

단상 영구자석 모터 구동을 위한 H-Bridge 의 전류제어회로

우 경 일*, 권 병 일*, 김 기 봉**
 한양대학교* STMicroelectronics**

Current Control Circuit for Drive of Single Phase Permanent Magnet Motor Using H-Bridge

Kyungil Woo*, Byungil Kwon*, Kibong Kim**
 Hanyang Univ.*. STMicroelectronics**

Abstract - 본문의 내용은 영구자석을 사용한 단상 브러시리스 모터의 구동을 위한 H-Bridge 구동회로에 적용된 전류제어 회로에 관한 실험결과이다. 부하전류가 목표치 이상인 경우 enable 를 차단하면 순간적으로 센서저항의 전위가 0 으로 되고 이로인해 다시 순간적으로 스위칭이 이루어 지므로 매우 빠른 주기로 스위칭을 반복한다. 이 문제점을 해결하기 위하여 래칭회로를 필요로 하는데, 본 제안에서는 두 개의 NAND GATE 와 하나의 NOT GATE, 그리고 RC network 를 조합하여 FLIP-FLOP 과 시지연을 이루는 방법을 실현하였다. 이와같은 전류제어회로는 constant off time 의 특성을 가지는데, 일반적으로 사용되는 PWM 제어회로에 비하여 매우 단순하면서도, 저항부하 및 모터부하에 대해 공히 능동적으로 작동함을 입증하고 있다. 본문에서는 제안된 전류제한회로의 구조와 H-bridge 구동모드, 그리고 전기적 특성에 대한 연구결과를 설명한다.

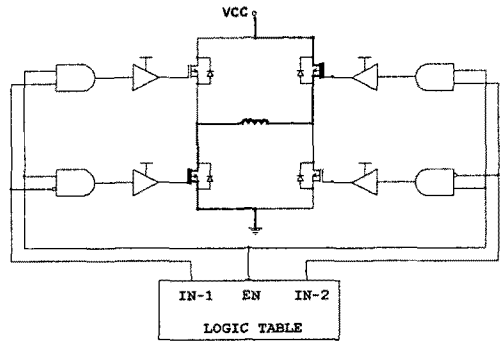


그림 1 H-Bridge 구성 회로

1. BIPOLAR 구동을 위한 H-BRIDGE 회로

본문에서 사용되는 H-bridge 는 영구자석형 단상모터를 구동하기 위한 스위칭 소자로서 적용한것이며, 오늘날 상용화된 H-bridge 는 하나의 칩에 네개의 스위칭 소자를 집적하고있으며, 단상 DC모터의 구동회로로서 H-Bridge 를 사용하면 매우 소형화하고 단순하면서도 다양한 제어 모드를 실현할수 있는 장점들이 있기 때문에 흔히 사용되고 있다.[1]

본문에서 제안된 단상모터의 구동로직은 기본적으로 bipolar 방식을 사용하며, 정방향통전, 역방향통전, 그리고 자유통전의 3가지 기본모드를 교번 적용하면서 회전을 연속적으로 이루어간다.

본 시스템의 기본을 이루는 H-Bridge 는 그림 1에서와 같이 4개의 MOS-FET 와 각 체널마다 AND 또는 NAND gate 와 Buffer 을 가지고 있다. 그림과같은 구성에 의해 3개의 제어입력단자가 만들어지고, 4개의 MOS-FET 는 표1에서와 같은 로직에 의해 동작이 이루어지도록 되어있다. 로직은 표1에서와 같이 enable, input 1, input 2 등 3개의 제어입력을 조합함으로써 구동을 위한 여러가지 모드를 생성해 낸다.[2] Soft free wheeling 은 소호시 모터 코일의 인덕티브 에너지가 상부의 내부순환루프를 통하여 소멸되도록한 로직이며, fast free wheeling 이란 인덕티브 에너지가 역방향 회로를 통하여 전원회로로 반환되도록한 모드를 말한다.

