

단상 유도 전동기를 위한 하프브리지 인버터

(Half Bridge Inverter for Single Phase Induction Motor Driving)

이종규 · 김영삼 · 원영진

(Lee Jong Gyu · Kim Young Sam · Won Young Jin)

Abstract

This paper is about the design of half-bridge inverter controller with low cost and simple configuration for low power single-phase induction motor driving. The simple controller is composed of MCU and PLD. Also, to limit the overcurrent at initial driving, auxiliary function is added, and stabilizes the system. In order to verify the performance of the proposed method, we design 500W inverter system, and in result, the response time of the proposed method compared with line voltage driving method is reduced by 200[msec].

1. 서론

전력은 사용하기 편리하고 다른 에너지로의 변환 효율이 매우 높은 유용한 에너지이다. 전력을 효율적으로 이용하기 위하여 제어기의 특성에 적합하도록 전력 변환이 필요하다. 이러한 전력 변환은 전력용 반도체 소자의 발전으로 다양한 전력 변환 장치를 설계할 수 있게 되었다.

초기에 반도체를 사용한 전력변환은 SCR(Silicon Control Rectifier)을 사용하였으나 전류(Commutation) 문제 때문에 GTR(Giant Transistor), GTO(Gate Turn-off Thyristor), Power MOSFET, IGBT (Insulated Gated Bipolar Transistor) 등의 새로운 소자를 사용하게 되었다. 또한 전력 시스템의 제어기 구성은 마이크로프로세서, 하이브리드 소자 등을 이용하여 고기능으로 집적화하여 설계할 수 있게 되었으며, 다양한 부하에도 적용시킬 수 있게 되었다.

이러한 전력 시스템 중에서 유도 전동기 제어는 초기에 스위칭 소자를 SCR로 하는 대용량 전류형 인버터가 대부분이었으나, 새로운 소자의 발달로 현재는 스위칭 소자로서 IGBT, Power MOSFET, GTO 등을 이용한 전압형 인버터가 많이 사용되고 있다.

전동기 제어용 인버터는 주로 3상 유도 전동기를 제어 대상으로 하였다. 그러나 최근에는 브러쉬리스 모터, 공구용 AC 전동기, 서보 모터 등 다양한 부하를 대상으로 하는 저전력 단상 유도 전동기를 가전기와 산업용 소형 제어 기기에도 적용하고 있다[1], [2].

본 논문은 범용 단상 유도전동기 구동을 위한 디지털 인버터 제어기에 관하여 논하였다. 제시된 인버터는 소용량이므로 정류 회로와 인버터 단의 스위칭 소자를 줄인 간단한 하프 브리지 인버터로 구성한다. 제어기 구성은 VLSI를 이용하여 2-3개의 소자로 설계함으로써 그 구조를 간략화 하였다. 또한 인버터 스위칭 소자를 보호하기 위하여 디지털 전류 제한 방

법을 논하였다. 실험적인 검증을 위하여 단상 브러쉬리스 모터로 이루어진 전기 드릴을 구동할 수 있는 400W 단상 인버터를 구현하여 실험하였다.

2. 본론

2.1. 인버터 구성

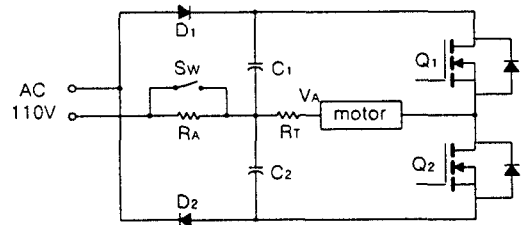


그림1. 제안된 인버터 구성

Figure 1. Proposed Inverter Configuration

그림 1은 제안된 인버터 구성을 나타낸다. 인버터의 전원부는 전동기 정격이 500W 이하를 제어대상으로 하므로 AC 110V를 반파 배전압 정류하였다[3].

R_A 는 초기 전원이 인가될 때 과전류 유입을 방지하기 위한 전류 제한저항이며, DC 링크 전압이 정상상태에 가까워지면 릴레이 점접 스위치(Sw)를 단락 시킨다.

