

### Hybrid 형 고주파 인버터의 특성 해석

\*\* 배진호 \*유동욱 \*김동희  
 \*\* 영남대학교 \* 한국전기연구소

The Characteristic Analysis of Hibrid Type High Frequency Inverter

\*\* Bae jin-ho , \*Yoo dong-wook , \*Kim dong-hee  
 \*\* Youngnam Univ. \*K.E.R.I.

Abstracts

In this paper, We Proposed a new Thyristor-FET hybrid type high-Frequency inverter circuit topology.

Concerning the proposed high-frequency inverter, We applied the normalized parameters to the characteristic analysis of steady-state at the resistive load.

1. 서론

고성능 전력용 반도체 Switching 소자의 개발과 고효율, 성에너지등의 요구에 따른 정지형 전력변환장치 기술에 관한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. (1) 정지형 전력변환장치 기술 중에서도 고주파 인버터 회로와 그 제어 기술을 주체로한 고주파 전력발전 장치는 유도가열을 비롯하여 고주파 Inverter 제어형 Converter, 고주파 용접기등의 산업 분야 뿐아니라, 방전등 점등용, 전자조리기, 에어컨등의 가전기기에도 적극적으로 도입되어 그 응용분야를 극대화 시키고 있다. (3) (4)

상기와 같은 추세에 따라 본 논문에서는 비교적 간단한 회로구성을 갖고 소전력에서 중전력용에 적합한 1석형 Thyristor(혹은 역도통 Thyristor)를 지닌 고주파 Inverter를 기초로 하여 (5), Power MOSFET등의 자기 소호형 소자를 부가해서 VVVF 기능을 갖도복한 hybrid형 고주파 인버터를 제안하고 있다. 또 제안 회로의 회로복성을 무차원화 Parameter를 도입하여 범용성 있는 특성 평가를 행하고 있다.

2. 제안회로 구성과 정상 동작

2-1 회로 구성

그림1은 1석형 역도통 Thyristor를 사용한 인버터의 기본 회로도를 나타내고 있다.

그림2는 그림1의 회로 구성을 기초로 하여 고안된 개방형 Thyristor-MOSFET hybrid형 고주파 인버터 회로 구성을 나타내고 있다. 이 회로는 Power 제어를 행하기 위한 자기소호형 Switch ( 예로는 Power MOSFET ), 부하에 직렬로 접속된 Condenser, Reactor 축적 에너지 처리를 위한 전천회생용 부프가 설치되어 있는 점이 그림1의 회로와 다른점이다.

2-2 회로의 정상 동작

그림2에서 L1 C1은 공진용 reactor, Condenser 이며, C2는 직류 Cut용 Condenser로서 작용하며, L1에 대해서 L2의 값은 대단히 큰것으로 가정한다.

