

창립
40주년학술대회
논문 87-P-21-5

출력주파수의 고주파화를 위한 전력용 Transistor Family 의 구동기술

오 유 동 욱, 김 동 희, 권 순 만, 변 영 복, 배 진 호
 한국 전기 연구소, 전력 전자 연구실 * 영남대 전기공학과

A New Drive Technology of Power Transistor Family Devices
 for Speed-up of the Output Frequency

Dongwook Yoo, Donghee Kim, Soonman Kweon, Youngbok Byun, Jinho Bae
 Power Electronics Lab., K.E.R.I. * Youngnam Univ. Electrical Eng.

Abstract

This paper presents driving circuits technology to enable high speed drive of MOSFET, IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) and SIT(Static Induction Transistor). In addition to, it demonstrates application circuits(high frequency resonant type inverters, ultrasonic power supply etc.) using the developing drive circuits.

1. 서론

고주파 전력용 스위칭 반도체 소자의 제조기술이 급속히 진보하여 전력변환장치인 고주파 인버터, 고주파 PWM 초퍼등 스위칭 동작을 기본으로 하는 응용시스템에 큰 영향을 부여하고 있음은 의심할 여지가 없다. 전력변환장치에 사용되어지는 전력용 반도체는 출력주파수의 고주파에 따라 고속 스위칭 특성이 요구되어지며, 현재 스위칭 응용회로에 널리 사용되고 있는 Bipolar Transistor (이하 BPT 로 약칭)는 동작원리상 실현 불가능한 스위칭 동작영역에 이르고 있다. 최근에 전력변환장치는 성능에너지화, 소형, 경량화 및 고출력화등의 실제적 요구가 일층 강조되어, 출력주파수의 고주파화에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.(1)(2) 상기의 배경으로 당연구소에서는 본질적으로 고속스위칭 동작이 가능한 Power Transistor Family Switching Devices (이하 PTFSD로 약칭)를 실제 응용 시스템에 사용하기 위해 지금까지 축적된 스위칭 기술을 기초로하여 고속화를 위한 Drive회로 기술연구에

착수하였다.(3)(4) 본 논문은 상기 연구결과와 일부로, Drive 측면에서 본 PTFSD, 특히 MOSFET, IGBT, SIT 를 중심으로 소자의 특성 및 수 100KHz 이상의 주파수대역에서 스위칭이 가능한 Drive 회로방식에 대하여 기술하고 있다.

2. Drive 측면에서 본 PTFSD의 특성

소수 캐리어의 축적효과가 없고, 스위칭특성이 본질적으로 우수하며, 입력 임피던스가 높아 전압제어형 Drive가 가능한 MOSFET는 Gate 용량을 충방전시킬 수 있는 작은 Drive 전력으로 수 100KHz대에서 수MHz대까지의 스위칭 동작을 실현시키고 있다. 더우기 2차 항복현상이 없기 때문에 안전동작영역이 넓어서 전동기 구동용 인버터, 스위칭 레귤레이터등에 고속 소자로서 그응용 범위를 넓히고 있다.

최근 Bipolar형 MOSFET라고 불리는 새로운 구조의 고속소자가 실용화 되고 있다. 이 고속소자는 동작원리와 구조에 의해 IGBT, COMFET, 또는 IGBT라고도 불리워진다. 이소자는 MOSFET 보다 On 저항이 적고, GTO 나 MTT와는 달리 Turn-On/Off 전류를 거의 필요로 하지 않는 장점을 가지고는 있으나, 주전류가 Bipolar 동작에 의해 형성되기 때문에 스위칭 속도는 떨어진다. 그러나 Drive 방법은 MOSFET와 원리상 거의 동일하여 Drive가 간단할 뿐만 아니라 전류밀도도 크며 스위칭 주파수도 50KHz-80KHz 정도로 운전이 가능하므로 현재 각종 전력변환회로의 스위칭소자로서의 실용화

연구가 활발히 진행되고 있다. 한편 SIT는 고출력성, 고속성이면서, 전압제어형 소자로 주전류의 온도특성이 부이고, 불포화 특성을 가지고 있다. 이소자는 Normally-On 특성을 갖고 있으므로 실제 응용할 경우 Drive 회로방식과 주변보호회로에 상당한 검토가 요구되어 진다.