인버터는 POWER MOSFET 소자를 사용하고 하프 브리지로 구성하였으며, 제어기의 PWM 제어신호를 받아서 Q_1 과 Q_2 가 3 레벨 PWM 출력 전압과형을 출력하도록 하였다. R_T 는 전동기 전류제한을 위한 무유도 저항이다.

2.2. 인버터 제어기

전동기 구동시에는 다른 시스템과의 인터페이스와 시스템 응답을 고려하여야 한다. 일반적으로 제어기는 제어용 원칩 마이크로프로세서를 사용하지만, 벡터 제어시에는 응답성과 제어 특성을 개선하기 위하여 DSP를 사용한다. [4], [5]. 그러나 정밀한 제어가 아닌 소형 시스템인 경우에는 DSP 보다는 부하의 응답성을 고려하여 제어 시퀀스 및 일부 연산 기능을 마이크로프로세서로 실행시키고 나머지 디지털 회로를 PLD로 구성하는 것이 바람직하다. 뿐만 아니라 PLD에 일부 특정한 연산 기능을 실행시키면 프로세서의 소프트웨어 실행시간을 줄일 수 있어서 인버터의 응답성을 개선할 수 있다

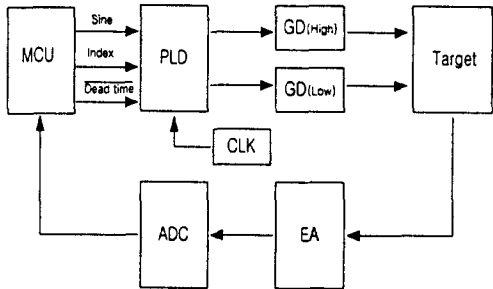


그림 2. 제어기 구성

Figure 2. Configuration of Controller

그림 2는 본 연구에서 제시된 인버터 제어기 구성이다. 그림 2에서 MCU는 원칩 89C51를 사용하여 시스템 초기화, 정현 데이터 출력, 피드백에 관련된 연산 등을 실행하도록 하였다. 또한 PLD는 PWM의 변조도 연산, 데드타임이 보상된 3레벨 제어기 PWM 패턴을 처리한다. 그리고 E/A는 전류 레환을 위한 OP-AMP 이고, 레환된 신호는 A/D 변환기를 이용하여 원칩 마이크로프로세서에 인터페이스한다.

2.2.1. MCU 동작 설계

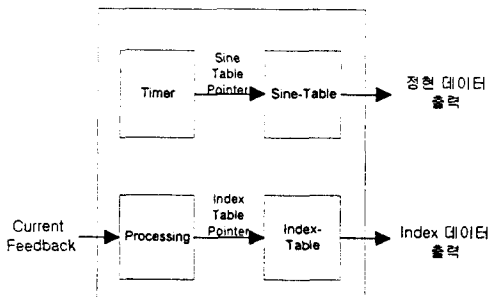


그림 3. MCU 동작 구성

Figure 3. Configuration of MCU

MCU의 동작은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 시스템의 초기화, 사인 데이터 출력, 전류 레환에 의한 Index 데이터의 제어로 나눌 수 있다.

시스템 시동시, MCU는 시스템을 초기화하게 된다. 그림 3

에서 보듯이 메인 루틴 실행시, MCU의 동작은 크게 정현 함수 데이터의 출력과 Index 데이터의 출력으로 나눌 수 있다. MCU는 Timer 인터럽트를 이용하여 주파수가 제어된 정현 데이터를 출력한다. 또한 메인 루틴은 전류를 Feedback 받아 변조도 Index 데이터를 제어하게 된다. 따라서 복잡한 연산 대신 ROM table 지정 방식을 사용하므로 원칩 MCU로 빠르고 효율적인 제어가 가능하다.