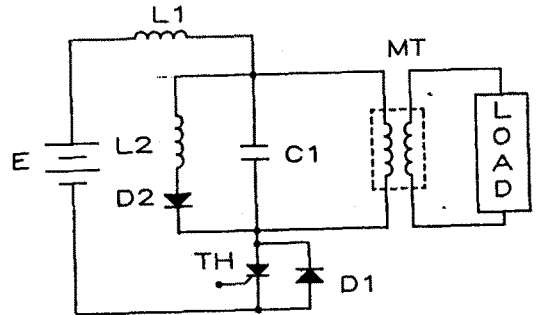


그림 1. 1석 역도통 Thyristor형 인버터 회로 구성

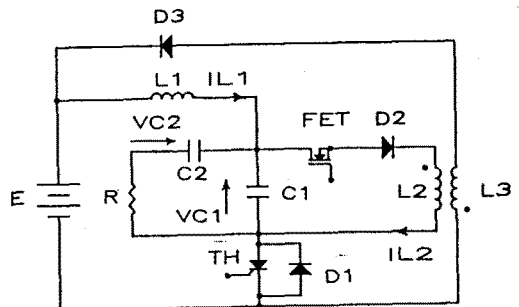


그림 2. 제안 회로 구성

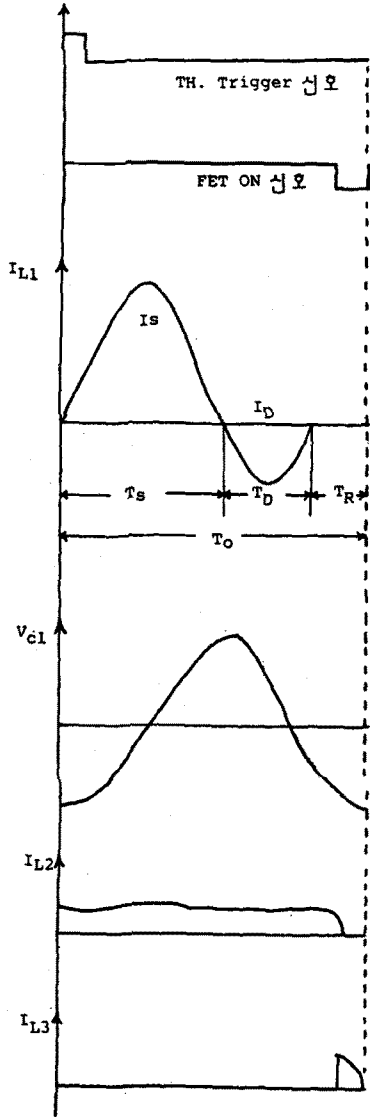


그림 3. 각부 정상 동작 파형 예

그림3은 그림2의 회로의 각부 정상동작 파형의 일례를 보여 주고 있다. 이하 그림3을 참조하여 동작 설명을 하기로 한다. 지금 TH, FET가 동시에 ON되면, E→L1→C1→TH의 Loop로 진동 전류  $i_{L1}$ 이 흘러 C1을 그림2에 표시된 방향으로 충전 시킨다. 이때  $V_{c1}$ 이 최대가 되었을 때  $i_{L1}$ 은 영으로 되고, TH는 자연소호된다. 다음  $V_{c1}$ 의 전압에 의해 D1이 순 bias로 인가되어지므로 D1이 ON되어서  $i_{L1}$ 이 부의 기간, 즉 T 사이에 C1의 방전 전류가 흐르며 C1은 역방향으로 충전되어  $i_{L1}$ 이 영으로 되어 D1는 OFF한다.

그후 FET을 OFF 시키면 L2에 역기전력이 발생해 바깥 Loop로 전류가 흘러 다음 기간이 시작할때 까지 혹은  $i_{c3}$ 가 영으로 될때까지 계속 흐른다. 제안 회

로의 운전 동작 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- 전류  $i_{L1}$ 이 흐르는 기간은 거의 L1 C1의 공진 회로 정수에 의해 결정되며 약  $2\pi \sqrt{L1 C1}$  초의 값을 갖는다.
- 인버터의 동작 주파수  $f_o$ 가 회로 고유 주파수에 가까워지면  $i_{L1}$ 이 흐르는 기간은 1주기에 대하여 길게되어 출력파형이 정현파에 가깝게 된다.
- 직류 Cut 용 Condenser는 C1보다 큰값으로 취해 공진에 기여하는 가능성을 적게 한다.

3. 특성 해석

3-1 해석 회로의 가정

제안 회로의 특성 해석을 위하여 다음과 같은 가정을 한다.

- 전원은 내부 임피던스가 없는 이상적인 직류전원으로 한다.
- 역도통 Thyristor, Diode, FET는 이상 Switch로 하며, L, C 소자도 이상적인 것으로 한다.
- 상태 변수의 기호 및 방향은 그림2에 표기한 방향을 정방향으로 한다.

이상의 가정으로 해석의 일반성을 부여하면서, 회로 설계상 유용한 Data의 도출을 위해 표1 과 같은 무차원화 Parameter를 도입한다.

