

## 고주파 및 고전력 인버터 적용을 위한 Half-Bridge SIT의 병렬운전 특성고찰

최 상원<sup>o</sup>, 김 진표<sup>\*</sup>, 이 종하<sup>\*</sup>  
<sup>o,\*</sup> 충북대학교 전기공학과

### Parallel Operation of a Pair of SITs in order to raise the High Frequency and Power Half-Bridge Inverter

Sang-Won Choi, Jin-Pyo Kim, Jong-Ha Lee  
 Dept. of Electrical Engineering, Chungbuk National University

**Abstract** - The SIT, a Static Induction Transistor, is a semiconductor switch that is also called the power junction field-effect transistor (power JFET). Its characteristics are similar to a MOSFET except that its power level is higher and its maximum frequency of operation is lower. The normal method to protect against internal circuit transients of the form of  $di/dt$  or  $dv/dt$  is the use of snubber circuits. However, the limits of  $di/dt$  and  $dv/dt$  are high enough for the SIT that it is possible to operate without snubber circuits. SITs can be connected in parallel in order to cope with higher load currents that the value of an individual device rating.

The purpose of this study is to investigate the parallel operation of SITs. In this experiment, we used a half-bridge inverter, the output of inverter is up to almost 1 MHz and 2 kW.

Experimental results show that the operation of parallel connected SITs are facilitated individually good current sharing. The reason is the positive temperature coefficient of resistance of the SIT.

#### 1. 서 론

정전 유도형 트랜지스터 (SIT; Static Induction Transistor)는 3극 진공관형 전류·전압특성을 나타내는 트랜지스터로 소전력 응용분야로는 통신기용의 발진기, 마이크로파 통신 등으로, 대전력 응용분야로는 용접기전원, 유도가열용 및 초음파발생용의 고주파 인버터로 주로 이용되고 있다<sup>[1]</sup>.

전력용 반도체소자의 동작주파수 대 제어가능 전력을 비교해 보면 (그림 1) SIT는 Power JFET와 거의 유사하며, Power Level 은 MOSFET보다 높고 동작주파수는 낮으나<sup>[2]</sup>,  $di/dt$  및  $dv/dt$ 가 높기 때문에 Snubber 회로 없이 운전이 가능하다는 장점이 있다<sup>[3]</sup>.

그러나 SIT는 Power Rating에 제약을 받기 때문에 고주파 인버터의 출력을 높이기 위하여 많은 SIT를 병렬로 접속하여야 한다<sup>[4]</sup>.

본 논문에서는 SIT를 한 쌍으로 하여 개개소자의 정격보다 큰 전류를 처리하기 위하여 또한, 양호한 전류분담을 목적으로 고주파 및 대용량의 인버터에 적용할 수 있는 Half-Bridge 인버터를 試作하여 병렬접속한 SIT의 운전특성을 시뮬레이션과 실험을 통하여

그 타당성을 입증코자 하였다.

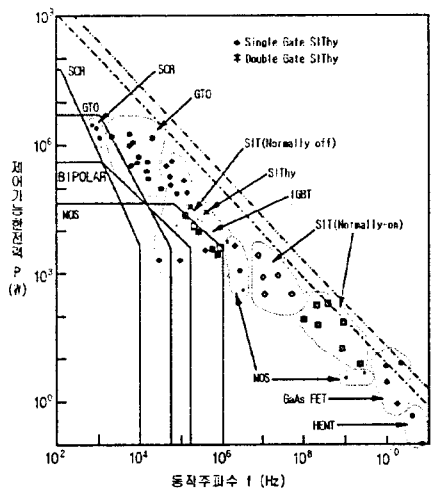
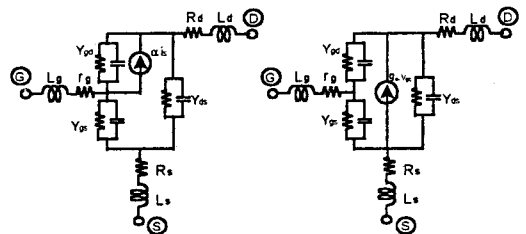


그림 1. 전력용 소자의 용량 (P : F)

#### 2. SIT의 고주파 시뮬레이션

##### 2.1 SIT의 등가회로와 적용범위

그림 2에 패키지 등의 기생 임피던스를 부가한 SIT의 등가회로를 나타내었다. (a)는 게이트접지 전류증폭률  $\alpha$ 를 이용한 T형으로 매우 높은 주파수까지 적용 가능하다. (b)는  $\alpha$ 의 위상회전이 작을 때에 근사적으로 이용되는 하이브리드  $\pi$ 형으로 입력 임피던스의 측정을 정확히 할 수 있어 밀러효과를 이용한 회로정수의 분리·도출이 가능하고 취급이 용이하다<sup>[4]</sup>.



