

5상 펜타곤 결선방식 스텝핑 모터의 마이크로스텝 구동을 위한 저가형 전용 칩 설계에 관한 연구

김명현, 안호균*, 박승규*, 손영철*
 부산디지털정보기능대학 전기계측제어과, 창원대학교 전기공학과*

A Study on the One-chip Design of Low Cost for Micro-stepping Drive of 5-Phase Stepping Motor Having Pentagon Type Winding

Myung-Hyun Kim*, Ho-Kyun Ahn**, Seung-Kyu Park**, Young-chul Son**
 Busan Information Polytechnic college*, Changwon National University**

ABSTRACT

In this paper, studied on the one-chip design of low cost for the micro-stepping drive having 5-phase Pentagon Type winding.

Micro-stepping method in order to eliminate effectively the resonant phenomena and to increase the positional resolution.

This paper proposed trapezoidal current waveform for current control and provided design-method by using only one-chip of low cost.

Therefore the drive will be simple and small size. Also the drive will have a lot of advantage at commercial business.

Finally the above study has been implemented on the VHDL. Simulation has been performed to verify the PWM for micro-stepping drive.

1. 서 론

스텝모터는 입력되는 펄스 개수와 주파수를 이용하여, 모터의 회전자를 정해진 위치만큼 이동시키는 것으로 디지털 제어가 손쉽고, open loop control에 적합하므로 제어가 간단하고, 정지시 매우 큰 유지 토크를 가진다. 또한, 누적 오차가 작아 여러 분야에 쉽게 적용되고 있다.

그러나, 기계적인 구조로 인하여 스텝각이 정해져 있기 때문에 서보급의 정밀한 제어를 할 수 없고, 저속 회전시의 공진과 정지시 회전 관성으로 진동이 심하다는 단점이 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위하여 각 상의 전류의 크기를 적절히 제어하여, 모터의 기계적 구조로 인하여 정해져 있는 기본각을 미세스텝으로 나누어 제어하는 마이크로 스텝핑이라는 모터 구동방법이 연구되어져 왔다.

본 논문에서는 마이크로스텝 구동을 위해 Rom table를 이용하거나 마이크로 컨트롤러를 이용함으로써 발생하는 문제점을 제거하고자 One-chip CPLD(Complex Programable Logic Device)를 이용하여 마이크로스텝을 구현하고자 한다.

본 논문에서는 간략화 및 소형화를 실현할 저가형 전용 칩을 설계한다.

2. 본 론

2.1 수학적 모델링

그림 2와 그림 3은 5상 펜타곤 결선방식 스텝 모터의 4상 여자 방식의 패턴도를 나타내고 각 상의 토크는 아래의 식과 같다.

$$T_a = KI_m \sin(\omega t - \alpha) K_t \sin(\theta) \quad (1)$$

$$T_b = KI_m \sin(\omega t - \frac{2}{5} \pi - \alpha) K_t \sin(\theta - \frac{2}{5} \pi) \quad (2)$$

$$T_c = KI_m \sin(\omega t - \frac{4}{5} \pi - \alpha) K_t \sin(\theta - \frac{4}{5} \pi) \quad (3)$$

$$T_d = KI_m \sin(\omega t - \frac{6}{5} \pi - \alpha) K_t \sin(\theta - \frac{6}{5} \pi) \quad (4)$$

$$T_e = KI_m \sin(\omega t - \frac{8}{5} \pi - \alpha) K_t \sin(\theta - \frac{8}{5} \pi) \quad (5)$$

따라서 합성 토크는 다음과 같다.

$$T = \frac{5}{2} KI_m K_t \cos(\omega t - \alpha - \theta) \quad (6)$$

여기서 K는 결선방식에 의해 변화는 전류진폭비율이며, α 는 상코일 전류와 입력단자 전류의 위상차이, I_m 은 전류의 최대치, ω 는 전류 각속도, K_t 는 정수, θ 는 상코일 A가 배치되는 각도이다.