표 1. 무차원화 Parameter

상 목	기 준 값	무 차 원 화 PARAMETER
INDUCTANCE	$L1 = L2$	$A1 = L1/L, A2 = L2/L$
CAPACITANCE	$C1 = C1$	$B1 = C/C1, B2 = C/C2$
IMPEDANCE	$Zs = \sqrt{L/C}$	$\lambda = R/Zs$
전 압	$Es = E$	$V * (z) = V(t) / Es$
시 간	$To = 1/f_o$	$Z - t/To, \mu = 2\pi f_o \sqrt{L/C}$

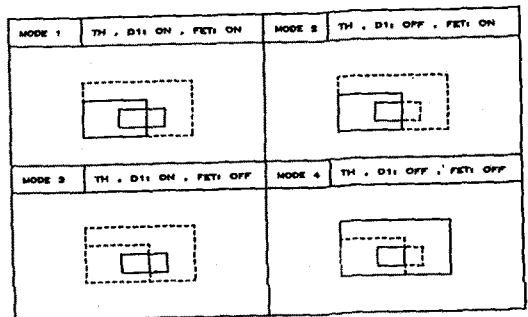


그림 4. 동작 Mode별 회로 Pattern

3.2 회로 동작 Mode와 상태방정식의 도출

정상운전 상태의 회로의 동작 Mode는 TH, FET, D1, D3의 ON/OFF 동작에 의해 4개의 Mode로 정의 된다.

Mode 1 : TH, D1에 전류가 흐르며 FET가 ON되어 있는 상태

Mode 2 : TH, D1에 전류가 흐르나 FET가 OFF되어 있는 상태

Mode 3 : D1이 OFF된 상태로 FET가 ON되어 있는 상태

Mode 4 : D1이 FET가 전부 OFF된 상태

상기 Mode 구분을 그림4에서 보여 주고 있다.

다음 각 Mode별의 회로 상태 방정식을 상태변수  $V_{c1}$ ,  $V_{c2}$ ,  $i_{L1}$ ,  $i_{L2}$ 로 하여, 무차원화 Parameter로 나타내며 다음과 같다.

MODE. 1

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{L1} \\ i_{L2} \\ v_{c1} \\ v_{c2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{2\pi}{\mu A1} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{2\pi}{\mu A2} & 0 \\ \frac{2\pi B1}{\mu} & -\frac{2\pi B1}{\mu} & -\frac{2\pi B1}{\mu A} & \frac{2\pi B1}{\mu A} \\ 0 & 0 & \frac{2\pi B2}{\mu A} & -\frac{2\pi B2}{\mu A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{L1} \\ i_{L2} \\ v_{c1} \\ v_{c2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{2\pi}{\mu A1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

MODE. 2

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{L1} \\ i_{L2} \\ v_{c1} \\ v_{c2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{2\pi}{\mu A1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{2\pi B1}{\mu} & 0 & -\frac{2\pi B1}{\mu A} & \frac{2\pi B1}{\mu A} \\ 0 & 0 & \frac{2\pi B2}{\mu A} & -\frac{2\pi B2}{\mu A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{L1} \\ i_{L2} \\ v_{c1} \\ v_{c2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{2\pi}{\mu A1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

MODE. 3

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{L1} \\ i_{L2} \\ v_{c1} \\ v_{c2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{2\pi}{\mu A2} & 0 \\ 0 & -\frac{2\pi B1}{\mu} & -\frac{2\pi B1}{\mu A} & \frac{2\pi B1}{\mu A} \\ 0 & 0 & \frac{2\pi B2}{\mu A} & -\frac{2\pi B2}{\mu A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{L1} \\ i_{L2} \\ v_{c1} \\ v_{c2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{2\pi}{\mu A1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

MODE. 4

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{L1} \\ i_{L2} \\ v_{c1} \\ v_{c2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{2\pi B1}{\mu A} & \frac{2\pi B1}{\mu A} \\ 0 & 0 & \frac{2\pi B2}{\mu A} & -\frac{2\pi B2}{\mu A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{L1} \\ i_{L2} \\ v_{c1} \\ v_{c2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

3.3 이론동작 파형과 실측파형과의 비교

그림5는 이론 동작파형과 실측파형을 나타내고 있다. 이를 비교해보면 실험파형은 이론 동작파형과 거의 정상적으로 일치되고 있다는 것을 알수 있다.