2.2.2. PLD 설계

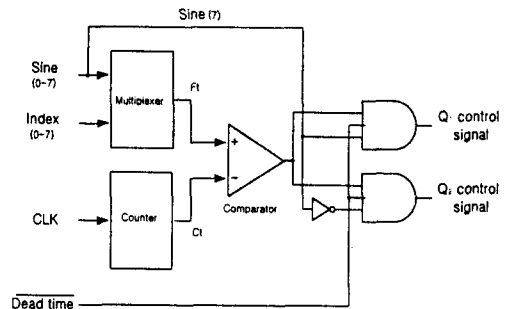


그림 4. PLD 내부 회로구성

Figure 4. Internal Circuit Configuration of PLD

PLD 내부 회로는 그림 4와 같다. 기본과 주파수의 정현 데이터와 변조도 데이터 Index를 입력받으면 곱셈기로 연산을 실행한 후 변조도를 고려한 주파수 데이터 Ft를 출력한다. 내부 카운터는 외부의 클럭을 받아 PWM의 캐리어 데이터 Ct를 발생한다. Ft와 Ct 신호를 비교기로 비교하여 Ft가 Ct 보다 데이터 값이 크면 "1"로 하고 작으면 "0"으로 하는 PWM 신호가 생성된다. 이때 sine(0-7) 신호의 MSB인 sine(7) 비트는 high-side 또는 low-side를 선택하는 flag가 된다. 출력된 PWM 신호는 그림 1의 Q₁ 과 Q₂ 가 3레벨 기본과 주파수 이므로 마이크로 프로세서에서 출력된 데드타임 1비트 신호와 논리곱을 취하여 데드타임을 고려한 PWM 제어 신호를 만들어 낸다.

2.3. 전류제한에 의한 스위칭 소자의 보호

GTR과 POWER MOSFET의 전류정격은 반드시 SOA (Safe Operating Area) 영역에서 이용해야 한다. 따라서 인버터는 모터 부하가 가속과 과부하일 때도 인버터 스위칭 소자의 SOA 이내에서 동작되어야 한다. 통상 인버터는 스위칭 소자를 보호하기 위하여 일정 부하전류가 넘으면 인버터 동작을 멈추게 하나 실제 피크 전류를 제대로 검출하기 쉽지 않다. 따라서 이런 점을 개선하기 위하여 D/A 변환기를 이용한 아나로그 PWM 변조 방법에서는 인버터의 전류값이 일정한 값이 넘으면 D/A 변환기의 변조도를 낮추어 출력전류를 일정하게 유지하도록 한다. 그러나 아나로그 회로는 복잡하고 소자 특성 변화등의 문제점이 있다.

본 논문에서는 전동기에서 전류 피드백을 받아서 디지털로 변환하고 MCU에 인터페이스시켜 스위칭 소자가 과전류 상태에 이르지 않도록 변조도 및 주파수 데이터를 제어한다. 이

때 빠른 전류 제어를 실현하기 위하여 전동기 전류 응답을 고려하여 프로그램의 루프시간을 결정한다.

2.4. 실험 및 고찰

전류회로는 전파 브리지 다이오드 BP-254P를 병렬 연결하여 그림 1의 D1, D2를 대체하여 사용하였고 C1, C2의 용량은 $470 \mu F/400V$ 로 하였다. 인버터 스위칭 소자는 IRF450로 하고 드라이브 소자는 TLP250으로 구성하였다.

MCU는 89C51로 사용하였고 PLD는 EPM7128SLC를 사용하였으며 전류제한 회로는 TL071, A/D 컨버터는 ADC0844를 사용하였다. 이때 A/D 변환기의 변환 시간은 $40 \mu sec$ 이고 프로그램의 제어루프 시간은 $100 \mu sec$ 이내로 프로그램을 작성하였다. 제어대상은 AC 브러쉬리스 전동기이고 110V, 2A이다.

그림 5는 전동기에 직접 상용전원을 인가하였을 때 전류 파형이며 전동기가 정상상태에 도달하는 시간은 150msec이다. 실험에서 프로그램 루프제어 시간이 $100 \mu sec$ 이므로 전동기 속도가 정상상태에 도달할 때까지 1500번 정도 루프제어를 실행할 수 있다. 그림 6은 인버터의 입력 가속시간을 500msec로 하여 기동한 전류 파형이다. 이때 인버터는 전류 제한을 실행하지 않은 개루프 제어이고 모터 전류 정격의 3배 정도로 제어하였다.

