2001년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2001.7.18-20

2상여자로직을 내장한 집적소자를 이용한 BIPOLAR 2상 스테핑 모터의 정현파 마이크로 스테핑 구동 및 특성연구

김기봉, 권병일
STMICROELECTRONICS, 한양대

Drive and Characteristics of Sinusoidal Micro Stepping for 2 Phase Bipolar Stepper Using 2 Phase-On-Logic IC

KIBONG KIM, BYUNGIL KWON
STMICROELECTRONICS, HANYANG UNIVERSITY

Abstract - 본 논문은 스테핑 모터의 구동 중에서 2상여자모드와 마이크로 스테핑의 주기성이 동일함에 기초하여 32 스텝의 정현파 마이크로 스테핑을 실현하고 그 특성을 연구한 내용이다. 마이크로 스테핑은 스테핑 모터의 스텝각을 크게 세분화하여 구동함으로써 진동과 소음이 적고 부드럽게 구동하고자 하는 방법인데, 본 논문의 정현파 마이크로 스테핑은 종래의 마이크로 스테핑에 비하여 더욱 우수한 저진동 저소음 특성을 나타낸다.

1. 서 론

스테핑 모터는 스텝펄스를 이용하여 구동하므로 구동력과 제동력이 번갈아 발생하며, 이 특성을 이용하여 정확한 스텝각을 유지하는 시스템이다. 이러한 마이크로 스테핑 구동은 크게 3가지의 목적을 가지고 있는데, 첫째는 2상여자방식과 1-2상여자방식과의 가운데 위치에서 정지할 수 있다는 위치결정력이고, 두번째는 저속구동시에 발생하는 난조현상과 중속도에서 발생하는 소음을 상당히 저감 시킬 수 있고, 세번째는 공진 문제를 해결할 수 있다. 그러나 마이크로 스테핑이 스텝각 사이에 많은 마이크로 스텝을 가지게 되지만, 선형성과 마찰효과로 인하여 정밀도를 매우 향상시키지는 않는다.[1]

본 논문은 스테핑 모터의 구동 중에서 2상여자모드와 마이크로 스테핑의 주기성이 동일함에 기초하여 32 스텝의 정현파 마이크로 스테핑을 실현하고 그 특성을 연구한 내용이다. 마이크로 스테핑은 스테핑 모터의 스텝각을 크게 세분화하여 구동함으로써 진동과 소음이 적고 부드럽게 구동하고자 하는 방법인데, 여기 소개된 정현파 마이크로 스테핑은 종래의 선형 마이크로 스테핑에 비하여 더욱 우수한 저진동 저소음 특성을 나타낸다.

로직소자를 사용하면 집적소자에 이미 갖추고 있는, 펄스발생기능, 부하전류 감시기능, 외부진단기능, 과전류 보호기능, 회전방향 선택기능, 전력 스위칭 소자, 및 주변회로 등의 기초 회로를 그대로 사용할 수 있어 매우 편리하다. 따라서 이러한 기본집적소자를 기초로 하여 정현파 마이크로 스테핑의 기능을 부가하면, 종래의 마이크로 스테핑 시스템에 비해 매우 우수한 성능의 시스템을 구현할 수가 있다.

2. 시스템 구성 및 특성

2.1 마이크로 스테핑 구동

2상여자로직소자를 가지고 마이크로 스테핑 구동을 실현하기 위하여서는 먼저, 실현의 가능 이유를 밝힐 필요가 있고, 다음은 소개된 마이크로 스테핑의 원리가 설명되어야 할 것이다.

2.1.1 마이크로 스테핑 주기의 2상여자와의 유사성

이 논문의 연구는 2상여자로직을 가진 집적소자를 이용하여 마이크로 스테핑을 구동하는 것이므로 가장 중요한 기초의 하나로써 2상여자의 기본특성이 마이크로 스테핑과 유사함을 발견하여야 한다. 이를 위하여 먼저 그림1에서와 같이 3개의 스테핑 모터 구동 파형을 비교한다. 맨 위의 파형은 1상여자모드이며 두번째는 1-2상여자모드, 그리고 세번째 파형은 2상여자 모드이며 이들 파형의 주기는 맨 아래의 클락 사이클을 중심으로 비교할 수 있다.