표 1 로직 테이블

Table 1 Logic Table

	EN	IN-1	IN-2
forward conduction	1	1	0
backward conduction	1	0	1
soft free wheeling	1	1	1
fast free wheeling	0	x	x

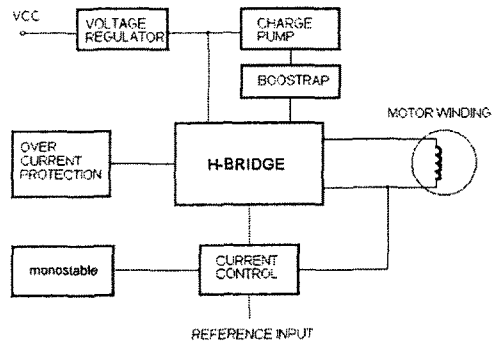


그림 2 H-Bridge 시스템 구성도

모터를 구동하기 위해서는 스위칭 소자로서의 H-bridge 과 로직회로, 그리고 속도제어를 위한 회로,

과전류보호 회로 등을 갖추어야 하며 전체적 시스템 구성도는 위의 그림 2와 같다.

2. 전류 제어회로

본문의 영구자석형 단상 DC 모터에서의 속도는 다음 식에서와 같이 전압의 함수로 주어지므로 전압을 가변하여 속도제어가 이루어진다.[3][4]

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} (T_m - T_L) = \frac{1}{J} (K_T I_a - T_L) \quad (1)$$

$$\frac{dI_a}{dt} = \frac{1}{L} [V - V_Q - R I_a - e_a] \quad (2)$$

속도제어를 위한 회로구성은 그림 3과 같다. 본 제안 회로에서는 두 개의 NAND GATE 와 하나의 NOT GATE, 그리고 RC network 를 조합하여 FLIP-FLOP [5]과 시지연을 이루는 방법을 실현하였다. 실제 응용에 있어서 상용 NAND gate IC 는 4개의 gate 를 하나의 칩으로 만든 것이 많으므로 이 경우, 별도의 inverter 를 사용하기 보다는 NAND gate 를 응용하여 inverter 기능을 하도록 하면 경제적이실 수 있다.

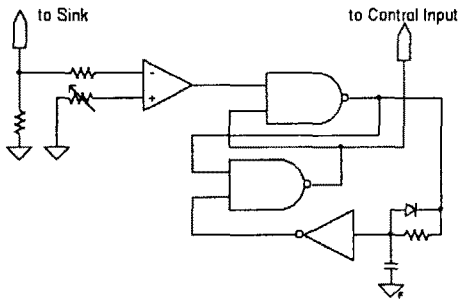


그림 3. 래칭형 전류제어 회로

2.1. 저항부하에 의한 전류제어

입력량과 제어량에 따른 변화를 설명하기 위하여 저항부하를 사용한 응답특성을 실험하였다. 입력전압이 15V 일 때, 제어량을 237.46 mV 로 설정하였을 때, 그림 4에서와 같이 EN입력파형은 주기가 158.05 usec 이며, off duty 진폭은 79.96 usec 이다. 그러나 그림5에서와 같이 입력전압을 10.6 V 로 하면 제어량을 동일하게 237.46 mV 로 유지하는 경우, EN입력신호 주기는 635.94 usec, off duty 진폭은 113.84 usec 가 된다. 이것은 입력전압이 감소되므로써 부하전류가 감소하며, 같은 량의 전류를 흘리기 위하여 주파수가 낮아지며, 비선형 특성으로 인하여 off-duty 진폭이 다소 길어진 것이다.

그러나 같은 입력전압인 10.6 V 을 유지하면서 제어량을 156.38 mV 로 감소시키면, 그림 6에서와 같이 같

은 off-duty 진폭인 79.90 usec 을 유지하면서 부하전류값을 낮추기 위하여 주파수를 증가시켜, 주기가 156.07 usec 임을 볼수 있다.

