

자기 소호형 소자를 사용한 신방식 고주파 인버터

* * * * *
* * * * *
* * * * *

A Novel High-Frequency using Self-Quenching Power Semiconductor Switching Devices

* * * * *
Dong-Wook Yoo, Sang-Bong Wee, Dong-Hee Kim, Jin-Ho Bae, Seang-Hoon Oh
*KERI, ** Department of Electrical Eng., Young nam Univ.

Abstracts

Recently, developments of high-speed Semiconductor Switches as power MOSFETS, power IGBT, power SIT have enwidened the performance of classical inverter configuration, and also allowed the practical applications of new inverter configuration, with improved performance and wider operating zones.

Static power converters are now used in a great variety of applications including induction heating, high-frequency generation, DC/DC power converter, etc.

1. 서 론

전력 변환·조정 장치의 주체인 전력용 반도체 스위칭 소자 (이하 PSSD로 약칭)는 1970년 후반부터 micro-electronics의 미세가공 기술을 PSSD 제조에 도입함에 의해 Power transistor family의 대응량화가 진전되어 왔으며, 한편, 고속형 Thyristor family도 실용화 되었다.

상기의 개발·실용화된 고속 PSSD는 제어단자 (gate 또는 base)에 소신호를 인가하여 고속 trun-on/off가 가능한 자기소호형 PSSD이다. 이들 PSSD와 종래 Thyristor를 비교하여보면, drive 주파수의 고속화는 물론 회로상태에 따른 역 bias 시간의 확립이 불필요하므로 주변환 회로 구성이 간단화 되

고, 고속 스위칭 동작이 가능해 장치의 소형·경량화를 꾀할 수 있어 고주파 인버터, 인버터 제어, DC/DC 공진형 콘버터등 적용 영역을 확실히 확장해 가고 있다. 전력변환 장치의 고효율화, 고기능화의 요구에 대응하기위해 고속 PSSD를 사용한 정지 전력변환장치 개발이 이루어 져야 한다. 전력변환 장치중에서도, 고주파 인버터는 산업용 및 가전. 민생용의 유도가열용 전원을 비롯하여 방송·통신기기용의 전원, 강력 초음파 발전장치 OA기기의 전원등 다양한 새로운 분야의 응용을 고려 할 수 있어, 부하대상에 적합한 구성으로 된 전력변환 장치의 개발이 요구된다. 본고는 상기와 같은 배경으로 신형 PSSD를 사용해 VVVF 제어 기능을 갖는 고주파 인버터 회로 Topology를 소개함과 동시에 유도가열계의 부하 탕크회로의 공간 주파수 Tracking 제어에 대해 논하고 있다. 더불어 제안한 VVVF형 고주파 인버터의 정상 복성 평가 및 시작 실험 결과에 대해서도 기술하고 있다.

2. 신형 PSSD 고주파 인버터 회로 Topology

고주파 인버터는 기본적으로 부하에 대해서 전류원으로 동작하는 전류형과 전압원으로 동작하는 전압형이 있으며 사용하는 PSSD의 구성에 의해 다양한 회로 구성을 생각할 수 있다. 그러나 신형 PSSD는 역내압 특성을 갖고 있지 않으므로 원칙적으로 전압형으로 구성되는것이 효과적이다. 그러므로 제안하고 있는 고주파 인버터는 출력 전압과

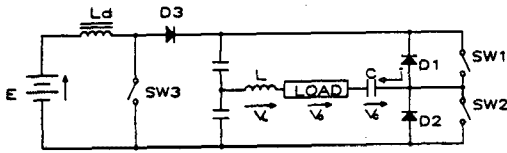


그림 1 Chopper-Inverter

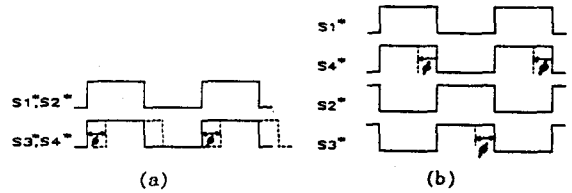


그림 5 Drive Timing Pulse

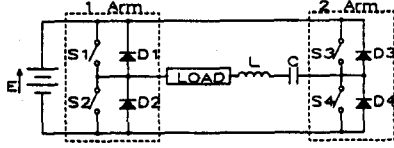


그림 2 Full-Bridge 고주파 Inverter

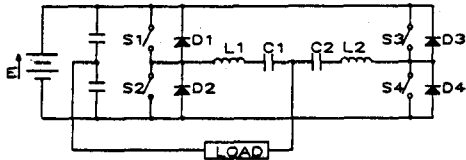


그림 3 순시전류 합성형 VVVF 고주파 Inverter

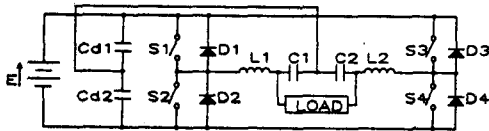


그림 4 순시전압 합성형 VVVF 고주파 Inverter

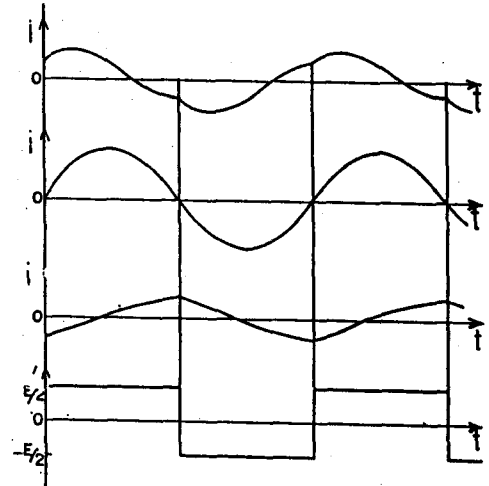


그림 6 공진전류와 μ 와의 관계

출력 주파수를 독립하여 제어가 가능한 즉, VVVF 기능을 인버터 내부에 부여한 전압형 고주파 인버터에 대하여 기술한다.