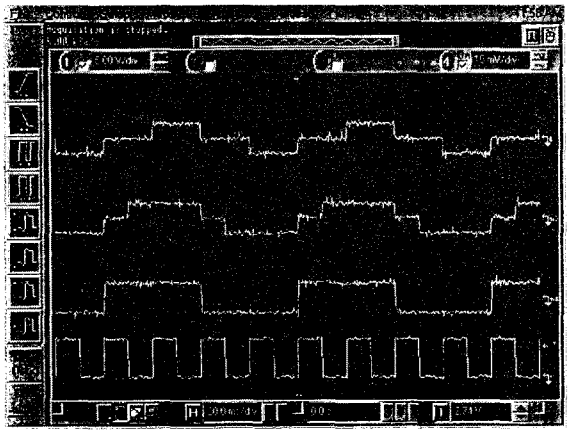

그림 1. 1상여자, 1-2상여자, 2상여자구동의 전류 파형 비교

상기 3가지 파형은 같은 주기를 가지나 1상여자의 경우 2스텝의 제로상태를, 그리고 1-2상여자의 경우는 1스텝의 제로상태를 가지며, 2상구동파형만이 제로상태 없이 전 영역에 걸쳐 정 또는 부의 전류값을 가진다. 따라서 이러한 주기성을 이용하여, 각상의 전류를 벡터적으로 제어하면 마이크로 스테핑을 얻을 수 있다는 생각을 할 수 있으나, 로직소자의 경우 정해진 기능 외의 외부제어의 가능범위가 매우 한정되므로 소자의 내부특성을 이해할 필요가 있다. 집적소자의 회로구성은 그림 2에서의 블록도와 같이, 크게 보아서 모우터에 전원을 스위칭 하기위한 H-Bridge 와 입력신호를 받아들여 로직을 구성하기위한 Decording 회로로 구성된다. Input interface 에서 clock pulse, enable, control, mode, direction,

reset 등을 지정한다.

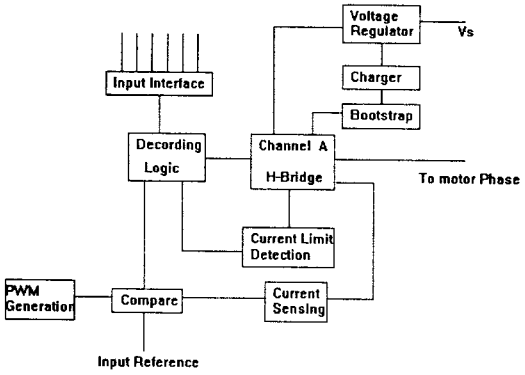

그림 2. 로직소자의 시스템 블럭도

집적회로에 내장된 전력스위칭 소자의 회로의 기본도는 그림2와 같다. 상단의 MOS-FET 는 boot-strap 전원이, 그리고 하단 스위치에는 전원전압이 인가된다. 그림 3 에서 나타낸 바와 같이 H-Bridge 의 스위치를 표1에서의 로직 테이블과 같이 제어함으로써 2상여자 구동을 얻을 수 있는데, 이러한 로직이 집적소자에 내장되어있는 경우는 이것을 따로 만들 필요성이 없으나, 반대로 본 연구에서 목적하는 바와 같이 마이크로 스테핑 등의 임의의 제어 모드를 얻고자하면 집적소자의 특성을 자세히 연구할 필요가 있고, 경우에 따라서는 불필요한 기능이 목적기능을 방해할수도 있으므로 오히려 불이익 일수도 있다.

