

전류원을 이용한 스텝 모터의 고속 제어에 관한 연구

오 동성, 김 종준, 윤 명중

한국과학기술원, 전기 및 전자공학과

A Study on High Speed Control of Step Motor
using Current Source

Dong Seong Oh, Jong Jun Kim, Myung Joong Youn

Dept. of Electrical Engineering, KAIST

Abstract

In this study, a method of obtaining reasonably large and constant torque at high speed is given in order to improve the performance of the open loop controlled step motor system using the current source, thus resulting in high performance compared to the conventional current limiting using resistor and chopper.

1. 서론

스텝 모터는 다른 전동기에 비해 제어 구조가 간단하고 제한 소자없이 위치 제어가 가능한 것은 물론 위치오차의 누적이 없고, 정지시에 큰 정지 토크를 갖고 있으므로 제동기 등의 보조기구가 필요없다. 그러나 위의 장점에도 불구하고 권선 인덕턴스로 인해 고속시 출력 토크가 급격히 저하되어 탈조 현상 등 한계성을 갖는다. 그러므로 스텝 모터를 제어하는 목표는 고속에서도 부하 토크를 이길 수 있는 충분한 토크를 내는 데 있다. 고속시 일정 토크를 내기 위해서는 토크, 즉 전류의 상승시간을 줄여야 한다. 그 방법으로 저항을 이용한 전류 제한 방식과 정전류 방식 등이 많이 연구되어 왔다. 본 연구에서는 여자순서를 전류로 넣는 전류원 방식을 구성하여 위의 두 방식과 비교,검토하고자 한다.

2. 전류원을 이용한 스텝 모터 구동 시스템

전류원을 이용한 스텝 모터 구동 시스템의 전체 블럭 선도는 그림 2-1과 같다. 다이오드 D1, D2 는 각각 트랜지스터 보호 및 환류용이고 쇼크 인덕터 Ld 는 전류를 평활하게 하기 위한 것이다. 히스테리시스를 가진 비교기에 의해 원하는 전류가 부하로 흐르게 되는데 이때 Ld 의 크기는 다음과 같이 정한다.

$$\Delta T = \Delta T_{on} + \Delta T_{off}$$

$$= L \cdot \Delta I (1/(V_s - E_m) + 1/E_m)$$

$$L = L_d + L_m$$

여기서 Lm, Em ; 전동기의 인덕턴스 및 최대 기전력 ΔI, 1/ΔT ; 전류폭 및 스위칭 주파수

위에서 Ld 의 크기가 전동기의 권선 인덕턴스보다 10 배 이상 크게 되면 전류원으로 생각할 수 있으므로 구동회로는 그림 2-2로 나타낼 수 있다. 전류원은 개방할 수 없으므로 각 여자 순서는 스위칭 소자의 스위칭 시간만큼 중복시켜야 한다. 여자된 각 상 권선의 인덕턴스에 저장된 에너지는 제동 캐패시터스로 옮겨져 어느 이상 되면 저항을 통해 소모시킨다.

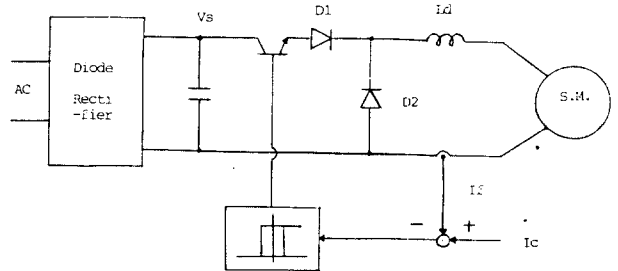


Fig.2-1 Block diagram of overall system

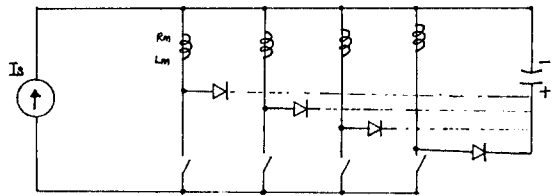


Fig. 2-2 Step motor driver

3. 제 특성 비교

본 연구에서는 2상 이중(bifilar)권선으로 된 스텝 모터를 대상으로 1상 여자 방식의 구동에 목적을 두었다. 그림 3-1은 이중 권선의 각 상당 등가모델로서 R 은 저항을 이용한 전류제한 (I)방식에서는 (Rm + Rs)이고 나머지는 Rm이다. L 은 전류원 (III)방식에서는 (Lm + Ld)이고 나머지는 Lm이고, 이중 권선 상당 상호 인덕턴스 Lc 는 -Lm이다. 이 등가회로의 1상에 대한 등적 전압식은

$$V_{in}(t) = R i(t) + d\lambda/dt$$

여기서 ; 고정자 권선의 전 자속
자기 회로가 선형이고, 영구 자석의 자속 채고는 공간상
정현파적인 분포를 가지며, 해석적인 분석을 위해 고정자
권선의 자속 채고는 회전자 위치에 무관하다면

