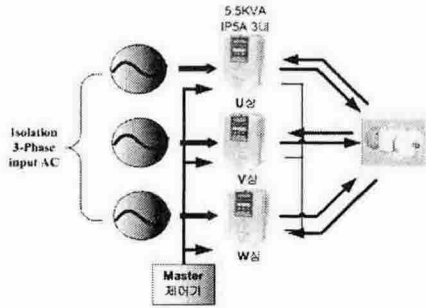


그림 4. 범용인버터 IP5A로 부하에 연결한 인버터 구성도

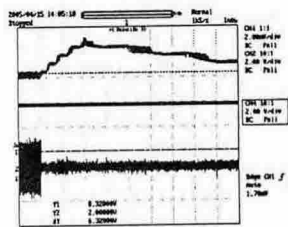


그림 5. 인버터 Trip 상황인 Gate 차단인 경우 DC-Link 전압 파형

4. 제안된 H-bridge 인버터에서의 AVR 방법

제안된 방법은 멀티-레벨 H-bridge 인버터에서 발생하는 문제점을 해결하기 위해서 각각의 Cell 제어기에 입력 전압 변동(허용치: $-15\% \sim +10\%$)을 넘어서는 상태와 변압기 오차에 의해서 발생하는 문제점을 해결하는 방법을 제안한다. 그림 6은 제안한 시스템의 구성도를 보여준다. 그림에서 (2/3/--/5), (6/7/--/9), (10/11/--/13)번 셀의 출력이 서로 직렬로 연결이 되어 있으므로 Master 제어기에서 새로운 지령값을 각각의 Cell 제어기로부터 받는 것이 아니라 Cell 제어기 스스로가 변압기의% 임피던스 전압 강하에 따른 전압 변동과 커패시터 정전용량의 차이로 인한 DC-Link 전압의 변동과 무관하게 AVR 기능을 수행한다. 그림 7은 제안된 제어기 Block Diagram이다. 사용자가 기존 방식을 사용하고자 할 경우(주로 전동기 정격전압을 모르는 경우)에는 연산된 비율이 인버터에 입력되어 입력 전압의 비율로서 출력 전압이 결정된다. 이 경우에는 입력 전압 변동비만큼 출력 전압도 같이 변동된다. 그림 6에서처럼 각각의 Cell CPU를 사용하여 멀티-레벨 H-bridge 인버터에서 AVR 기능을 수행한다면 여러 Cell의 DC-Link 전압을 n개의 Cell 제어기가 스스로 자기 입력에 따른 독립된 전원을 센싱하여 미리 연산된 기준 전압과 인버터 입력 전

압 검출기로부터 입력된 입력전압을 이용하여 실시간으로 입력전압 변동에 대한 보정값을 연산하고 연산된 보정값과 V/F 제어에서 연산된 출력전압 비율을 곱하여 실시간으로 입력전압 변동을 보상함으로써 출력 전압은 입력 전압 변동과 무관하게 일정하게 출력 된다.

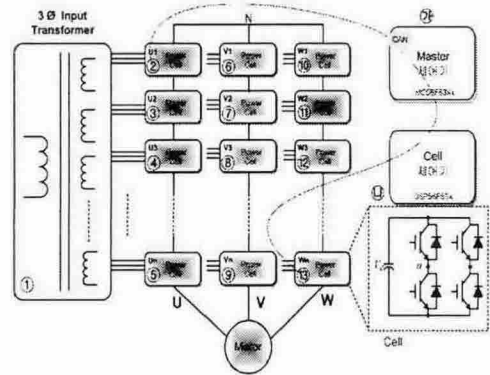


그림 6. 제안된 멀티-레벨 H-bridge 인버터의 시스템 구성도

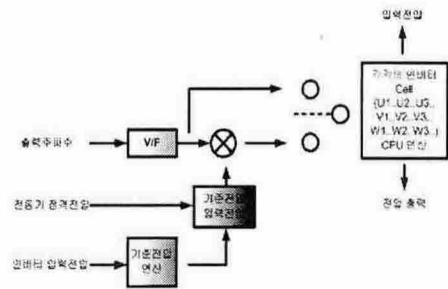


그림 7. H-bridge 제어기 블록 다이어그램

5. 실험 결과

제안된 방법의 타당성을 검증하기 위해서 실험을 수행하였다. 제안된 기법과 기존 방법의 이론적인 타당성을 검증을 위해 축소 모델 시작품을 제작하였다. 그림 8은 전압 Pattern 와 기능 시험 검증용 미니어처를 구성한 시스템도이다. Master 제어기와 Cell 제어기는 CAN통신을 통한 Fiber Optic으로 각각의 Cell과 연결되어 있다. Master 제어기는 MC56F83xx이며 Cell 제어기는 DSP56F80x로 구성하였다. 두 CPU 모두 CAN통신을 위한 모듈뿐 아니라 제어시 필요한 주변에 회로를 내장하고 있는 모터 제어용 고성능 One-Chip DSP로 구성하였다. 다음으로, 기존의 범용 인버터에서 수행한 AVR 기능의 조건 및 실험 파형을 보여준다. 범용 인버터는 Cell은 200V급 저압 IP5A 인버터를 이용하였다. 기능을 시험한 조건을 표 1.2.3.에 명시 하였다. 입력전압 변동에 따른 파형은 그림 9에 (a),(b),(c),(d), (e),(f)에 나타나 있다.