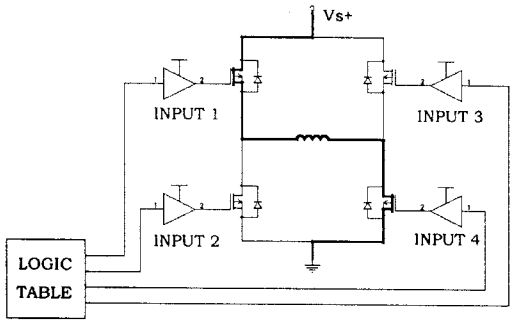

그림 3. 각 채널당 전력스위칭 회로의 기본도

표 1. 2상여자 로직 테이블

Logic Table for full step mode drive is

STEP	CH. 1				CH. 2			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	0	0	1	1	0	0	1
2	0	1	1	0	1	0	0	1
3	0	1	1	0	0	1	1	0
4	1	0	0	1	0	1	1	0

본 논문에서 사용된 로직소자는 SGS-Thomson 사의 L6208로써 클락펄스를 입력하면 내부에서 2상여자 로직을 만들어 이를 전력소자를 거쳐 바로 모터에 출력 할 수 있도록 제작된 것이며 외부에서 임의로 마이크로 스텝 로직을 입력할 단자는 주어져 있지 않다. 마이크로 스테핑의 파형을 관찰하면 정의 값을 갖는 반주기와 부의 값을 갖는 반주기로 구성되어 있는데, 이러한 반주기 특성은 2상여자로직과 같다.

2.1.2 마이크로 스테핑의 실현

마이크로 스테핑 제어를 하기 위하여, 먼저 2상여자 로직을 작동시키며 제어용 마이크로 컨트롤러의 제 기능과 로직소자의 제 기능을 일치시킬 필요가 있고, 이 과정은 매우 중요하다. 왜냐하면, 로직소자는 내부적으로 클락사이클에 따라 시퀜스가 이루어지며, 한번 작동하기 시작하면 연쇄적으로 기능들이 작동되므로 임의의 시각에는 모든 것이 일치해 있지 않다. 그리고 마이크로 스테핑은 마이크로 컨트롤러에 의해 명령이 교환되므로, 마이크로 컨트롤러의 제 동작과 2상여자 로직소자의 제 동작의 시각이 일치하여야만, 위상이 틀려지지 않게 바른 마이크로 스텝각을 만들어 낼 수 있다. 이러한 과정을 동기화(synchronization)라고 한다. 두 개의 상에 대한 입력을 정현파적으로 제어하기 위하여 두개의 PWM 파형을 독립적으로 발생시켜 각상에 공급하는데, 프로그램 가운데서 가장 중요한 것의 하나인 timer interrupt 의 내부 flow-chart 는 그림 4와 같다.

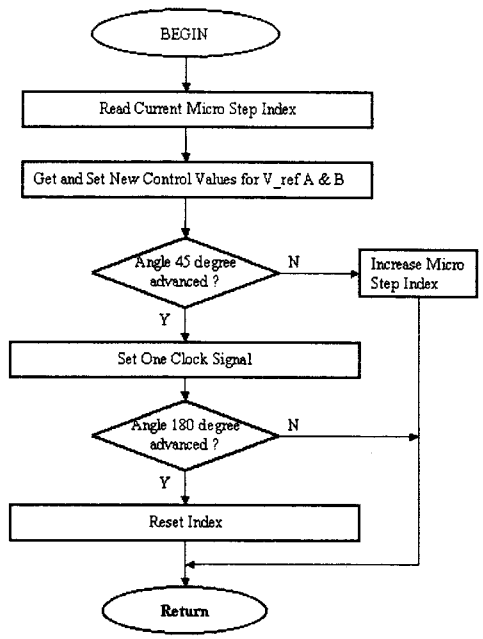

그림 4. 마이크로 스테핑 프로그램의 Multi Function Timer Interrupt Flow-Chart

본 연구에서의 시스템은, 먼저 스테핑 모우터에 연결된 2상여자로직소자 회로가 있고, 그 2상여자 로직소자는 마이크로 컨터롤러와 연결된다. 이 마이크로 컨트롤러는 컴퓨터에서 제어되기 위하여 RS232 cable 로 컴퓨터의 serial port 로 연결된다. 컴퓨터에서는 윈도우 환경에서 작동하는 제어용 소프터웨어가 설치되고, 이것에 의하여 컴퓨터에서의 제어명령과 마이크로 컨트롤러의 응답신호가 SCI(serial commucation interface) 를 통해 교환된다.