식(6)은 5상의 정현파전류 1cycle분의 변화로 합성 torque의 vector도가 회전자치의 이 피치분만큼 회전하는 것을 나타내고 있다.

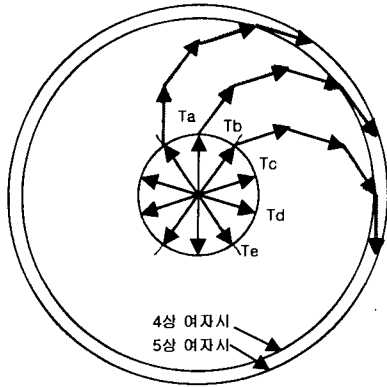


그림1 토크 벡터도

2.2 5상 스텝 모터의 결선 방식

5상 스텝모터는 스텐다드 결선방식(Standard Winding), 펜타곤 결선방식(Pentagon Winding), 스타 결선방식(Star Winding)으로 이루어지며, 본 논문에서는 펜타곤 결선방식을 채택하였다.

펜타곤 결선방식의 경우 스텐다드 결선방식에 비해 스위칭 소자의 수가 절반으로 줄어 경제적이다. 그러나 스텐다드 결선방식의 경우 모든 상여자 방식이 가능하나 펜타곤 결선방식일 경우 4상 및 4-5상 여자만 가능하다. 아래 그림은 펜타곤 결선 방식의 구동회로와 여자 시퀀스를 나타낸다.

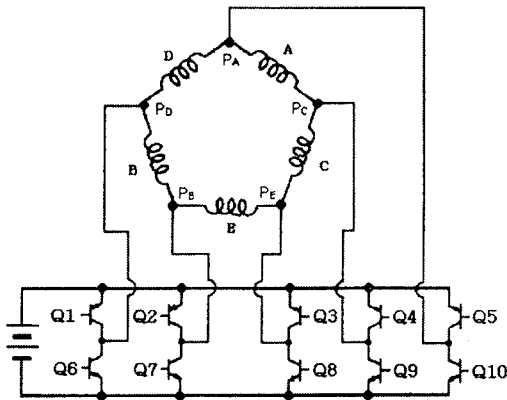


그림2 펜타곤 결선방식의 구동회로

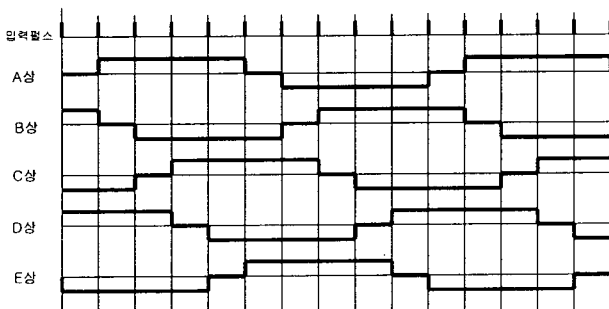


그림3 4상 여자방식의 패턴도

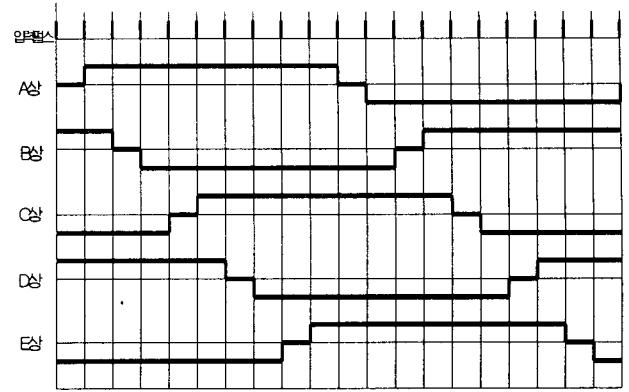


그림4 4-5상 여자방식의 패턴도

2.3 마이크로 스텝 구동 방식

각 상의 전류를 제어하여 기계적으로 정해진 스텝각을 다분할화하여 구동하는 방식을 미소각 구동 방식(마이크로스텝구동방식)이라 부른다. 즉 스텝모터의 구동회로를 구성하는 출력소자의 on·off duty를 변화시키는 것에 의해 각 상의 여자전류를 제어하고 미소각 구동을 행할 수 있다.