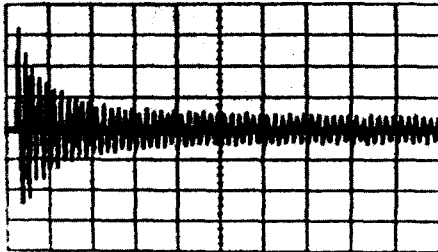


그림 5. 상용 전원으로 기동할 때 전동기 전류파형 (무부하 조건)

Figure 5. Current Waveform of Single-phase AC Machine driven by Line Voltage (No-loadCondition)

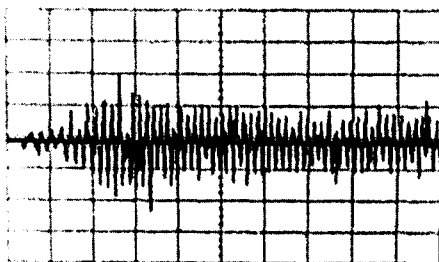


그림 6. 가속 시간 500ms 일 때 인버터 전류파형 (무부하 조건)

Figure 6. Current Waveform of Inverter In Acceleration Time 500ms(No-Load Condition)

그림 7은 인버터를 상용전원과 같이 가속시간 없이 기동하였을 때의 전류 파형이며 인버터의 전류가 정격전류의 2배 이상이면 전류제한을 하여 정격전류 3배 이하가 되도록 제어하였다. 그림 6과 비교하면 가속 시간이 200msec만큼 감소하여 전동기를 제어할 수 있었다.

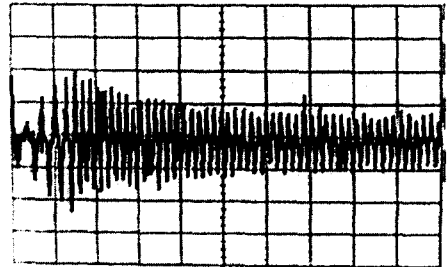


그림 7. 전류제한을 실행한 인버터 전류파형(무부하 조건)
Figure 7. Current Waveform of Inverter With Current Feedback(No-Load Condition)

3. 결론

본 논문은 단상 AC 전동기를 제어 대상으로 간단한 인버터 제어기 설계에 관한 연구이다. 제시된 인버터는 용량과 경제적인 면을 고려하여 전원부는 반파 브릿지를 사용하였고, 스위칭 소자 2개만을 사용하여 출력단을 구성하였다.

디지털 제어기의 제어회로는 간단하면서도 집적도를 높이기 위해서 원칩 마이크로프로세서와 PLD로 구성하여 설계하였다. 이러한 구성은 DSP 등을 사용하지 않으므로 저비용으로 구성할 수 있었고, 프로그램 수행 시간을 줄일 수 있어서 인버터의 응답성을 개선할 수 있었다. 또한 전동기의 출력 전류를 적절하게 제어할 수 있었다. 따라서 페루프 제어를 하는 경우 상용전원에서 기동하는 경우에 비해 전류의 peak치는 30% 이상 감소되었고, 정상상태에 도달하는 응답시간은 30% 감소 되었음을 실험을 통하여 입증하였다.

참고문헌

- [1] N. Ertugrul, P.P. Acarmley, "Indirect Rotor Position Sensing In Real-Time For Brushless Permanent Magnet Motor Drivers" IEEE APEC, pp. 736-742, 1997
- [2] H. Tajima, and Y. Hori, "Speed Sensorless Field Orientation Control of The Induction Machine," IEEE Trans on. Ind. Appl., Vol. 29, No. 4, pp. 175-180, 1993
- [3] Mohan, Undeland, Robbins " Power Electronics ; Converters, Applications, and Design" Second Edition, pp. 200-215.
- [4] Shotaro Taniguchi, Tatsuya Yoshizumi, Kouki Matsuse " A Method of Speed Sensorless Control of Direct-Field-Oriented Induction Motor Operating at High Efficiency with Core Loss Consideration" IEEE APEC, pp. 1244-1250
- [5] H. Kubota, K. Matsuse, and T. Nakano, "DSP-Based Speed Adaptive Flux Observer of Induction Motor with Rotor Resistance Adaptation," IEE Trans, on Ind. Appl., Vol. 30 No. 5, pp. 1219-1224, 1994