

IGBT용 지능형 구동회로

김 만고, 김 진환, 전성준, 노의철, 김인동
부경대학교

Intelligent Driving Circuit for IGBTs

Mam-Go Kim, Jin-Hwan Kim, Seong-Jeub Jeon, Eui-Cheol Nho, and In-Dong Kim
Pukyong National University

Abstract

IGBT 소자는 고전류 밀도의 특성을 지니면서 구동전력이 작기 때문에 500 V 이상의 고전압 응용에서 널리 이용되고 있다. 본 논문에서는 기존의 IGBT 소자의 구동회로가 갖는 기본기능 이외에 소자에 대한 보호기능과 소자의 동작 상태를 감지하기 위한 모니터링 기능을 갖는 지능형 구동회로에 대해 제안한다.

제안된 회로는 소자에 비정상적인 큰 전류가 흐를 경우 논리회로에 의해 게이트 구동전압을 일정시간 즉시 차단하여 소자를 과전류와 과열로부터 보호하고, 소자의 동작 상태가 정상인지 차단 상태인지 감지할 수 있다. 언급한 기능을 가진 구동회로가 제시되며, 제안된 회로의 동작은 Pspice를 이용한 시뮬레이션 및 실험을 통해 확인된다.

의 동작상태를 감지하기 위한 모니터링 기능을 갖는 지능형 구동회로에 대해 다룬다 [3]. 지능형 구동회로에서는 IGBT 소자에 단락 전류와 같은 비정상적인 큰 전류가 흐를 경우 논리 회로에 의해 게이트 구동전압을 제거하여 소자를 보호하는 기능이 제공되고 큰 전류에 의해 소자의 반도체 접합부에 발생된 열이 외부로 전달되어 열적 안정 상태에 도달할 때까지 게이트에 인가되는 제어 입력을 차단하는 열적 보호기능을 가지며, IGBT 소자의 동작상태를 감지하기 위한 모니터링 기능을 가진다. 언급한 기능을 가진 지능형 구동회로가 제안되며, 제안된 회로의 동작특성은 Pspice 시뮬레이션 및 실험을 통해 타당성을 검증한다.

II. 제안된 구동회로

I. 서론

IGBT 소자는 BJT의 장점과 MOSFET의 장점을 어느정도 갖고 있어서, 고전압에서 도통전압 강하가 낮고 전압제어에 의해 제어되는 소자이기 때문에 소자의 구동전력이 적은 특성이 있다. 그리하여, MOSFET 소자의 사용이 곤란한 500 V 이상의 고전압 응용에 널리 사용되고 있으며 최근에는 대용량 IGBT 소자의 개발로 점차 사용범위가 대전력 전력 전자 시스템까지 확대되고 있다.

지금까지 IGBT에 관한 구동회로 연구는 게이트에 주입하는 전류나 방전하는 전류의 파형을 단계적으로 제어함으로써 IGBT 소자의 스위칭 손실을 줄이면서 턴온시의 전류상승과 턴오프시의 전압상승을 억제하여 별도의 스너버 회로를 사용하지 않더라도 스위칭에 의한 노이즈 발생을 억제하는 분야에 집중되어 왔다 [1],[2].

본 논문에서는 기존의 IGBT 소자의 구동회로가 갖는 기본기능 이외에 소자에 대한 보호기능과 소자

IGBT 게이트에 일정한 충전전류를 주입하면 게이트 전압은 등가 입력 커패시터에 의해 결정되는 일정한 기울기로 증가하여 임계전압(Threshold voltage)에 도달한다. 게이트 전압이 임계전압에 도달하면 소자는 턴온되고 콜렉터 전압이 감소하기 시작한다. 콜렉터 전압이 감소하면 게이트-콜렉터 등가 커패시터에는 게이트에서 콜렉터 방향으로 전류가 흐르게 되어 게이트-에미터간 등가 커패시터로 흐르는 충전 전류의 흐름을 방해하는 Miller 효과에 의해 게이트 전압 상승이 억제된다. Miller 효과가 끝나면 게이트 전압은 어떤 기울기로 상승하기 시작하여 최종전압에 도달한다.