마이크로스텝 구동을 위한 전류 파형은 크게 사다리꼴파형과 정현파형으로 대별되며 모터의 성능 향상을 위하여 이들의 변형도 사용되고 있다. 본 논문에서는 사다리꼴파형을 채택했으며, 미세스텝 구동에 의한 주요 성능 향상은 다음과 같다.

- (1) 고정밀 위치 제어
- (2) 저속 영역에서의 공진에 의한 탈조 현상 제거
- (3) 초저속 고토크 운전 가능
- (4) 속도 맥동 감소
- (5) 응답성 향상

2.4 제안된 전류 방식

마이크로 스텝을 구동하기 위해서는 토크의 평형을 위해 전류의 변화가 급격한 구형적인 파형보다는 부드러운 정현적인 파형이어야 한다. 또 디텐트 토크를 고려하면 3고조파가 포함되어야 하며, 부하손과 마찰손까지 고려하면 전류 파형은 5고조파까지 포함되어야 한다.

즉, 이상적인 경우 그림5에서와 같이 정현적인 전류를 유지해야 하는데 본 논문에서는 저가형 원칩 구현을 위해 그림6과 같이 정현파에 가까운 사다리꼴 파형을 제안한다.

5상 펜타곤 결선방식 스텝모터에서 일반 스텝의 경우 500스텝일 때 1회전하나 본 논문에서는 일반 스텝의 한 스텝을 250스텝으로 나누어 마이크로 스텝을 구현한다. 즉, $250 \times 500 = 125000$ 스텝일 때 1회전한다.

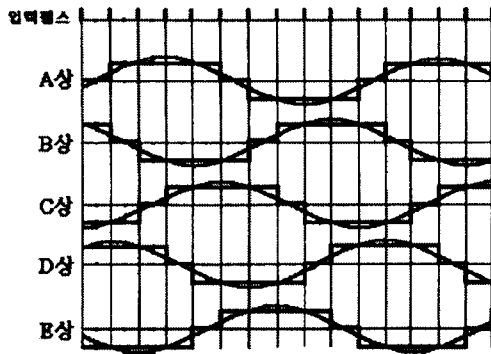


그림5 4상여자시 이상적인 마이크로스텝 여자순서도

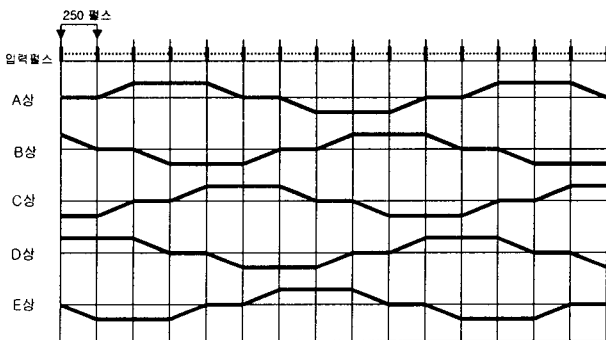


그림6 제안된 전류 파형

2.5 입·출력 및 내부 스위칭 기준 조건

본 논문에서는 그림2의 펜타곤 결선방식의 구동 회로를 이용하여 그림6의 파형을 발생시키기 위해 One-chip CPLD를 사용하였으며, 하드웨어 구현을 위해 VHDL(Very high speed IC Hardware Description Language)을 이용하였다.

입력포트로 reset(전원), pulse(입력펄스), clk(기준펄스=4MHz), reverse(정·역회전)를 주었고, 출력포트로 Q1~Q10까지 스위칭 소자를 위한 신호를 주었다.