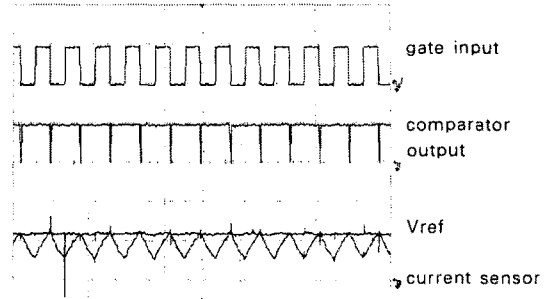


그림 4. Vref 237.46mV, 입력전압 15V 의 파형

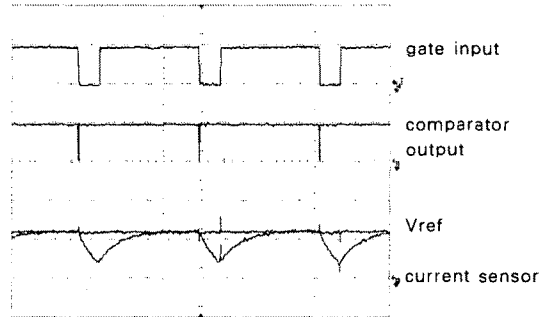


그림 5. Vref 237.46mV, 입력전압 10.6V 의 파형

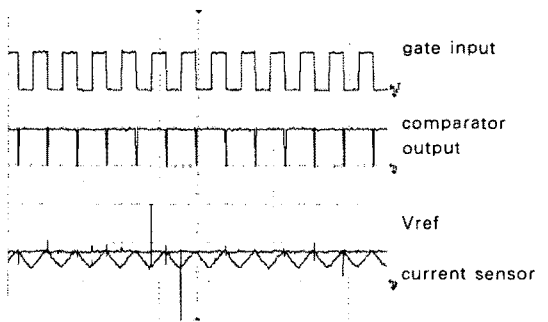


그림 6. Vref 156.38mV, 입력전압 10.6 V 의 파형

위의 그림에서 나타난바와 같이 비교기에서 나온 출력 파형은 진폭이 매우 좁다. 이것은 앞서 설명한 바와 같이 부하전류가 제어량을 넘었을 때 스위치를 Off 시켜 주는데, 그 즉시 전류는 비교값 이하로 되어 다시 On 신호를 출력하기 때문이다. 이로인하여 발생하는 과도한 스위칭 현상을 방지하기 위하여 비교기의 입력부에서 시지연 회로를 사용할수도 있지만, 제어의 안정성을 고려할 때 출력단에서의 Latching 회로를 사용함이 더 유용하다. Off time 은 RC 시정수에 의해 정해진다.

다음의 두 실험결과는 RC 값의 변화에 의한 off time, 주파수 등의 특성변화를 측정 한 것이다.

결과에서 알수 있는바와 같이, 저항이 작아지면 주파수가 증가하며 주기는 짧아지고, Off time 이 짧아지고 On-Duty 진폭이 증가한다. 따라서 평균제어량은 증가하게 된다. 한편, 커패시턴스의 값을 증가시키면, 시정수가 증가하고 주파수가 감소하며 주기가 길어진다. 또한, On-Duty 가 감소한다. 그림 7과 8은 결과를 그래프로 표시한 것이다. 그림에서와 같이 저항에 의한 변화가 커패시턴스의 변화에 의한 변화량보다 훨씬 큼을 알 수 있다.