(a) T형

(b) Hybrid- $\pi$ 형

그림 2. SIT의 집중정수 등가회로

## 2.2 고주파특성 시뮬레이션

하이브리드  $\pi$  형에서 회로정수의 고주파특성으로의 영향은 적당한 값을 선정하여 계산하는 것에 의해 검토하였다. 이 결과 게인과 GB 곱을 가장 향상시키는 것은  $g_m/c_{gs}$ 의 증대와  $r_g \cdot c_{gs}$ 의 감소이다.

그림 3에 SIT의 고주파특성 시뮬레이션 결과를 나타내고 있으나 각 Factor를 4배, 8배 또는 1/4배, 1/8배로 하는 것이 특성이 좋게 된다. 또한, 정량적으로 설계가 가능하고 GB 곱의 8 GHz, 3 GHz에서 5dB의 게인을 얻기 위해서는  $g_m=80mS$ ,  $c_{gs}=1pF$ ,  $c_{dg}=0.6pF$ ,  $r_g=50\Omega$ 의 값이 필요하다.

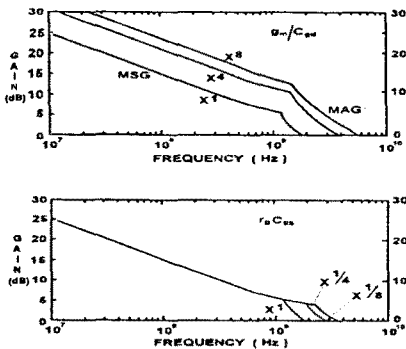


그림 3. 고주파 특성의 시뮬레이션

## 3. 실험장치의 구성

### 3.1 Half-Bridge SIT 인버터

일반적으로 고주파 인버터는 부하의 역률을 높이기 위하여 공진회로와 결합된 공진부하로 구성되며 또한, SIT를 사용하는 인버터에서 고효율, 고풍력을 얻기 위하여 공진회로의 공진주파수가 부하의 종류, 온도 등에 따라 변하므로 부하회로는 직렬공진 전압스위칭형이 가장 적합하다<sup>[5]</sup>.

소위 준공진 스위칭이라 부르는 E급 스위칭은 스위칭소자를 지나는 전압은 소자의 턴-오프 기간에 턴되며, 소자의 턴-온기간 바로 직전에 소멸한다.

그림 4는 PWM 스위칭 모드에서의 전류 및 전압의 파형을 나타낸 것이다. (b) 모드에서 손실은 턴-온 기간 중에 없어지게 되며, 턴-오프 기간 중에 (a)보다 낮은 값으로 제한된다. 그러므로 고주파 SIT를 이용하는 인버터의 변환효율은 E급 모드 스위칭이 높다<sup>[6]</sup>.

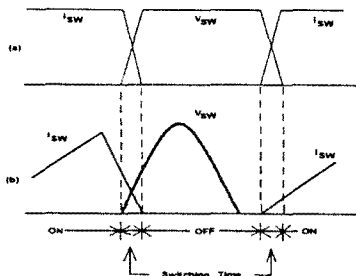
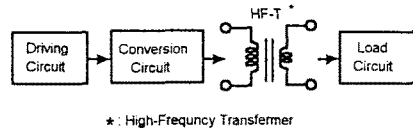


그림 4. 스위칭 파형의 비교

그림 5는 본 실험에 사용한 실험장치의 구성도로 Open Loop 시스템이며, 그림 6은 병렬접속된 SIT Half-Bridge 인버터의 회로도로서 고풍력을 얻기 위하여 SIT는 쌍으로 병렬접속하였다. 실험에 사용한 소자의

파라미터는 표 1과 같으며, 표 2는 TOKIN社 SIT 2SK182 (Normal ON Type)의 특성표를 나타낸 것이다. 또한, 각 SIT에는 게이트 구동기, 단락보호와 전류분담을 관측하기 위한 전류검출기 및 과열보호장치가 부가되어 있다.



