
다극 BLDC 전동기 구동을 위한 IPM(Intelligent Power Module) 성능 평가 시스템

민병길 · 권영 · 황민규 · 최중경

국립창원대학교

An IPM(Intelligent Power Module) performance evaluation system for the driving of a multi-pole BLDC motor

Bung-kil Min · Young Kunn · Min-kyu Hwang · Jung-keyng Choi

Changwon National University

E-mail : cjk@changwon.ac.kr

요 약

본 논문은 다극 BLDC(Brushless Direct Current) 전동기를 구동하기 위한 인버터 게이트 구동회로 일체형 스위칭 모듈인 IPM(Intelligent Power Module)에 대한 연구이다. 여러 제조사의 IPM을 이용하여 인버터를 설계할 때 각 제조사와 IPM의 버전에 따른 전기적, 논리적 특성을 평가하는 전자회로 시스템을 설계한다.

ABSTRACT

This Paper is about the study that use the IPM(Intelligent Power Module) which is a integrated switching module to drive inverter gates for driving of a multi-pole BLDC(Brushless Direct Current) motors. When designing a inverter using the various manufacturers IPM, it suggests a electronic circuit system to evaluate the electrical and logical characteristics of the IPM with various brands.

키워드

BLDC(Brushless Direct Current), IPM(Intelligent Power Module), 평가시스템

I. 서 론

현재 산업현장과 차량 등 여러 기계장치들의 구동에 BLDC(Brushless Direct Current)전동기가 주 액츄에이터로 사용되고 있다. 이러한 BLDC 전동기를 구동하기 위해서는 게이트 구동회로와 IGBT 스위칭 모듈이 일체화되어 집적되어 있는 IPM(Intelligent Power Module)이 인버터 설계 시 자주 사용되고 있다. 이 IPM을 제품 모델별로 업그레이드 시키거나 대체품을 선정할 때는 사용대상 IPM에 관한 다양한 성능 분석이 필요하다. 그 이유는 사용되고 있는 비슷한 정격의 IPM이 여러 제조사에서 제조되고 있고, 각 제조사 마다 기능 및 전기적 특성이 다양하기 때문이다. 제품이 개발될 때, 데이터시트 상에 각 소자의 특성에 관한 정보가 명시되어 있으

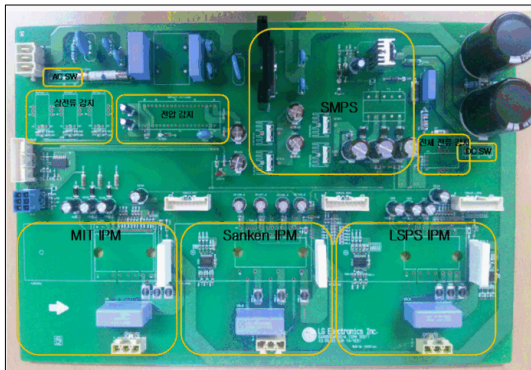
나, 새로 개발되는 제품에서 IPM의 제조사나 버전을 교체하게 될 경우, 기존의 구동능력 유지를 위해 각 제품 모듈의 성능 및 특성의 확인이 필요하다. 이러한 특성 확인을 위해 제품에 장착된 상태에서의 실험 및 평가는 힘든 상황이고, 이 목적을 위해 IPM 용 테스트 보드 제작을 포함하는 특성 비교 분석 시스템 개발이 필요하다. 특히 장비의 구동 환경 및 정격에서의 IPM 특성 분석이 필요하므로 제어대상인 BLDC 전동기가 결선된 상황에서 IPM의 전기적 특성 및 기능을 비교 분석할 수 있는 시스템이 필요하다. 더불어 사용 정격이 변하는 경우에도 적용할 수 있는 분석 소프트웨어의 수정이 용이한 시스템 구축이 필요하다.