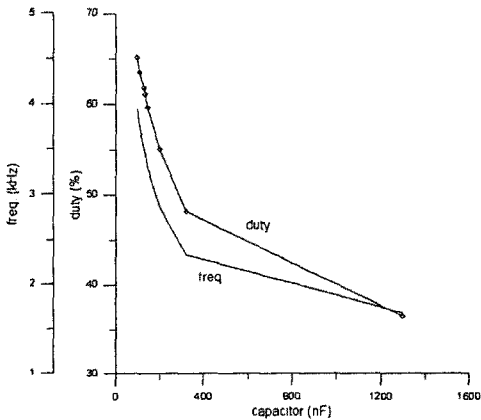


그림 7. RC network 에서 C 의 변화에 의한 특성 변화

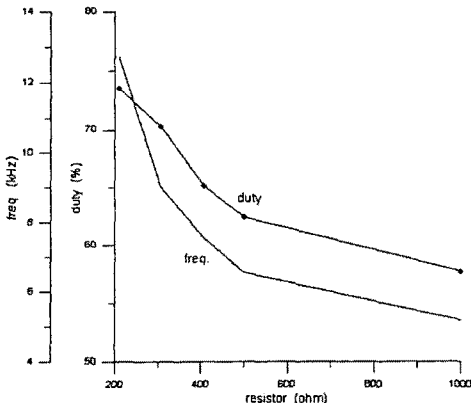


그림 8. RC network 에서 R 의 변화에 의한 특성 변화

2. 2. 모터부하에 의한 전류제어

다음 그림 10 과 11은 모터를 부하에 연결하여 측정한 결과이며 전류제어량은 동일하게 190mV 로 설정되어 있다. 그림 9는 입력전압이 20V 로써 상대적으로 낮

은 값인 경우이고, 그림 10은 입력전압이 30V 로써 높은 경우이다. 그림에서와 같이 전류의 값은 설정값에 대해 정확히 제어되며 제어된 파형은 사다리꼴 모양을 하고 있다.

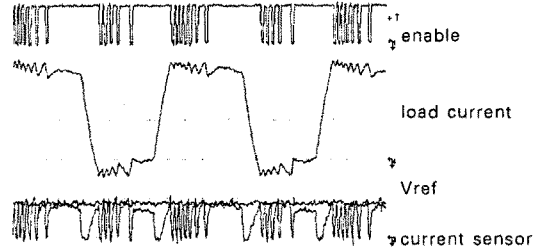


그림 9. 20V 입력에서의 전류제어 파형

두 개의 그림을 비교하면 동일한 제어량인데 반해 전류의 파형은 달라진 것을 알수 있는데, 이것은 입력전압이 높으면 동일한 제어량을 유지하기 위하여 전류파형이 제한되는 영역이 증가하기 때문이다.

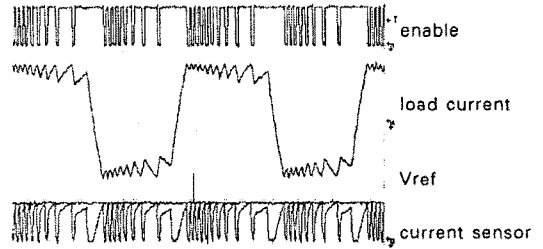


그림 10. 30V 입력에서의 전류제어 파형

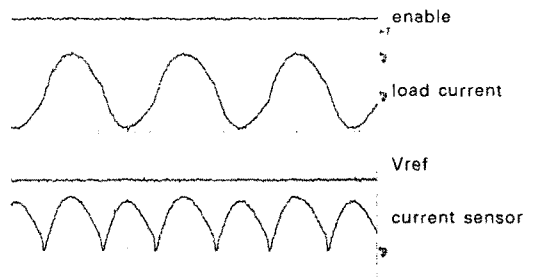


그림 11. 제어를 하지 않은 부하전류 파형

그림 11에서와 같이 제어설정값을 370 mV 로 높게 하면 전류파형이 제어 되지 않은 상태이다. 여기서 보는 바와 같이 본문에서 제안한 단상영구자석모터의 기본전류 파형은 정형파임을 알 수 있다.