IGBT 게이트로부터 일정전류를 방전하면 게이트 전압은 일정 기울기로 감소하여 임계전압에 도달한다. 임계전압에서 게이트 전류에 방전전류를 흘리면 콜렉터 전압은 급격히 증가하여 게이트-콜렉터 등가 커패시터에는 게이트 방향으로 전류가 흐르게 되고 이 전류에 의해 게이트 전압 감소가 억제되는 Miller 효과가 나타난다. Miller 효과가 끝나면 게이트 전압

은 최종값까지 감소한다.

그림 1은 제안된 IGBT 구동회로의 개략도를 나타내고, 주요파형에 대한 타이밍도를 그림 2에 나타내었다. 정상적인 동작상태에서 입력 Vin은 게이트 전압에 위상지연을 갖는 전압 형태로 나타나고, 과전류 보호나 열보호 기능은 입력전압 Vin의 신호전달에 영향을 미치지 않는다. 만약, Vin이 High일 때 IGBT 소자에 과전류가 흐르면 소자의 콜렉터와 에미터 사이에 큰 전압에 발생하여 센싱용 다이오드를 통해 비교기의 (-)입력에 인가된다. 비교기의 (-)입력이 (+)입력보다 커지면 비교기의 출력 S가 Low가되어 FF의 출력 Q에는 Low가 되어 AND 게이트에 의해 입력전압 Vin은 차단된다.

E/D 상태가 High(SW 및 게이트 입력신호가 Enable)일 때 소자에 과전류가 흘러 Q가 Low이면 E/D 상태가 Low로 일정기간 계속되어 게이트 신호를 원하는 시간 만큼 차단하여 소자의 접합부에 발생된 열이 주변으로 방열할 수 있는 시간을 제공할 수

있다. 열적 보호시간 동안에 SW 및 게이트 입력신호는 Disable 상태가 된다. 열적 보호시간이 지나면 E/D 상태는 High가 되어 SW 및 게이트 입력신호는 Enable 상태가 된다.

그림 3은 그림 1의 개략도를 H/W로 구현한 IGBT 구동회로이다. 회로에 사용된 소자는 일반적으로 이용이 가능한 범용 IC를 사용하였으나, ASIC 기술을 적용하면 소형,경량화가 가능하다. FF의 입력 R을 발생시키는 Monostable multivibrator 범용 555 타이머를 이용하여 구현하였다. E/D 상태 입력 신호를 제어하는 SW는 MOSFET을 사용하였고, 열적 보호시간인 E/D 신호의 Low 상태 유지시간은 Rblk-Cblk 회로와 비교기에 의해 결정된다.

과전류가 발생하면 Cblk 전압은 Reset되어 E/D 신호는 즉시 Low 상태가 된다. E/D 신호가 Low가 되면 Rblk-Cblk 회로에 의해 재충전이 시작되어 Cblk의 전압이 E/D 신호 발생용 비교기의 (-)입력값에 도달하면 비교기의 출력인 E/D 신호가 High가 되어 SW 및 게이트 입력신호가 Enable 상태가 된다. 따라서 열적 보호기간 t_b 는 다음 식에 의해 결정된다;

$$\text{비교기 } (-)\text{입력 } V_b = V_{cc} \cdot (1 - e^{-\frac{t_b}{R_{blk}C_{blk}}}). \quad (1)$$

위의 식을 풀면 t_b 는 다음과 같이 유도된다;

$$t_b = (R_{blk} \cdot C_{blk}) \ln \left(\frac{V_{cc}}{V_{cc} - V_b} \right). \quad (2)$$

구현된 회로의 소자 값은 $R_{blk}=22k$, $C_{blk}=10n$, $V_{cc}=13V$, $V_b=9.1V$ 이므로, 이론적으로 계산된 t_b 는 265 us이다.

회로에서 E/D의 상태가 High이면 IGBT 구동회로가 정상상태 동작을 하고, E/D 신호가 Low이면 IGBT 소자에 과전류 발생이나 구동회로의 전원 이상이 발생한 경우이다.