본 연구에서는 다극 아우터로터 타입의 BLDC 전동기 부하와 표준저항 부하를 사용하여 3개사(Mitsubishi,

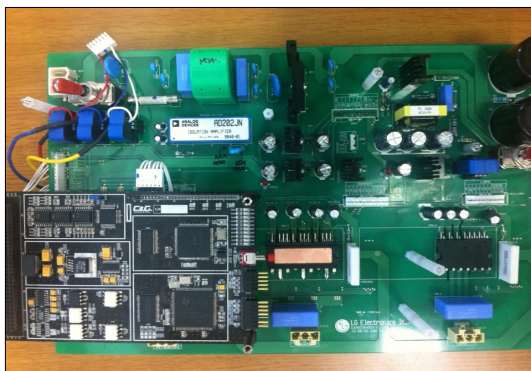
Sanken, LSPS) 3종류 IPM의 특성을 분석한다. 주 특성은 게이트 양단 도통 전압(Vce) 특성과 정격전류(Is 상전류)의 상승 특성 및 전류 제한 폴트 발생 특성이다. 이러한 특성들의 비교 분석은 DSP 분석보드와 IPM 평가보드를 이용하여 그래픽 적으로 얻어진다.

II. IPM 성능 평가 시스템 구조

IPM의 성능을 평가하기 위해 설계된 시스템은 아래 그림 1과 같다. IPM 성능 평가 시스템의 구조는 성능 평가 소프트웨어를 수행하기 위한 제어기와 여러 분석 대상 IPM이 장착된 테스트 보드로 구성되어 있다. 성능을 평가하기 위해 사용된 제어기는 150MHz의 클럭으로 구동되고, 모션 제어를 위한 15KHz의 PWM 발생기, 10bit 분해능의 A/D 변환기를 갖는 TI사의 TMS320F28335 DSP를 사용하였다. 테스트 보드의 구성은 상용전원 정류회로와 3종류의 각 제조사별 IPM 소자가 동작하기 위한 주변회로, DC_Link전압 및 게이트 구동 전압, 전동기에 흐르는 전류를 측정하기 위한 계측용 센서와 전원을 공급하기 위한 SMPS회로, 계측된 센서의 출력을 제어기와 연결하기 위한 커넥터 부분으로 구성 되어있다.



(a) 구성 전



(b) 구성 후

그림 1. IPM 성능 평가 보드와 DSP 분석보드

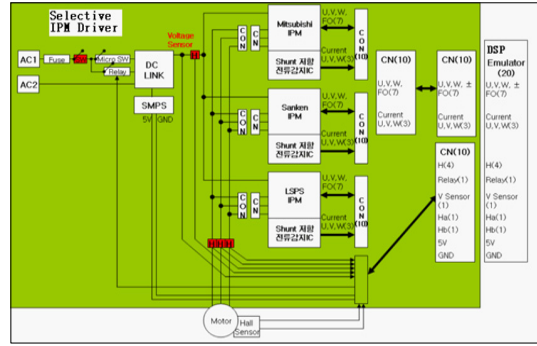
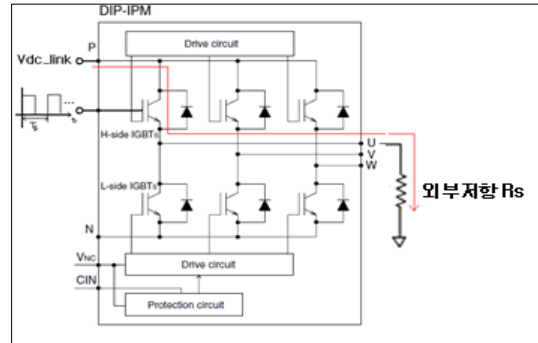
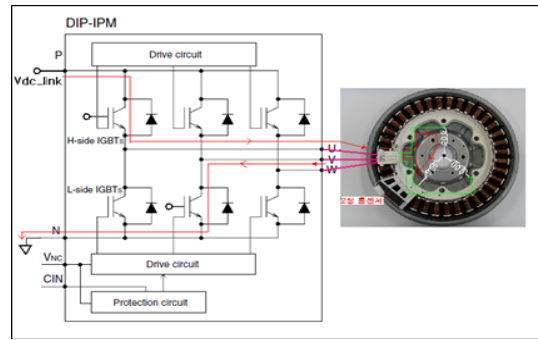