$$\lambda = \lambda_i + \lambda_{pm}$$

$$\lambda_i = L i(t) - L_c i'(t)$$

$$\lambda_{pm} = \lambda_m \sin(p - p_0)$$

여기서 p , p_0 ; 초기 회전자 위치 및 회전자 위치
위의 두 식으로부터

$$V_{in} = R \cdot i + L \cdot di/dt - L_c di'/dt + w\lambda_m \cos(p - p_0)$$

여기서 $\lambda_m = Ke/Nr$, $Ke = Kt = Th/Ir$

Nr ; 회전자 치수

Th , Ir ; 전동기의 홀딩 토오크 및 정격 전류

w 에 대한 개략적인 전압 및 전류파형은 그림 3-2와
같고, 세 방식을 효율을 떠나서 동일 조건에서 비교하기
위해서 V_s 는 $(R_m + R_s) Ir$ 로 주었다. 먼저 기동 및 정지
특성을 알기 위해서 1스텝운전 특성은, 부하식

$$Nr (Tor - T_m) = J_m dw/dt + B_m w$$

여기서 J_m , B_m , T_m ; 전동기의 관성모멘트, 점성계수 및
부하 토오크

과 전력 및 토오크식

$$Pow = 4/T \int_0^T i(t) c(t) dt$$

$$tor = Pow/w$$

$$c(t) = Ke w/Nr \cos(p - p_0)$$

을 Runge-Kutta 방법을 이용하여 구한다. 또한 고속시
토오크 특성은 탈출(Pullout)토오크로부터 알수 있는데,
이때는 충분한 가감속을 하여 출력은 입력 속도를
따라간다는 가정하에 구하게 되는데, 시간뿐 아니라 앞에서
정의한 초기 회전자 위치, 즉 입력 전압을 스위칭하는
순간의 회전자의 지연 위치의 함수로 표현된다. 그림 3-3은
주어진 속도에 대한 탈출 토오크곡선을 구하는 흐름도이다.

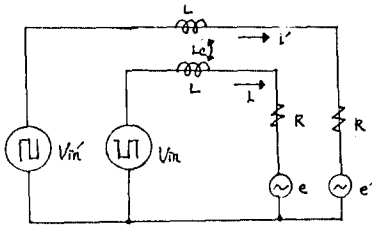


Fig. 3-1 Equivalent model for each bifilar winding

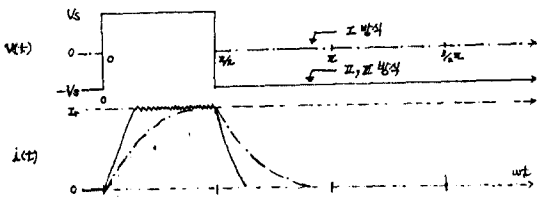


Fig. 3-2 Voltage and current waveforms for wt

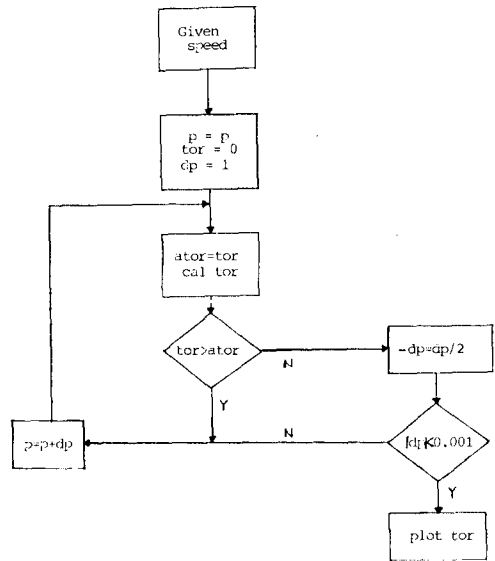


Fig. 3-3 Flow chart to determine pullout torque

4. 결과

시뮬레이션에 사용한 스텝모타는 SIGMA 20-
2215D200-E1.5로서, 그 사양은 아래와 같다.

R_m ; 1.45 [ohm]

L_m ; 1.2 [mH]

Ir ; 1.7 [A]

Th ; 30 [oz-in]

J_m ; 0.3 [oz-in]

1) 스텝 운전 특성

그림 4-1은 1스텝운전시 위치 특성으로 전류가 기계적
시상수보다 빨리 증가하면 상대적인 성능은 크게 좋아지지
않는다. 즉 1스텝특성은 전동기 관성 및 부하 토오크에 더
크게 영향을 받는다. 그림 4-2는 전류 특성으로 I방식의 경우
전류의 상승 시간을 줄이는 만큼 전부 열로 소비되므로
효율이 나쁘다. 정전류(II) 방식의 경우 효율은 좋으나
주파수 특성이 나쁘다. 주파수가 높으므로 스위칭 손실 및
스위칭 소자의 선택의 문제는 물론 전류의 맥동으로 인한
안정도도 문제가 된다. 또한 권선의 인덕턴스가 크면
입력전압의 한계로 좋은 성능을 기대하기 어렵다.