\* : High-Frequency Transformer

그림 5. 실험장치의 구성도

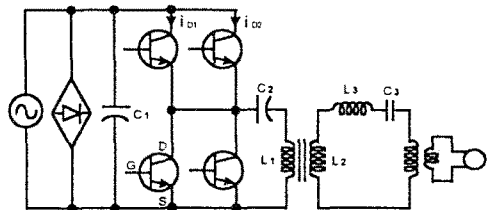


그림 6. Half-Bridge SIT Inverter 회로도

표 1. 실험에 사용한 소자의 파라미터

	정격	기타
$C_1$	1000 $\mu F$	
$C_2$	470 $\mu F$	
$L_1$	100 $\mu H$	4 turns
$L_2$	75 $\mu H$	3 turns
$L_3$	1.5 $\mu H$	
$C_0$	16.9 nF	

표 2. 2SK182 SIT의 특성표

Terms	Symbols	Value
Power Dissipation	$P_T$	1000W
Gate-Drain Voltage	$V_{GDO}$	800V
Gate-Source Voltage	$V_{GSO}$	70V
Drain Current	$I_D$	60A
Cut-off Frequency	$F_R$	10MHz
Turn-on Time	$T_{ON}$	250nS
Turn-off Time	$T_{OFF}$	300nS

### 3.2 부하의 등가모델

그림 7은 인버터의 부하회로를 나타낸 것이다. 변압기 (Tr-2)는 부하회로에 대하여 가열코일을 접속한다. 변압기 (Tr-1)는 출력 변압기로 Ferrite Toroidal Core이며, 변압기 (Tr-2)는 변류기로 코어가 없는 변압기이다

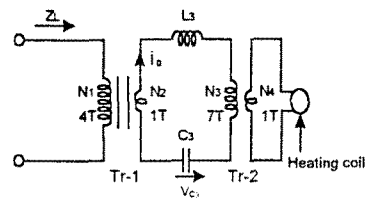


그림 7. 부하 회로도

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 실험결과

그림 8 및 9는 그림 6의 회로를 구성하여 부하를 그림 7의 2차측 (Tr-2) 대신에 저항부하로 하였을 때 부하에 흐르는 전압 및 전류파형을 나타낸 것이다. 그림 10은 공진커패시터 C<sub>3</sub>를 지나는 전압과 부하 전류파형을 나타낸 것이다. 그림 11은 병렬 접속된 SIT의 출력을 최대 하였을 때 병렬 접속된 SIT 각각의 전류파형을 나타낸 것이다.

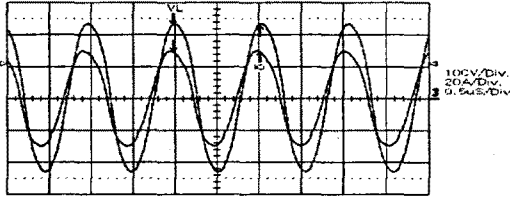


그림 8. 부하전압, 전류파형-1

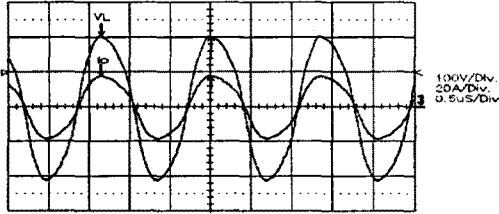


그림 9. 부하전압, 전류파형-2

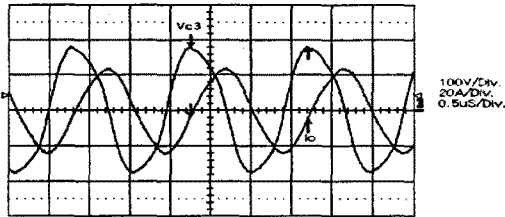


그림 10. 공진커패시터의 전압파형 (V<sub>C3</sub>) 및 2차권선에 흐르는 전류파형 (I<sub>o</sub>)