또 정상적으로도 거의 일치되고는 있으나, 이론파형에 비교해서 실험파형의 값이 다소 적게 나타나는 것은 실제 사용 소자의 손실과 배선의 손실등으로 인

해 기인되는것이라 사료되므로 이들 오차를 고려 한다면 해석의 정당성이 입증된다. 시각 회로의 각 소자의 값은  $E = 20V, f_0 = 20KHz, R = 80\Omega, L1 = 27\mu H, L2 = 4.0mH, L3 = 1.2mH, C1 = 0.5\mu F, C2 = 1.5\mu F$  이다.

4. 특성 평가

그림6은  $\mu$ 와  $\lambda$ 에 대한 무차원화 전류 여유시간  $Z_c$  특성을 나타내고 있다.  $Z_c$ 는  $\mu$ 가 커짐에 따라 증가하는 경향을 보여주고 있다. 그림6에서 알수 있듯이  $\lambda$ 의 변화에 대해서  $Z_c$ 는 충분한 값을 얻을수 있으므로 안정된 회로 동작이 가능하다는 것을 보여주고 있다. 그림7은 출력파형의 왜율을 나타내고 있다. 왜율은  $\mu$ 의 값에 크게 좌우됨을 보여 주고 있으며 이것은 Thy.의 휴지 기간이 존재하기 때문에 큰값으로 된다. 때문에  $\mu$ 가 커지면 휴지기간이 짧아져서 왜율은 적게된다. 그러나  $\mu$ 가 0.6이상의 경우  $\lambda$ 의 값에 크게 의존하지 않고 왜율은 거의 변화를 나타내고 있지 않다.