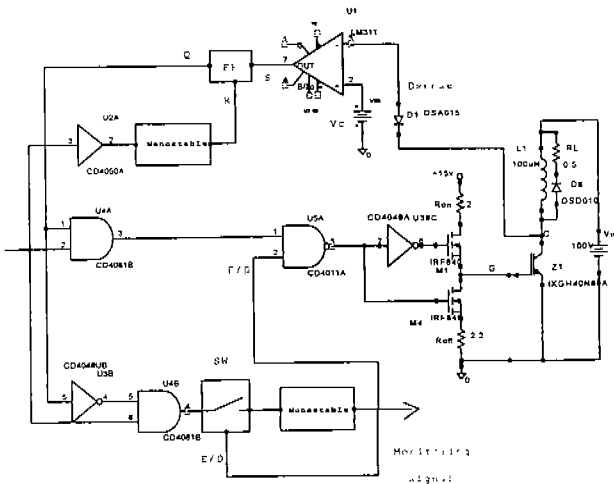


그림 1. 제안된 IGBT 구동회로의 개략도.

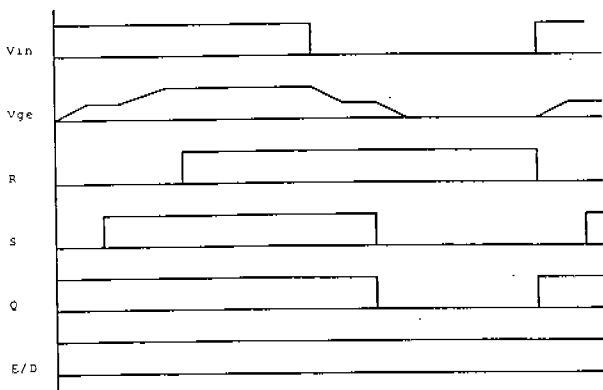


그림 2. 정상동작 상태에서 구동회로의 타이밍도.

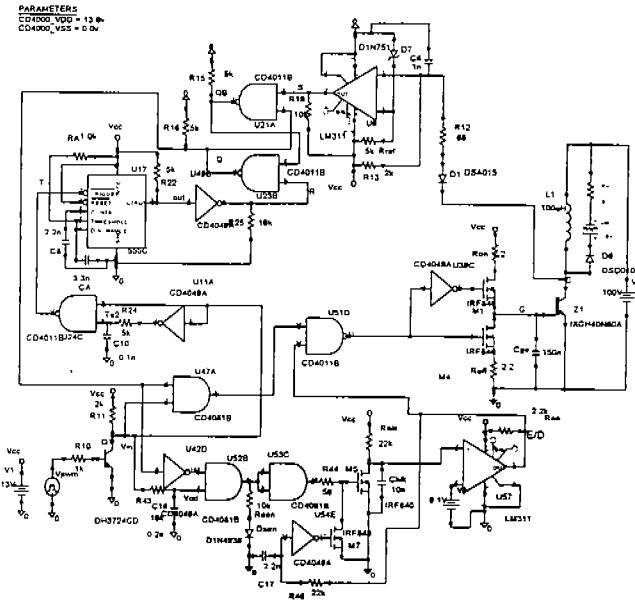


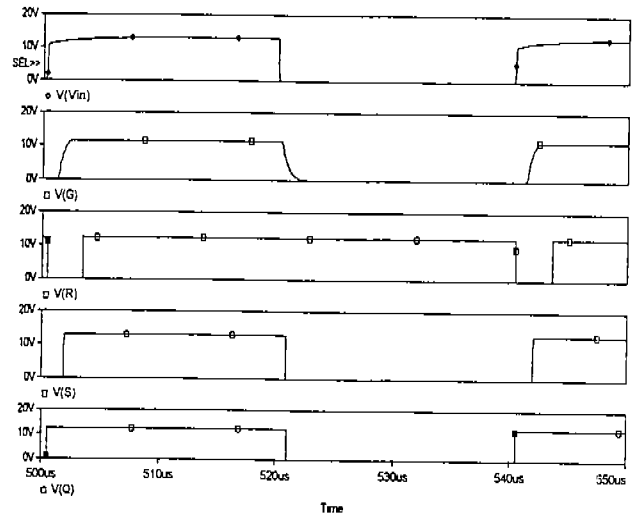
그림 3. 구현된 IGBT 구동회로.