2) 탈출 토오크 특성

그림 4-3은 속도에 대한 탈출 토오크 곡선으로, 그림
1은 지연각을 주지 않은 경우이고, 그림 2는 지연각을
변화시킨 경우이다. 일반적으로 I방식의 경우 속도가
증가하게되면 부하각이 커지게되는데 지연각이 부하각에
일치하면 토오크는 거의 최대가 된다. 그러나 II, III방식의
경우 전류가 흐르는 모드에서는 크게 영향을 받지 않는다.
즉 가감속 패턴이 달라지더라도 거의 같은 토오크를 얻을 수
있다. III방식의 경우 스위칭 소자의 스위칭 시간을 편

여자하는 구간동안 정격전류를 유지하고 있으므로 가장 토오크가 크다. 실제로는 고속에서 기계적인 효율을 포함한 전 효율이 떨어지고, 코일의 인덕턴스가 증가하게 되므로 토오크는 저하된다.

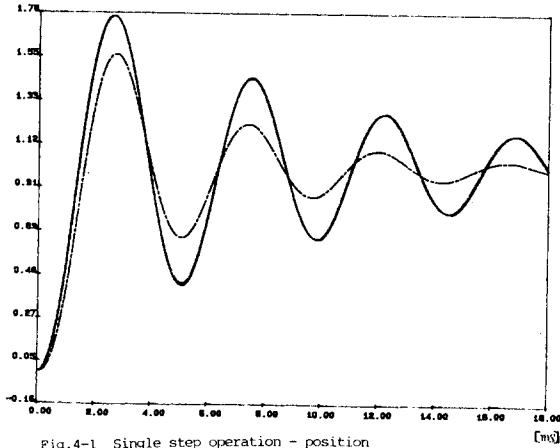


Fig.4-1 Single step operation - position

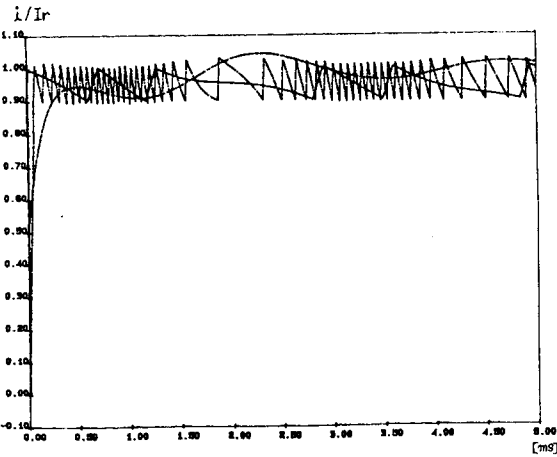


Fig.4-2 Single step operation - current

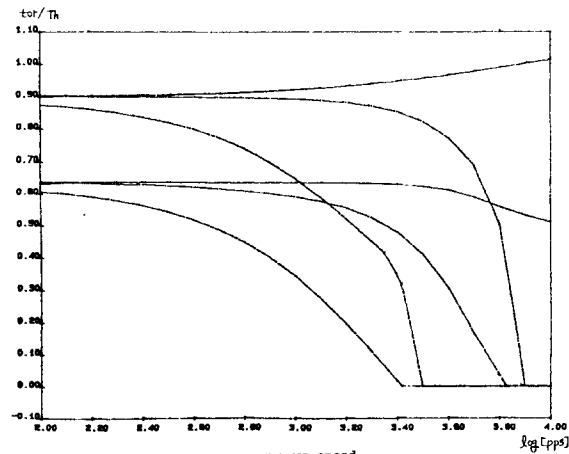


Fig.4-3 Pullout torque curve vs speed

5. 결론

본 연구에서는 전류원을 이용하여 스텝모터를 구동하는 경우 저항을 이용한 전류제한 방식과 정전류 방식에 비해 다음과 같은 장점을 갖는다. 1) 효율 및 주파수 특성이 좋고, 전류 맥동이 적으며, 전압 및 권선의 인덕턴스 크기에 대한 영향이 적다. 또한 가감속시 전류양을 조절할 필요가 있는 경우 손쉽게 할수있다. 2) 고속에서도 어느 일정 토오크를 낼수 있다. 그러나 그 특성상 아래와 같은 단점이 나타난다. 1) 쇼크인덕터를 사용하므로 시스템이 커지고 노이즈를 수반한다. 2) 1-2상 여자나 2상 여자를 시킬 경우 두 권선이 단락되어 큰 순환전류가 흐르므로 두개의 전류원을 사용해야한다.

6. 참고 문헌

- 1) Benjamin C.Kuo, "Theory and application of step motors"
- 2) Takashi Kenjo, "Stepping motors and their microprocessor controls"