그림 2. IPM 성능평가 시스템 블록도

III. IPM 게이트 양단 도통 전압(Vce_on) 측정 방법



(a) IPM과 표준저항 부하 연결



(b) IPM과 전동기 부하 연결

그림 3. IPM과 표준저항 부하 연결과 IPM과 BLDC 전동기 부하 연결

그림 3은 IPM 게이트 양단의 도통 전압(Vce)를 측정하기 위해 IPM과 표준저항 부하와 BLDC 전동기 부하의 연결을 보여준다. 그림 4와 같이 IPM 내 특정 상단 또는 하단 IGBT에 BLDC 전동기 부하를 연결한 상태에서 펄스 형태의 게이트 구동 신호를 인가한 후 BLDC 전동기 부하에 흐르는 전류를 측정하여 전동기의 R-L 부하에 대응

하는 전류 상승 그래프를 통해 전류 시상수를 산출한다. 더불어 게이트 양단의 Vce 전압을 인가 전압에 대한 전류 회로 해석을 통해 산출한다.

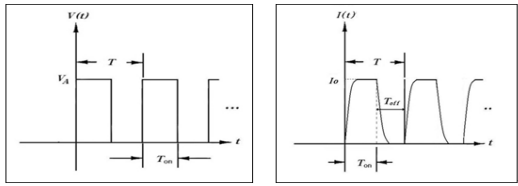


그림 4. IPM 내부 IGBT의 게이트 구동 펄스 신호와 R-L 부하 조건에서의 전류 출력 펄스

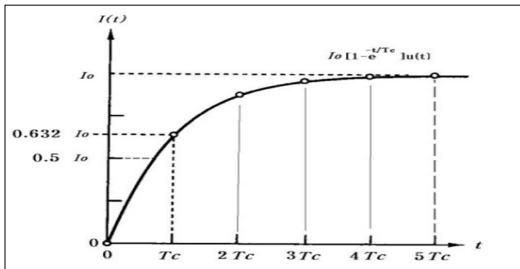
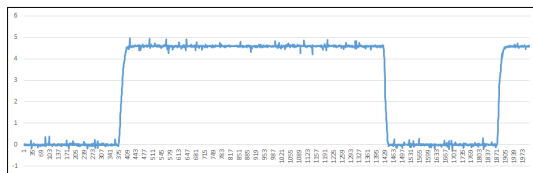
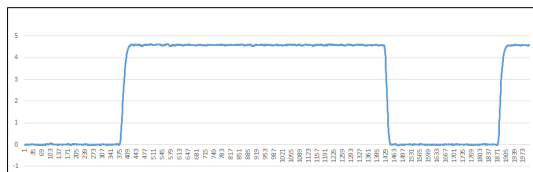


그림 5. BLDC전동기 부하조건에서의 전류 출력 펄스를 통한 시상수(Tc=L/R)의 계산

그림 6의 상단 파형은 본 실험에서 DC_Link 전압이 40V일 때, IPM의 상단 게이트에 스위치로 on/off 신호를 인가했을 때, BLDC 전동기 부하에 흐르는 실제 전류를 측정한 파형이다. 하단 파형은 전류값을 이산치 필터를 통과시켜 노이즈로 판별되는 값을 제거한 데이터를 나타낸 파형이다. 멀티미터로 측정된 BLDC 전동기의 상 저항은 8.8 Ω~9 Ω 정도로 측정되었다.



a) 측정한 전류 파형



b) 이산치 필터 적용 후의 파형

그림 6. BLDC 전동기 부하(9Ω)에서 40V 직류 인가 시 BLDC 전동기 부하에 흐르는 전류

그림 7은 전류가 상승하여 정상상태 도달하는 구

간을 확대한 파형이다. 정상상태의 평균 전류는 4.592A로 계산 되었다. 10Ω/100W 저항 부하만을 연결 하고 40V의 DC_Link 전압을 인가했을 때, 출력된 전류의 평균값 3.83A를 이용하여 Vce 값을 구해보면 다음과 같다.