그림 6에 제시된 경사진 파형을 위해 up-down counter를 사용하여 쉽게 구현하였다.

즉, 입력펄스에 의해 발생된 파형(그림6의 제안된 전류 여자 파형)과 기준펄스(4MHz)에 의해 발생된 톱니파를 비교해 분해능 250인 마이크로스텝을 위한 PWM를 발생하였다.

아래 그림 7은 하드웨어 구현을 위한 VHDL 표현의 일부분을 나타내고 있다.

그림 8은 모터의 회전속도를 10rpm일 때, 즉 입력 주파수가 20.8KHz일 때의 PWM파형을 나타내고 있다.

```

Library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;
use IEEE.std_logic_unsigned.all;

entity rccomparison is
port(pulse, clk1, reset, reverse in std_logic;
      Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10 : out std_logic);
end rccomparison;

architecture rtl of rccomparison is
  signal cnt1 : std_logic_vector(7 downto 0);
  signal cnt2 : std_logic_vector(7 downto 0);
  signal cnt3 : std_logic_vector(7 downto 0);
  signal cnt4 : std_logic_vector(7 downto 0);
  signal cnt5 : std_logic_vector(7 downto 0);
  signal cnt6 : std_logic_vector(7 downto 0);
  signal cnt7 : std_logic_vector(7 downto 0);
  signal cnt8 : std_logic_vector(7 downto 0);
  signal cnt9 : std_logic_vector(7 downto 0);
  signal cnt10 : std_logic_vector(7 downto 0);
  signal temp : std_logic_vector(7 downto 0);

  component rmin1
  port(clk, reset, reverse in std_logic;
        Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10 : out std_logic_vector(7 downto 0));
  end component;

  component cnt256
  port(clk, reset in std_logic;
        cnt256 : out std_logic_vector(7 downto 0));
  end component;
end architecture rtl;

```

그림7 VHDL program 예

2.6 시뮬레이션

VHDL을 이용한 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

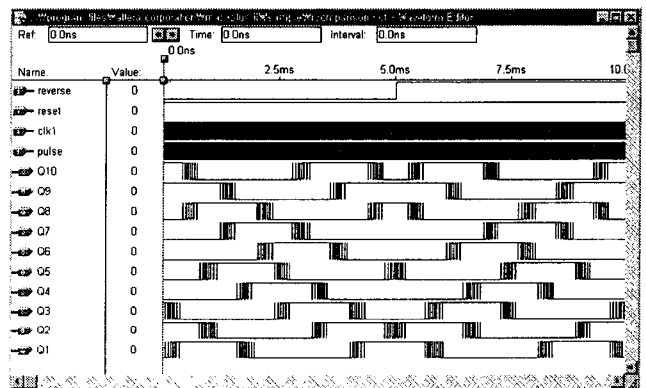


그림8 10rpm에서의 PWM파형

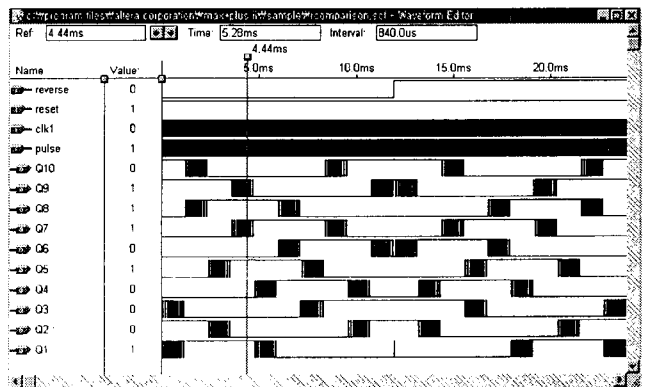


그림9 100rpm에서의 PWM파형

그림 9은 모터 회전속도가 100rpm일 때, 즉 입력 주파수가 208.3KHz일 때의 PWM 파형을 나타내고 있다.