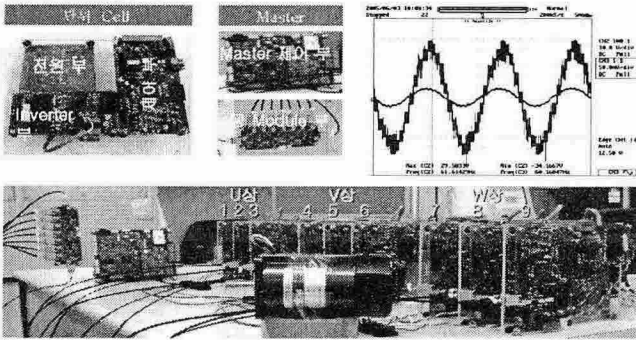


그림 8. 7-Level H-bridge 기능 시험용 미니어처 및 출력선간 전압

표 1. 주파수 및 운전 조건에 따른 설정 함수

설정 Function	조건1	조건2
부하	50%	100%
주파수 설정방법	Loader	Loader
제어 Mode(V/F)	V/F	V/F
Torque Boost	Manual(default)	Manual(default)
최대 주파수	60Hz	60Hz
기저 주파수	60Hz	60Hz
Motor Volt	Motor 사양	Motor 사양
아날로그 출력 항목 선택	출력 주파수	출력전압
운전 지령 주파수	30Hz	30Hz

표 2. 50% 부하 인가시 측정값

조건 1 50%부하인가	운전 주파수	입력전압 변동	측정값						Scope 파형번호
			출력전압		변동율	출력전류		변동율	
			기준 전압	변동전		변동후	변동전		
30Hz	100%>-15	220.0	223.0	223.0	0	37.5	37.8	-0.8	a
	-15%>100		219.0	221.0	-1	37.5	37.6	-0.3	b
	100%>+10		224.0	222.0	0.9	37.5	37.5	0.0	c
	-15%>10		219.0	219.0	0	37.8	37.2	1.6	

표 3. 100% 부하 인가시 측정값

조건2 100%부하인가	운전 주파수	입력전압 변동	측정값						Scope 파형번호
			출력전압		변동율	출력전류		변동율	
			기준 전압	변동전		변동후	변동전		
30Hz	100%>-15	220.0	217.0	220.0	-1	75.2	76.1	-1.2	d
	-15%>100		220.0	217.0	1.4	76.1	75.5	0.8	e
	100%>+10		217.0	217.0	0	75.6	75.4	0.3	f
	-15%>10		219.0	217.0	0.9	75.8	74.8	1.3	

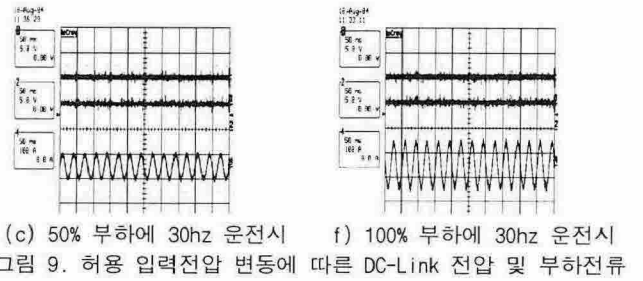
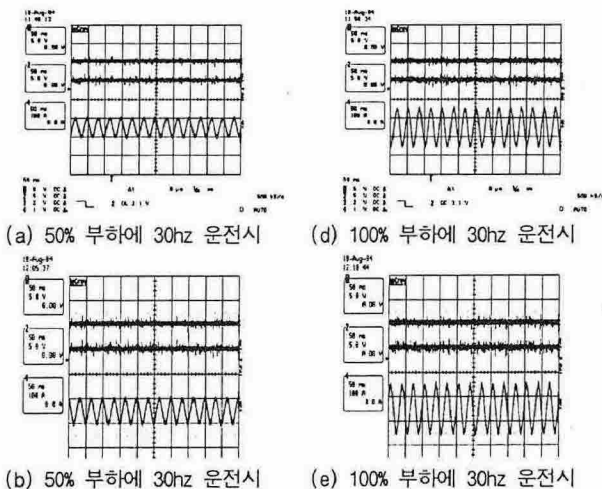


그림 10. Prototype에서 허용 입력전압 변동에 따른 DC-Link 전압 및 부하전류

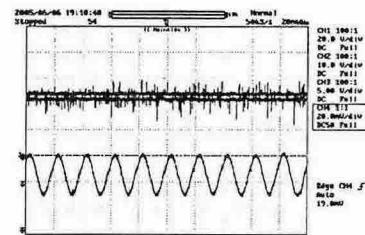


그림 11. Prototype에서 허용 입력전압 변동에 따른 DC-Link 전압 및 부하전류

6. 결론

시간에 따른 입력 전압 변동이나 절연된 독립된 전압을 변압기로 받으므로 변압기 권선법과 % 임피던스 전압 강하에 따른 전압 변동과 커패시터 정전용량의 차이로 인한 DC-Link 전압의 변동과는 무관하게 사용자가 한번 시스템을 구성시에 설정한 성능을 동일하게 출력함으로써 시스템의 신뢰도를 향상시킬 수 있으며 전압 변동에 따라 별도의 설정 변경이 필요 없으므로 시스템의 유지 보수비용을 줄일 수 있다.

참고 문헌

- [1] Bor-Ren Lin; Yuan-Po Chien; Hsin-Hung Lu, "Multilevel inverter with series connection of H-bridge cell", Power Electronics and Drive System, 1999. Proceedings of the IEEE 1999 International Conference, Volume: 2, pp.859-864.
- [2] Hammond, Peter W., Hammond, "Medium voltage PWM drive and Method ", United States Patent Number 5625545, 1997. 4.29
- [3] 박영민, 김연달, 이현원, 이세현, 서광덕, "3300V 1MVA H-브릿지 멀티레벨 인버터 개발", 전력전자 학회 논문지. 제 8권 제6호 pp 478-487, 2003.12