3. Power MOSFET (IGBT)의 Drive 기술

그림1(a)(b)는 MOSFET 및 IGBT의 기본구조를 보여준다. MOSFET나 IGBT는 구조상 거의 유사하나, MOSFET가 n-n 기판을 사용한것에 대해 IGBT는 p-n 기판을 사용하고 있는점이 다르다. IGBT는 pnpn으로된 4층 구조이며, 등가적으로 pnp-npn 트랜지스터 결합에 의한 Thyristor로 형성되어 있는것으로 볼 수 있다. 또 Gate가 절연되어 입력 임피던스가 높으므로 MOSFET와 전압제어형 Drive가

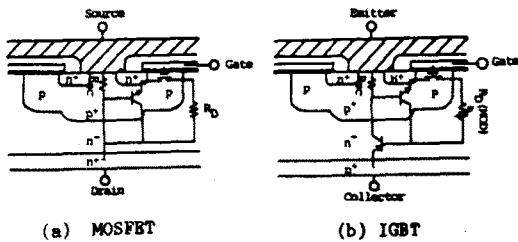


그림 1. 기본 구조

가능하다. IGBT는 고내압 MOSFET의 최대단결이었던 On전압의 증대를 개선하였으나 Bipolar Mode로 동작되기 때문에 스위칭속도가 떨어지며 pnpn Thyristor 결합으로 되어있어 Latching에 의한 Gate Turn-Off 불능현상이 일어날 수 있다. MOSFET, (IGBT)는 Bias 전압이 0[V]이면 주전류가 0[A]로 되는 Nomally-Off 소자이며, Drive 전압 신호파형은 원천적으로 부의 Pulse는 필요로 하지 않지만 스위칭 속도의 고속화를 위해 부의 Pulse전압을 인가하기도 한다. 그림2는 $V_{GS} - V_{th}$ 시간특성을 나타내고 있다. 측정회로에서 출력단을 Tansistor Complementary로 구성시켜 입력용량에 과도적인 Peak 전류를 흘려서 Speed-Up을 행하고 있다. 이때 출력저항 R_o 는 Peak 전류를 제한하면서 신호파형의 발전방지 및 병렬구동시의 Turn-On/Off 특성을 조정하는 역할을 한다: 그림에서 알수 있듯이 R_o 의 값이 커지면 스위칭속도는 늦어지나 R_o 값의 선택은