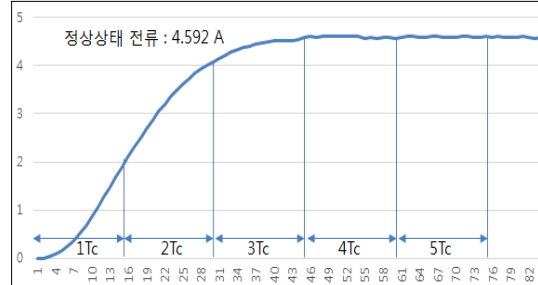


그림 7. BLDC 전동기 부하에서 측정한 전류 출력 펄스의 상승구간

$$\frac{40V - V_{ce(on)}}{10\Omega} = 3.83A$$

$$V_{ce(on)} = 40V - (3.83A * 10\Omega) = 1.7V$$

이 때, 계산된 Vce(on)값을 기준으로 BLDC 전동기 부하의 직류 저항 성분을 계산 해보면 아래와 같다.

$$\frac{40V - 1.7V}{R} = 4.592A$$

$$R = \frac{40V - 1.7V}{4.592A} = 8.34\Omega$$

큰 전류가 흐르는 조건에서의 상 저항과 멀티미터로 측정한 전류가 작게 흐르는 조건에서의 상 저항을 비교해보면 7% 오차가 보인다. 이렇게 확보된 상 저항 값을 이용하여 전동기 부하에 흐르는 전류 데이터 측적으로 게이트 양단 전압(Vce) 값을 유추해낼 수 있다.

IV. 내부 스위칭 로직 에러 판별법

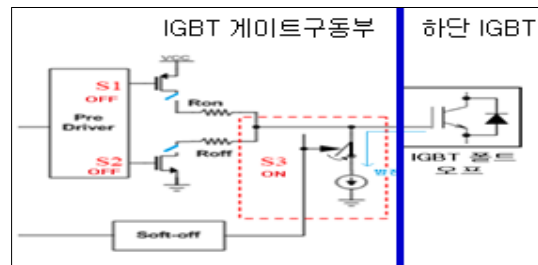


그림 8. 게이트 구동회로의 Fault 시 S3 스위치의 풀다운 동작

IPM 하단 스위치의 내부 게이트 구동회로는 푸시풀 타입으로 ON 시에 내부 S1스위치가 ON이 되고, S2 스위치는 OFF되는 논리 구조를 갖는다. Win에 게이트 OFF 신호가 입력될 경우 푸시풀 회로의 스위치 S1, S2는 반대로 동작하게 된다. Fault 발생 조건에서는 S1, S2는 OFF가 되고 S3 스위치가 ON 되면서 Wout 단에 강제적으로 Low 신호가 출력되도록 한다. IPM 하단 스위치는 Fault 시 특정 조건에서 Fault 복귀(Fault 후 조건 소멸로 다시 복귀되는 과정) 시 이상 동작 가능성이 있다.

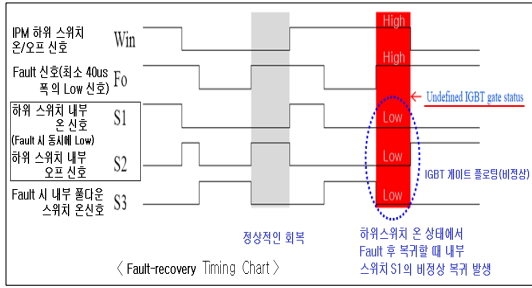


그림 9. 게이트 구동회로의 Fault 복귀 시 이상 동작 로직

그림 9에서 보면 하단 스위치에 Fault 조건 소멸로 다시 S1, S2, S3스위치가 본래 로직으로 돌아오지 못하고, 모든 스위치가 OFF되어 게이트 출력이 플로팅 되는 비정상적인 동작이 발생할 수 있다. IPM 하단 게이트 구동회로의 Falut 복귀 테스트를 위해 U상 단자와 V상 단자를 IPM에 연결한다. IPM의 U상 상단 스위치와 V상 하단 스위치를 동시에 ON하여 BLDC 전동기 2상에 전류를 흘린다. 스위치의 ON상태가 길수록 도통 전류는 크게 상승하여 허용전류인 15A 이상의 값이 흐르면서 IPM 파괴를 발생시킬 수 있다. 그리고 모터의 L값으로 인해 전류 상승이 늦어 15A이상 도통 조건을 만들어 Fault 신호를 만드는데 긴 스위칭 시간을 필요하게 된다.