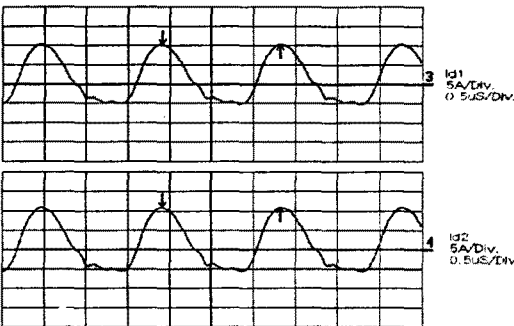


그림 11. 전류분담 파형

##### 4.2 고찰

그림 8과 그림 9를 비교해 보면 스위칭 주파수를 최대 하였을 때 (그림 8)는 최적 공진주파수에서 동작

시켰을 때 (그림 9)보다 전압, 전류의 스위칭이 영전압, 영전류에서 이루어지지 않고 있다.

그림 10에서 전류는 전압보다 빠르게 되는데 아마도 배선의 누설인덕턴스나 전류프로브의 지연시간때문이라고 생각된다. 위의 실험결과로부터 인버터의 최대 출력주파수는 약 1MHz, 최대 출력은 약 2 kW (1kW × 2)이다. 또한 그림 11에서 SIT는 병렬접속한 상태에서 양호한 전류분담을 나타내고 있는데, 그 이유는 SIT 소자가 다른 전력용 반도체 소자와는 달리 정온도 계수를 갖기 때문이다. 이런 장점을 충분히 고려한다면 다수의 SIT를 이용하여 고출력의 고주파 인버터에 적용시킬 수 있다.

SIT는 Power Rating에 제약을 받기 때문에 많은 SIT를 병렬접속함으로써 고주파용 및 대전력용으로 향상시켜 고주파기에 사용될 수 있으며, 이는 현재 사용되고 있는 전자관을 대체시킬 수 있다고 생각된다. 그러나 병렬접속할 때 각 SIT를 통하여 흐르는 분기전류는 SIT에 접속된 분기회로의 누설인덕턴스뿐만 아니라 저항성분을 균등화시켜 밸런스를 유지하여야 한다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 소용량의 SIT를 고주파 및 대용량의 인버터에 적용시키기 위하여 병렬접속한 SIT의 운전 특성을 시뮬레이션과 Half-Bridge 인버터를 試作한 후 적용시켜 그 타당성을 입증코자 하였으며, 그 결과를 정리하여 보면 다음과 같다.

- SIT 소자는 di/dt 및 dv/dt가 높기 때문에 Snubber 회로 없이 운전이 가능함을 알 수 있었다.
  - SIT 개개소자는 정격보다 큰 전류를 처리하기 위하여 병렬접속 하여도 양호한 전류분담을 나타내었으며, 그 이유는 SIT 소자의 저항이 정온도계수이기 때문이다.
  - 試作한 Half-Bridge 인버터의 출력은 최대 1 MHz, 2 kW의 성능을 나타내었다.
- 향후, 본 실험결과를 보완하여 경제성 측면에서 우수한 Single-Ended SIT 인버터에 적용하고자 한다.

#### [참고 문헌]

- [1] 矢野浩司 他, “遮へゲイト SIT: その特性と設計”, 電子情報通信學會論文誌, C-II vol. J75-C-II, pp. 165-171, 1992年 4月
- [2] 半導體研究所報告, 靜電誘導サイリスタ, p 138, 1994. 10
- [3] R. S. Ramshaw, Power Electronics Semiconductor Switches, CHAPMAN & HALL, pp. 386-390, 1993.
- [4] 田中 徹, “高周波靜電誘導トランジスタに関する研究”, 東北大學電通談話會記錄, 第58卷第4號, 1990. 5.
- [5] M. TATSUTA, E. YAMANAKA, H. WADA, T. TAMAMUSHI, J. NISHIZAWA, “1MHz, 1kW SERIES RESONANT CONVERTER FOR ULTRASONIC TRANSDUCER USING THE HIGH FREQUENCY POWER SITs”, IEEE PESC '88 Record, pp. 1236-1243.
- [6] H. OGIWARA, M. NAKAOKA, “Induction-heating high-frequency inverters using static induction transistors”, INT. J. ELECTRONICS, 1990, Vol. 68, NO. 4, pp. 629-645