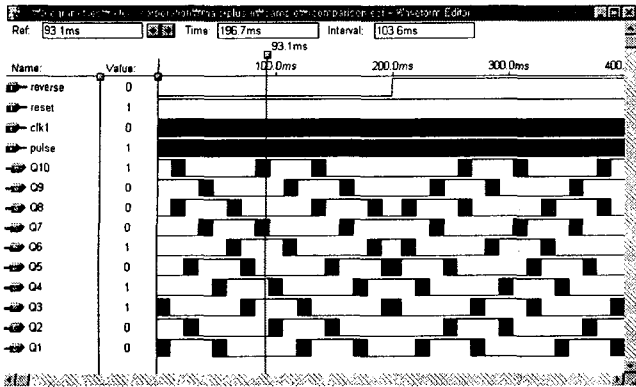


그림10 300rpm에서의 PWM파형

그림10은 모터 회전속도가 300rpm일 때, 즉 입력 주파수가 625KHz일 때의 PWM 파형을 나타내고 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 5상 펜타곤 결선방식 스테핑 모터의 마이크로스텝 구동을 위한 저가형 전용 칩 설계에 관하여 연구하였다. 마이크로스텝 구동을 위해 이상적인 정현파형 전류를 제안해야 하나 본 논문에서는 정현 파형에 유사한 사다리꼴 파형을 제안함으로써 마이크로스텝을 구현하였고, One-chip CPLD를 사용하여 저가형 전용 칩을 설계하였다.

본 논문에서 제시한 저가형 전용 칩은 간단한 up-down counter를 이용하여 기존의 Rom table를 이용하거나 원 칩 마이크로 컨트롤러를 이용하는 경우보다 부가회로가 적고 비용이 절감된다는 장점이 있다. 따라서 드라이브의 간략화 및 소형화를 도출하게 되어 상용화에 많은 이점을 가지게 될 것이다.

향후, 전원 장치가 포함된 전체적인 드라이브 구성이 필요하며, 본 논문에서 사용한 기준 전류 파형을 이상적인 정현 파형으로 대체함으로써 스테핑 모터의 기계적인 요소 때문에 발생하는 진동, 소음을 좀더 저감할 수 있는 드라이브 구현을 위한 연구가 필요하겠다.

참 고 문 헌

[1] T.Roland Fredriksan. "Microstepping-A New Control Concept for Rotary Step Motor", IMCSD, pp HH-1~hh-6, 1975.
 [2] E.K. Pritchard, "Mini-stepping motor drivers", proc. of 5th annual symposium on incremental motion control systems and devices, pp. Q-1~Q-11, 1976.
 [3] Howard P.Layer, "Digital Sine-Cosine Ministepping

Motor Drive", IMCSD, pp 179~183, 1977.

[4] E.K. Pritchard, "Concepts and characteristics of Ministepping", proc. of 9th annual symposium on incremental motion control systems and devices, pp. 229-242, 1980.
 [5] Takashi Kenjo, "Stepping motors and their microprocessor controls" Clarendon press. oxford, 1984.
 [6] J.Biran, "A high performance drive system and control IC for microstepping application", Motor-con, pp. 215-230, 1986.
 [7] 신규범, "스텝 모터의 저 진동을 위한 마이크로 스테핑의 구현 방법에 관한 연구", 한국과학기술원.1995.
 [8] 김형우, "펜타곤 결선방식의 5상 스테핑 모터에 대한 미세각 구동 드라이버의 설계", 창원대학교, 1996.
 [9] 지대영, "마이크로 프로세서를 이용한 펜타곤 결선방식 5상 스테핑 모터의 마이크로 스테핑 구동에 관한 연구", 창원대학교, 1997.
 [10] 박철순, "CPLD를 이용한 5상 하이브리드 스테핑 모터의 마이크로 스텝 구동 성능향상에 관한 연구", 창원대학교, 1999.
 [11] 김영철, 정연모, 조중휘, 홍윤식, "디지털 시스템 설계를 위한 VHDL", 홍릉과학 출판사, 1999.