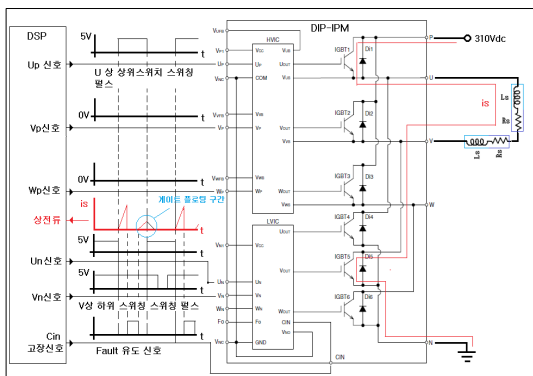


그림 10. 게이트 구동회로의 비정상 Fault 복귀 테스트 회로 및 인가 스위칭 로직 시퀀스

IPM 소손을 막고 빠르게 15A 이상의 Fault 조건을 만들기 위해 외부 인덕터 만을 부하로 스위칭하여 Fault 발생/Fault 복귀 시퀀스를 만드는 시도를 하였다. 이 방법 역시 더 높은 순간 전류의 상승으로 IPM 소손의 위험이 있다.

앞서 언급하였던 방법보다 조금 더 안정적인 방법으로 그림 10과 같이 Fault 신호를 발생시키기 위해 Cin 전류 제한 비교 입력 단에 강제적으로 펄스 신호를 인가하는 방법이 있다. 이 방법은 DSP의 제어신호를 이용하여 스위치를 ON/OFF하기 위한 게이트 신호와 Fault 유발 신호를 적절한 타이밍에 맞추어 주는 방법으로 제어신호 인가와 부하에 흐르는 전류계측으로 IPM의 Fault 로직 에러를 판단하는 것이다.

V. 결 론

본 연구에서는 BLDC 전동기 구동을 위한 인버터 내의 게이트 구동회로 일체형 모듈인 IPM의 성능을 평가하기 위한 시스템을 설계 하였다. 3개사 (Mitsubishi, Sanken, LSPS)의 3종류 IPM 모듈을 타겟 IPM으로 설정하였다. IPM의 게이트 양단 도통전압(Vce) 측정 방법과 정격전류(Is 상전류) 상승 특성 및 전류 제한 폴트 발생기능 확인방법, IPM 내부 IGBT의 스위칭 로직 에러를 그래픽적인 방법을 제시하였다. 본 연구에서는 IPM 게이트 양단 도통전압(Vce) 측정에 관한 실험이 이루어졌고, DSP 계측기를 통해 얻어진 데이터와 실제 값을 비교해 보았을 때, 전동기 부하의 저항 값의 오차가 7%정도로 발생하였다. 이는 전류의 흐름에 의한 IPM과 전동기 부하의 온도상승에 따른 열 저항 발생과 관련이 있다. 온도 상승에 따른 특성 변화의 연구와 정격전류 상승 특성 및 전류 제한 폴트 기능 확인과 IPM 내부 스위칭 로직 에러 판별에 관한 실험, IPM 성능 분석을 위한 PC 디스플레이 프로그램 설계는 추후 과제로 삼겠다.

<본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2013년도 산학협력기술개발사업(NO.C0119457)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.>

참고문헌

- [1] Kuo의 자동제어 (8THEdition, WILEY, 교보문고)
- [2] PS21964-4S Data Sheet (POWEREX,Inc.)
- [3] SCM1242MF Data Sheet (SANKEN ELECR TIC CO., LTD., 2012/5/25)
- [4] IKCM15H60GA Data Sheet (LS Power Semitech, May.2012)