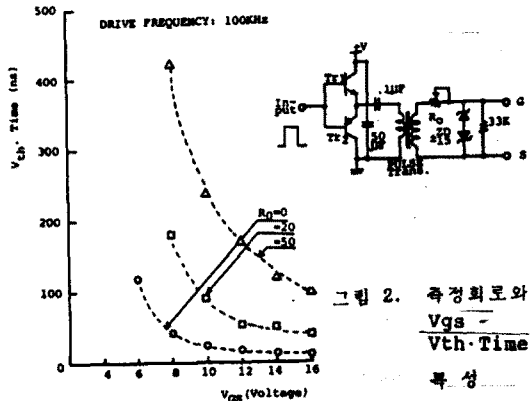


그림 2. 측정회로와 $V_{GS} - V_{th}$ Time 특성

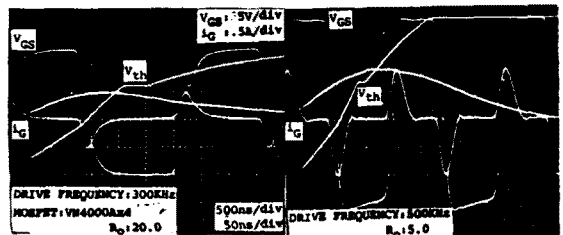


그림 3. R_o 에 따른 V_{th} Time의 실측파형

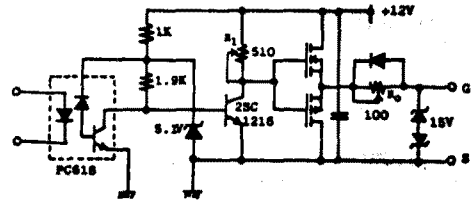


그림 4. 고출력 Drive 회로 방식 예

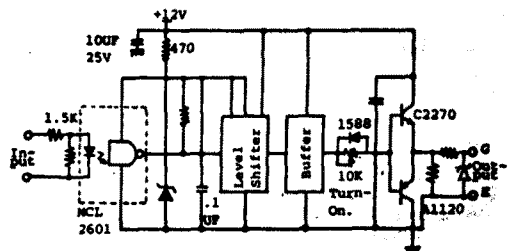


그림 5. IGBT의 Drive 회로 예

MOSFET의 입력용량과의 관계를 고려하여 결정되어야 한다. 그림3은 그림2의 구동회로를 사용하였을때의 $V_{th} - I_q$ 의 실측파형을 나타내고 있다. 그림4는 Photo Coupler를 사용한 Drive 회로방식의 일례를 보여주고 있다. 이 방식은 TTL 레벨에서 CMOS로의 레벨변환을 트랜지스터에 의해 행하며, 출력단 MOSFET의 Complementary 구성에 의해 고속화와 고출력화를 실현하고 있다. 또 R_o 값의 변화에 의해 Turn-On시간을 조정할 수 있는 장점을

갖고 있다. 최근에는 MOSFET를 수MHz대에서 구동가능한 Drive소자 (TELEBYNE 426, 427, 428 CPA) 가 시판되어 주목을 받고 있다. 그림5는 IGBT의 Drive회로예를 보여주고 있다. 이회로는 제어회로와 주회로의 절연을 고내압 Noise Coupler로서 행하고 있으며 TTL 레벨을 레벨변환기에 의해 C-MOS 레벨로 변환시켜 Buffer를 통하여 증단에서 Complementary 구성된 Transistor

에 의해 전류를 증폭시켜 Gate에 주입시키고 있다.

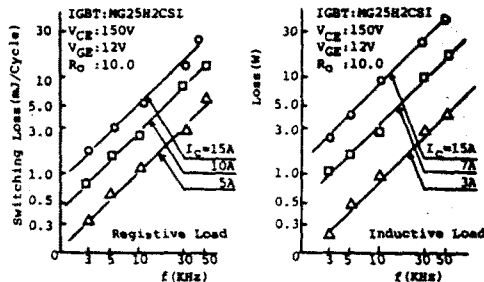
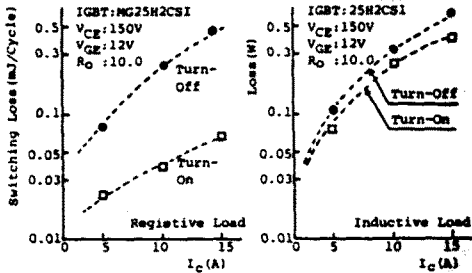


그림 6. IGBT의 스위칭 손실과 주파수의 의존성

그림6은 그림5의 Drive 회로로 IGBT를 구동시켰을 경우 스위칭 손실과 주파수의 의존성을 나타내고 있다. 이를 실측치는 IGBT가 실제회로에 스위칭소자로 응용될때 최대구동 주파수를 선택하는데 중요한 실계자료라 사료된다. 그림7은 Pulse Transformer를 사용한 IGBT의 Drive 회로예를 나타낸다. 그림5의 Drive 회로에서는 IGBT의 Gate 신호전압을 10(V)-20(V) 정도로 전압레벨을 변환시킬 필요가 있어 신호전송시에 전송시간의 늦음이 발생한다. 그러나 그림7의 회로에서는 P.T에서 생기는 신호전송시간의 늦음 이외에는 별다른 문제가 생기지 않는다. 이회로는 제어회로가 C-MOS 레벨의 경우에 유효히 적용되며 Drive동작은 P.T로서 절연을 위하면서 Gate에 신호를 부여하고 있다. 그림8은 그림7의