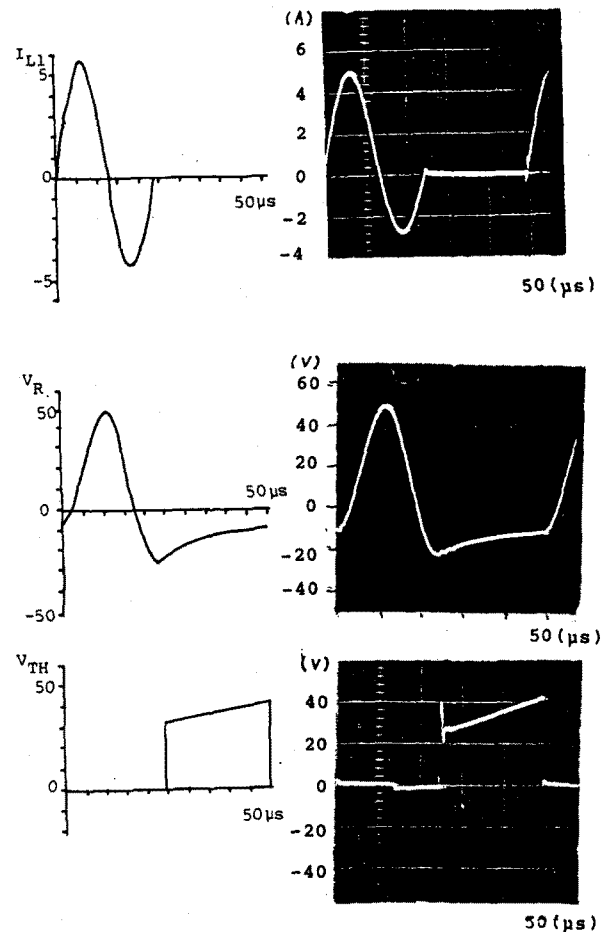


그림5. 이론파형과 실측파형

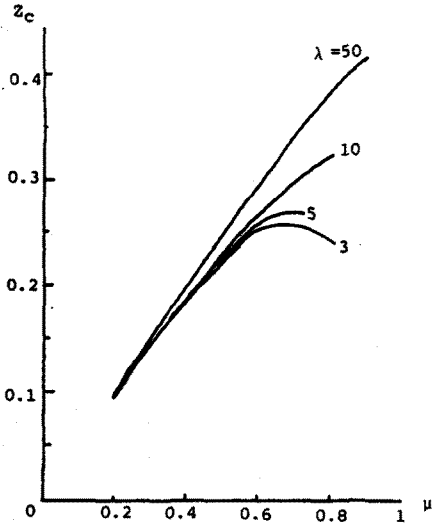


그림6. 전류 여유시간 특성

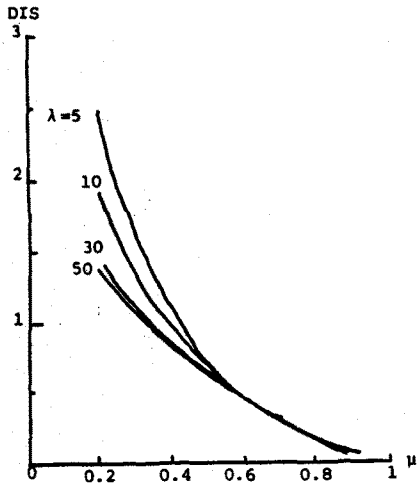


그림7. 왜율 특성

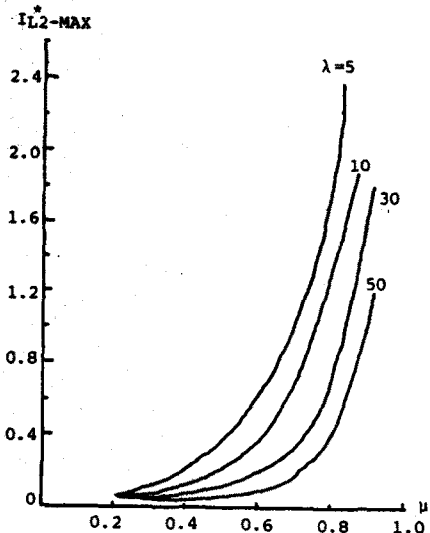


그림8. FET의 최대 전류 특성

그림8은 FET의 최대전류특성을  $\lambda$ 를 Parameter로 하여 나타내고 있다. 최대 전류는  $\mu$ 가 증가함에 따라 최대전류도 증가하고,  $\lambda$ 가 감소 할수록 큰값으로 나타나고 있다. 또  $\mu$ 가 클수록 최대전류의 변화율이 큰것을 알수 있다.

### 5. 결 론

본 논문은 전류 Turn-off형의 고속 Thyristor (역도 통형 Thy, A-SCR, GATT)와 자기소호형 소자 (Power MOSFET, SIT, BIMOS등)을 조합한 VVVF 제어기능을 갖는 고주파인버터 회로의 일례를 제안하였으며, 그동작원리에 대해 기술하였다. 또 제안회로의 설계상 필요한 정상 제특성을 범용성 있는 무차원화 변수를 도입하여 특성평가를 행하였다.

- (1) Z.F CHANG ; "Application of ASCR in 40KHz Sine-Wave Converter" ; RCA Solid State Division , Somer Ville , N.J.08876 , 1979 .
- (2) Donghee Kim ; "Instantaneous Voltage Resultant Phasor Control-Based High-Frequency Resonant Inverter using Self-Quenching Power Devices" ; T. IEE. Japan ,Vol.107-D,NO.2 , 1987
- (3) Isoya Tsuchitani ; "High Frequency Inverter for High Power Multiple-Opening Induction-Heating Cooker" ; TOSHIBA Review ,Vol.42, NO.3 , 1987
- (4) Dongwook Yoo ; "A New Ultrasonic Power Generator using Instantaneous Current Result Control-Based Inverter and its Control System" ; '87 한국자동제어 학술회의 , Vol.1, NO.2 , 1987
- (5) N.M. VIETSON ; "Analysis of a Current-Fed Type High-Frequency Inverter Using a Single Reverse-Conducting Thyristor ; Vol.IECI-26, No.1,FEB. 1975