실제의 팬 부하를 가지고 스위칭-온 위치를 이동 하였을 경우, 동일한 회전수를 갖게하기 위한 소요전력의 실험결과와 위치이동에 따라 변화 함을 발견 할수 있다. 스위칭-온의 위치를 이동함은 홀센서의 위치를 가변 시키는 방법과 마이크로 컨트롤러에서 점화 시기를 변경시키는 방법이 있다. 전류의 시작점을 이동한다는 것은 토오크의 대수합에 영향을 미친다.

본문에서의 단상 영구자석 모터는 bipolar 로 구동되며 전류의 파형은 그림 11에서와 같이 정현파를 이루고 있다. 그림12에서 보여진 2상 BLDC motor(6)의 상 전류 파형은, 일반적으로 많이 사용되는 3상 BLDC motor 와 거의 동등하다. 이러한 전류 파형과 비교할 때, 본문에서 제안된 단상 BLDC motor의 경우는 매우 이상적인 형태임을 알 수 있다.

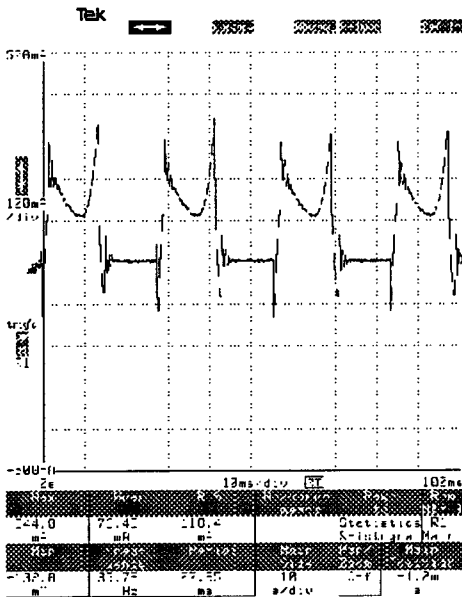


그림 12. 2상 BLDC motor 의 부하전류 파형

3. 결 론

본문에서는 영구자석을 회전자로 갖는 단상 BLDC 모터의 구동회로에서의 성능향상에 관한 연구의 목적으로서 전류제어회로에 대한 연구결과를 나타내었다. H-bridge 를 사용하는 경우에 latching 회로를 사용하지 않고 전류제한을 단순히 온-오프 동작으로만 하는 경우, 스위칭 주파수가 매우 높아서 소자에서 발생하는 열을 억제할 방법이 없게된다. 본문에서는 종래 주로 사용하는 PWM 제어방식에 비해 제작비용이 매우 적게들면서 신뢰성있는 회로를 제안하고 그 특성을 설명하였다. 소형 단상 모터를 사용하는 응용범위는 일반적으로 저가격의 용도이므로 제어회로 역시 그러한 목적에

충실하여야 하는데, 본문에서는 매우 단순한 구조의 제어회로를 통하여 능동적인 전류제어를 얻을수 있으며, 제어방법이 매우 간단하여 사용이 용이함을 실험적으로 증명하고 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] Murari, Bertoni, Vignola, "Smart Power ICs", Springer, 1995
- [2] 김기봉, 권병일, "2상영구자석을 내장한 집적소자를 이용한 BIPOLAR 2상 스텝핑 모터의 정현파 마이크로 스텝핑 구동 및 특성연구", 대한전기학회 2001 하계학술대회, 7, 2001
- [3] TJE Miller, "Blushledd Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives", Clarendon Press, 1989
- [4] J.R.Hendershot, TJE Miller, "Design of Brushless Permanent Magnet Motors", OXFORD, 1994
- [5] Schilling, Belone, "Electronic Circuit-Discrete and Integrated", McGraw-Hill, 1979
- [6] S.C.Park, T.H.Yoon, B.I.Kwon, Y.S.Jin., "Finite Element Analysis of a Two-Phase Brushless DC Motor", SMC'99, 1999