반드시 컴퓨터 환경에서 제어할 필요는 없으나, 연구과정에서의 편리성이 주된 이유이고, 참고문헌 [2]에서 소개한 바 있는, 윈도우 환경의 제어용 프로그램의 우수한 기능성으로 인하여 컴퓨터를 이용하여 제어하였으며

그 기능은 컴퓨터 환경이 아닌 키패드와 마이크로 컨트롤러로 구동할 때에 비해 편리하면서도 우수한 효과를 나타낸다.

2.2 구동특성

본 논문에서 언급한 마이크로 스테핑은 2상여자 로직을 내장한 집적소자를 이용하므로 집적소자의 다양한 기능을 복합적으로 응용할 수 있는 매우 큰 장점이 있다. 본절에서는 마이크로 스테핑 구동에 있어서의 클락펄스의 주파수, 비교신호의 zero-crossing 및 최소값 변화에 대한 여러가지 특성, 그리고 free-wheeling 전류의 빠른 감쇄모드의 특성을 설명한다.

2.2.1 클락펄스 주파수 특성

스태핑 모터의 스텝은 클락펄스에 의해 모드가 주어지며, 모터의 구동 속도는 클락펄스의 진행속도에 따라 정해진다. 그러나, 전류는 모터 코일의 인덕턴스로 인한 시정수 또는 위상지연 등에 영향을 받게 되므로 클락펄스의 간격을 좁힌다고 해서 제약없이 속도를 증가시킬 수 있는 것이 아니다. 그림 5에서와 같이 자연감쇄모드로 운전하였을 때 펄스주기가 10msec 인 경우 이미 전류의 왜형이 발생하며, 주파수가 높아질수록 파형의 일그러짐은 더 커진다. 다른 정수의 모터를 사용하여 시정수가 다른 경우에는 이 한계 주파수가 달라지겠지만, 동일한 모터에 적용하여 보다 나은 제어방법의 연구로 한계주파수를 높일 수 있다면 유익한 결과를 얻게된 것으로 평가할 수 있다.

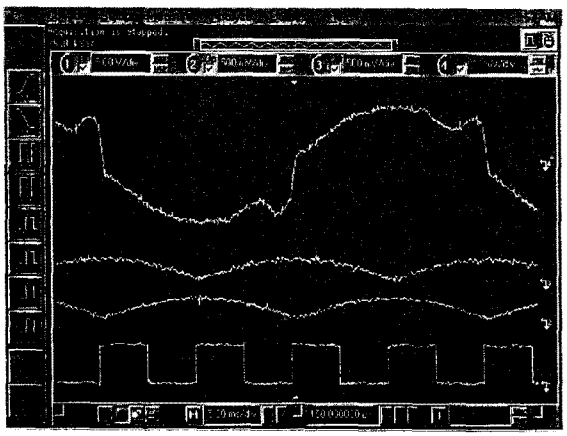

그림 5. 전류파형의 클락 주파수에 의한 영향

2.2.2 비교신호의 zero-crossing 및 최소값 변화에 대한 특성

모든 반도체의 특성이 그러하듯이, 전류제한을 목적으로 하는 비교기 역시 진폭의 대소에는 차이가 있으나 히스테리시스를 가지고 있으며, 그 영향으로 zero-crossing 시에 불연속 현상이 발생한다. 본 연구에 사용된 집적소자의 경우, 히스테리시스 값이 5mV 로 나타나 있다. 따라서 ±5mV 값의 범위에서의 제어는 전혀 역할을 못하게 된다. 따라서, 마이크로 스테핑 파형을 생성시킬 때의 최소값은 이 값을 벗어나 있도록 변형설계를 하여야 한다. 이러한 노력으로 그 영향을 줄일 수는 있으나 완전히 없게 할 수는 없다.