Drive회로를 사용하여 IGBT를 구동시켰을때의 Turn-On/Off를 실측한 파형을 나타낸다. 실측파형에서 알 수 있듯이 구동주파수가 높아질에 따라 Thyristor에서 나타나는 Latching현상이 발생하므로 구동시 주의가 필요하다. 따라서 MOSFET나 IGBT를 구동시킬때는 Gate-Source (또는 Emitter)간에 존재하는 정전용량에 주의하여야 하며, 이 정전용량의 전하를 빠른 시간으로 충전이 가능한 폐회로를 어떻게 구성시킬 것인가를 검토하여 한다.

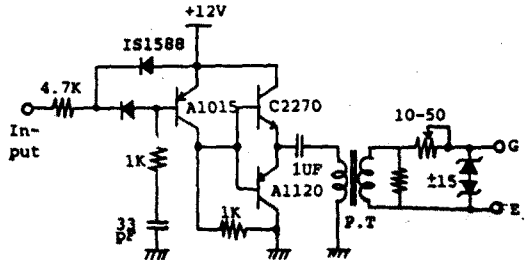


그림 7. Pulse Transformer를 사용한 IGBT의 Drive 회로

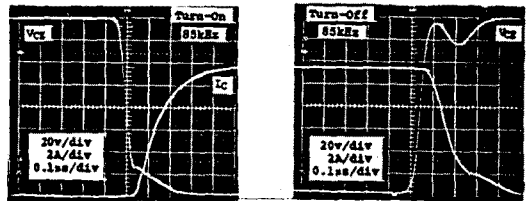


그림 8. IGBT의 스위칭 특성

4. Power SIT의 Drive 기술

그림9는 SIT의 기본구조와 스위칭동작에 사용할 경우의 정복성을 나타낸다. 그림에서와 같이 SIT는 Normally On 특성을 나타낸다. 그림에서와 같이 SIT는 Normally On 특성을 갖고 있어 D-S간은 단락상태로 된다. 다시 말하면 gate전위가 정 또는 영전위로 되면 Turn-On 된다. 그림10은 스위칭 기본회로를 나타내고 있다. SIT의 스위칭 속도는 Drive 회로에 따라 영향을 받고 있으며, 입력용량의 영향도 크다.(5) 그림에서 고속Drive하기 위해서는 Drive회로의 출력 저항R을 작게하여야 하며 입력용량(Ciss)에 충전시 과도적으로 흘러야 할 전류 Isp는 $[Ciss \times E_g / ton]$ 이다. 만약 $E_g=40V$, $Ciss=2500PF$, $ton=200ns$ 의 경우 $I_{sp}=0.5A$ 가 필요하다. 이 전류값을 제한하는 저항 R의