III. 시뮬레이션 및 실험결과

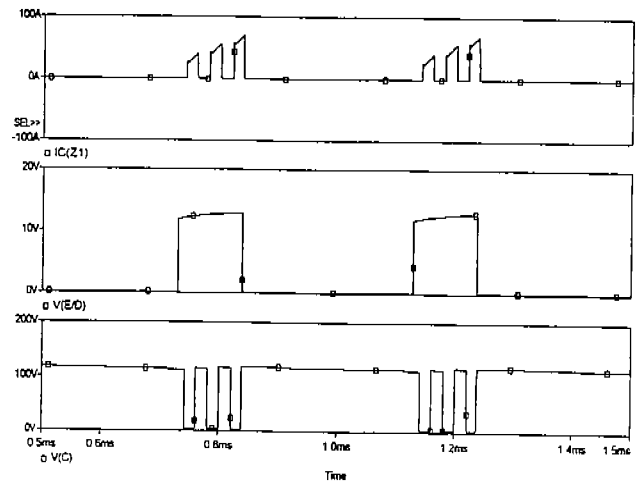
제안된 구동회로의 타당성을 검증하기 위해 입력전압 100 V, 스위칭 주파수 50 kHz에서 Pspice를 이용한 시뮬레이션과 실험을 수행하였다.

그림 4는 Pspice로 시뮬레이션한 결과를 나타낸다. (a)는 정상동작 상태의 파형을 나타내며, 입력전압 Vin은 게이트 전압에 같은 상태로 지연되어 나타난다. (b)는 콜렉터 전류가 과도하여 열적 보호기능이 동작하는 동안에 콜렉터 전류, E/D 파형, 콜렉터 전압 파형을 나타낸다. 시뮬레이션에서 관측된 소자의 열적 보호시간은 이론치와 근사한 tb를 나타낸다.

그림 5는 시뮬레이션에 사용된 회로를 H/W로 구현하여 실험한 정상동작 상태의 파형이다. 실제 H/W 구현에서는 게이트 제어신호와 IGBT 소자 사이에 절연을 위해 HP사이 광링크 HFBR-0501 시리즈를 사용하였다 [4]. Transmitter 보드에서 신호를 발생시키고 Receiver 보드에서 광 신호를 받아 IGBT 소자를 구동하고 과전류보호 및 열적보호를 수행하며, E/D 신호를 이용하여 Receiver 보드의 동작상태를 모니터링 할 수 있다. 그림에 관측된 파형은 Receiver 보드의 신호에서 입력신호 Vin에 해당하는 신호를 기준으로 주요부분의 정상상태 동작신호를 관측한 것이다.

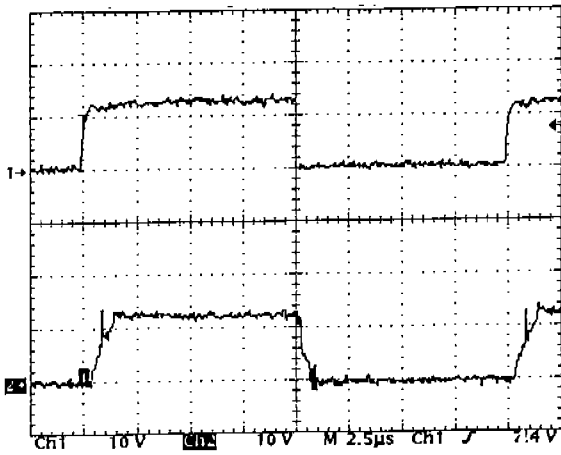


(a) 정상동작 파형.



(b) 소자 보호기능의 동작 파형
그림 4. 구동회로의 시뮬레이션 파형.

그림 6은 IGBT 구동회로의 과전류 발생시의 보호기능을 관측한 파형이다. 관측된 파형은 과전류 발생시와 같은 조건을 만들기 위해 고의로 IGBT 소자의 콜렉터와 과전류 센서 다이오드 사이에 저항을 삽입하였다. 전류가 콜렉터에 흐르면 IGBT의 콜렉터-에미터 간 전압과 삽입된 저항에서의 전압강하가 합성되어 과전류용 비교기에 (-)입력이 되어 큰 전류가 아니더라도 과전류 발생과 같은 효과를 얻을 수 있었다. 관측된 열적 보호시간은 약 300 us로 이론치보다 약간 큰 결과를 나타내었다. 실험에 사용된 IGBT 소자는 Toshiba사의 MG100J2YS50이다 [5].