2.2.2 free-wheeling 전류의 빠른 감쇄모드

전류 제한기를 거치면서 온 오프 쵸핑을 하게 되는데, 이때 전류에는 맥동이 많이 포함되어 있는데, 이것은 오프 시간동안의 전류 감쇄 시정수 영향에 따른 것이다. 즉, 코일에 저장된 *co-energy* 가 오프 구간동안 방출이 되어야 하는데, 그것이 감쇄되는 것은 모터의 저항과 인덕턴스의 시정수에 의하여 정해지는데, 이미 제작된 모터의 시정수 바꾸기는 불가능한 것이다. 이를 개선한 것이 오프 구간에서의 감쇄 모드를 변형하는 것인데, 이를 위하여 오프 구간에서는 DC bus 양단에 역방향의 바이어스 전압이 가해지도록 하고 전력소자의 모든 스위치를 개방상태로 유지하고 free wheeling diode 를 통한 폐회로를 이루도록 한다.

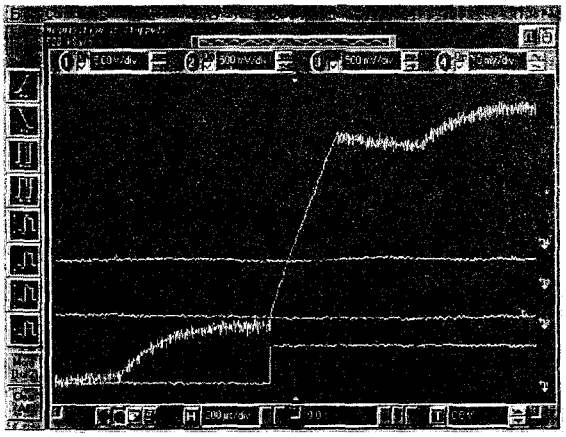

그림 6. 빠른 감쇄모드에서 전류맥동이 최적화된 형상

그림 6은 빠른 감쇄모드의 결과이며, 그 맥동이 최소화되도록 최적화 된 경우이다. 이 모드를 적용하면 전류를 빠르게 감쇄시킬 수 있으므로, 그림 5에서와 같은 속도에서도 전류의 외형이 발생하지 않고, 마이크로 스테핑의 구동 주파수를 매우 높게 향상시킬 수 있다.

3. 결 론

오늘날의 집적소자 제조기술은 bipolar transistor, C-MOS, D-MOS 등의 회로들을 하나의 소자에 처리하여 제조하고 있어 하나의 소자에서 기능이 매우 강력하여 지고있다.[3] 일반적으로의 연구목적에서는 시스템을 독창적으로 설계하는 것인데, 실용적 목표를 가지고 연구에 착수할 때는 최적의 집적소자를 선택한 다음 목적한 기능을 연구하는 경우들이 있으며, 본 연구의 출발은 그러하다. 본 연구의 결과와 같이, 기존의 마이크로 스테핑에 비하여 시스템의 구성이 단순하면서도, 빠른 감쇄기법을 적용하여 마이크로 스태핑의 응답특성 및 고속구동능력을 향상시키며, 제어를 매우 편리하게 할 수 있는 이익을 얻을 수 있다. 또한, 이러한 방법은 본 논문에서 적용된 2상여자 로직 집적소자가 아니더라도 다른 로직 소자 역시 적용이 가능함을 암시하고 있다.

[참 고 문 헌]

[1] W.H.Yeadon and A.W.Yeadon, "HANDBOOK OF SMALL ELECTRIC MOTORS", McGraw-Hill, 2001

[2] 김기봉, "Internet 사용을 위한 Smart Power Developement System", 대한전기학회 2000 추계학술대회논문집, 전력전자, 2000년 11월

[3] Murari, Bertoni, Vignola, "Smart Power ICs", Springer, 1995