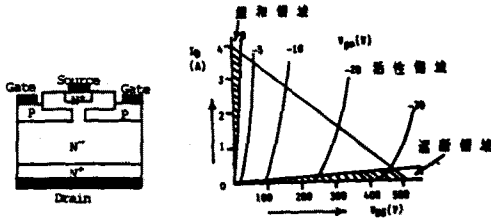


그림 9. SIT의 기본구조와 특성

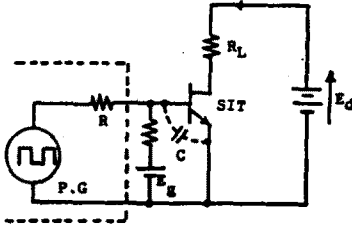


그림 10. 스위칭 기본회로

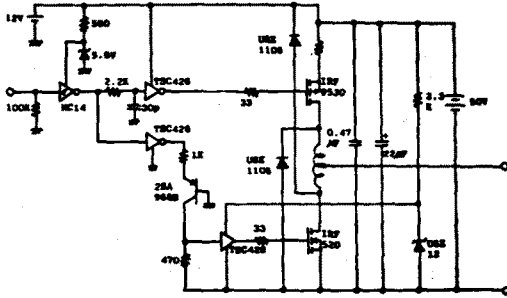


그림 11. 두전원 Drive 회로 예

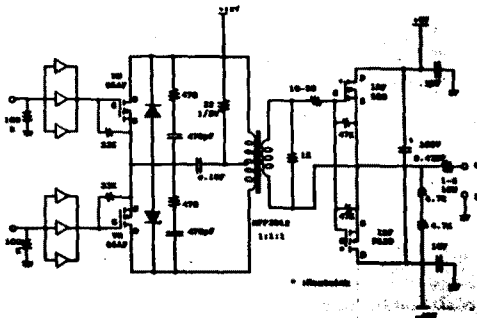


그림 12. 고출력 SIT Drive 회로 예

값은 C_{iss} 와의 관계를 고려하여 결정하여야 한다. 그림 11-그림 12는 두전원을 사용한 SIT의 Drive 회로 예를 나타내고 있다. 두전원의 사용으로 G-S간의 순방향 전압 강하분을 분담시켜 D-S간의 포화전압을 저장시키는 효과를 얻고 있다. 특히 그림 12는 스위칭시간의 고속화를 위해 출력단을 MOSFET로 구성하여 P-P 스위칭동작을 시키고 있으며, 신호

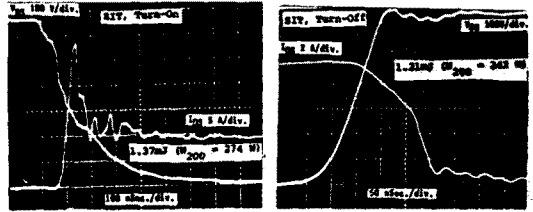


그림 13. SIT의 Turn-On/Off 실측파형

발생부에 이상동작이 생겼을 때 Gate에 역 Bias가 인가되어 SIT를 보호하는 기능을 갖고 있다. 그림 13은 SIT (2SK183, 2SK183HE)의 Turn-On/Off 특성을 나타낸다. 실측결과 상기의 Drive회로는 고속구동이 가능하였으며, SIT의 구동주파수는 200KHz-500KHz 범위가 적절함을 알 수 있었다. 최근에는 1MHz급의 SIT가 출현하여 주목을 받고 있다.

5. 결 론

본 논문은 반도체소자 (MOSFET, IGBT, SIT을 중심으로)의 Drive 기술에 대해 소개하였으며 실제 응용 가능한 Drive 회로예를 제시하였다. 끝으로 지면 관계상 실제 응용 회로의 적용에 대해 기술하지 못한을 안타깝게 여기며 본 논문이 스위칭 소자의 주변 기초기술로 유효하게 사용되어지길 기대하는 바이다.

참 고 문 헌

- 1). H. Rischmuller: "A New Base Drive Method for Ultra fast High-Voltage Switching With Darintons", IEEE, PCI (1984)
- 2). Edwis S. Oxner: "Power FETS and Their Applications", INC. N.J 07632 (1982)
- 3). 김봉희 : "Power SIT 고주파 인버터와 응용시스템", 1987년도 전기전자공학기술대회 논문집(I) PP. 742, (1987)
- 4). D. H. kim : "SCR-GTO hybrid Voltage-Clamped High-Voltage Power Inverters With Quick-Response VVVF Control Function", Kobe Univ. No.30 PP.175-188. 8, (1983)
- 5). Tokin : "SIT HANDBOOK. Tokin, (1984)