(a) Vin(위), Vgs(아래)

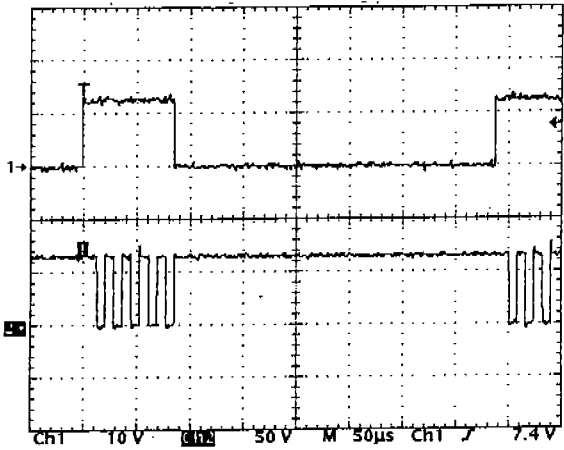
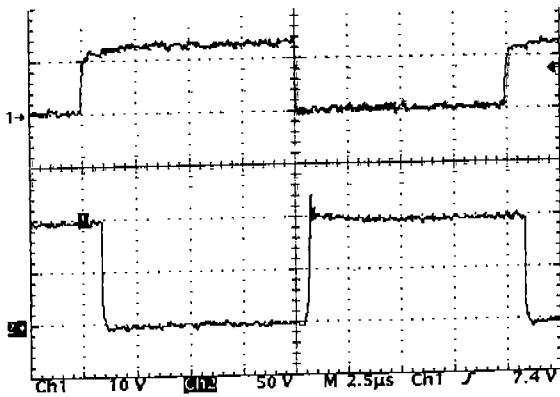


그림 6. 소자 보호기능 동작시의 E/D(위) 및 Vce(아래) 파형.



(b) Vin(위), Vce(아래)

그림 5. 정상동작시의 주요부분의 동작파형.

참고문헌

- [1] C. Licitra, S. Musumeci, A.U. Galluzzo, R. Letor, and M. Melito, " A new driving circuit for IGBT Devices ", IEEE Trans. Power Electron., vol. 10, no. 3, pp. 373-378, May 1995.
- [2] 서범석, 현동석, " 대용량 IGBT를 위한 새로운 능동게이트 구동회로 ", 전력전자학회 논문지, 제4권 2호, pp. 111-121, 1999. 4.
- [3] CONCEPT, Intelligent half-bridge drivers for IGBTs and power MOSFETs; IHD 215/280/680, Data sheet & Application manual.
- [4] Hewlett-Packard, The versatile fiber optic connection; HFCE-0501 Series, Technical data.
- [5] TOSHIBA, MG100J2YS50; Toshiba GTR Module Silicon N Channel IGBT.

IV. 결론

기존의 IGBT 소자의 구동회로가 갖는 기본기능 이외에 소자에 대한 보호기능과 소자의 동작상태를 감지하기 위한 모니터링 기능을 갖는 지능형 구동회로에 대해 제안하였다. 지능형 구동회로에서는 IGBT 소자에 단락 전류와 같은 비정상적인 큰 전류가 흐를 경우 논리 회로에 의해 게이트 구동전압을 제거하여 소자를 보호하는 기능이 제공되고, 큰 전류에 의해 소자의 반도체 접합부에 발생된 열이 외부로 전달되어 열적 안정 상태에 도달할 때까지 게이트에 인가되는 제어 입력을 차단하는 열적 보호기능을 가지며, IGBT 소자의 동작상태를 감지하기 위한 모니터링 기능을 가진다. 언급한 기능을 가진 지능형 구동회로가 제안되었으며, 제안된 회로의 동작특성이 Pspice 시뮬레이션 및 실험을 통해 타당성을 검증하였다.