그림 1에서 그림 4까지는 자기소호형 소자를 사용한 VVVF 전압형 인버터를 나타내고 있다. 특히 전압형 인버터는 직렬 콘덴서에 의해 부하 인덕턴스, 배선 인덕턴스가 상쇄되므로 저압 회로 일지라도 공진주파수 근방에서는 큰 전류를 주입할 수 있어 부하 전력의 투입이 용이하다는 점, 또 필요한 부하전력을 얻기위한 전압을 변압기 2차측의 전압으로 하면되므로 스위칭 소자에 적절한 전압을 1차측에서 자유롭게 선정할 수 있는 장점이 있다.

그림 1에서 고주파 출력전압은 전력용 DC/DC 콘버터부의 PWM-TRC에 의해 조정하고, 출력 주파수는 공진 주파수 추미제어로 고주파 인버터 부에서 PFM-TRC로 조정하고 있다. 그림 2는 full-Bridge 고주파 인버터를 나타내고 있다. 이 회로

구성에서 VVVF 기능을 부여하기 위해 그림 5 (a) (b)와 같은 제어신호를 인가하여 실현시킨다. (a)는 제 1암의 스위치에 대하여 제 2암의 스위치의 드라이브 신호를 $0^\circ \sim 180^\circ$ 까지 위상차를 부여해 VVVF 제어 기능을 얻는 방법이며, (b)는 제 1암의 스위치에 대하여 제 2암의 스위치의 드라이브 신호의 펄스폭을 가변시켜 VVVF 제어를 행하고 있다. 그림 3과 그림 4의 출력 제어 방법은 기본이 되는 전원 분할형 Half-Bridge 인버터를 그대로 복합화하여 이들에게 그림 5 (a)와 같이 상대적 gate 신호의 위상차를 변화시켜 출력전압제어를 행하고 있다.

3. 제안 고주파 인버터의 정상 특성

그림 6은 고주파 인버터에 있어서 동작 주파수와 회로의 공진 주파수와의 관계로 부터 스위칭 전류가 스위칭 전압보다 진상 혹은 지상으로 되는 것을 보여 주고 있다.

그림에서 알 수 있듯이 동작 주파수를 회로 공진 주파수 보다 높게 되도록 스위칭 동작 시킬 경우는

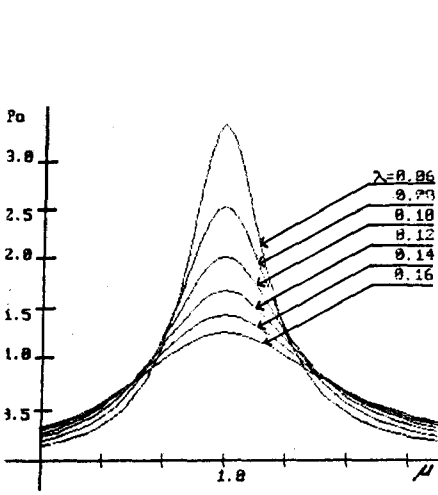
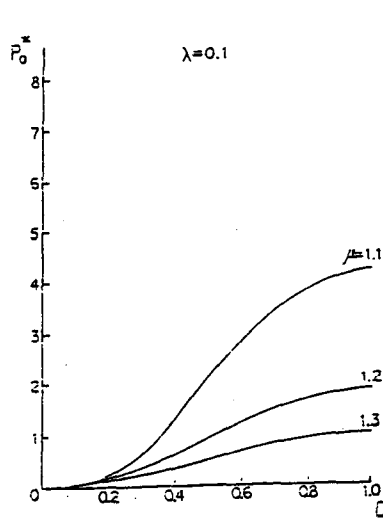
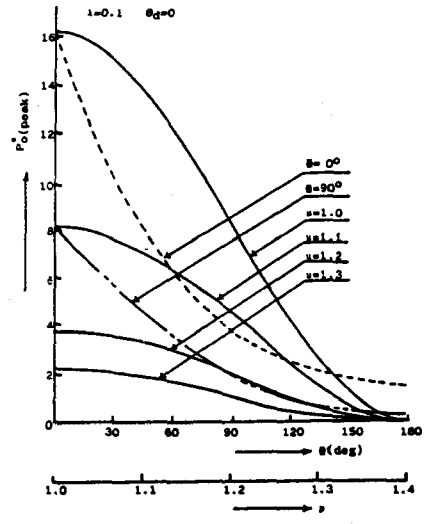


그림 7. $\mu - P_o(\lambda)$ 특성



(a)



(b)

그림 8. 고주파 인버터 출력 전력 특성

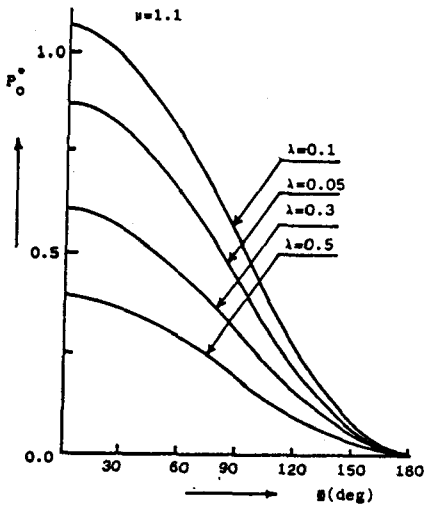


그림 9. 순시전류 합성형 VVVF 인버터의 출력 특성

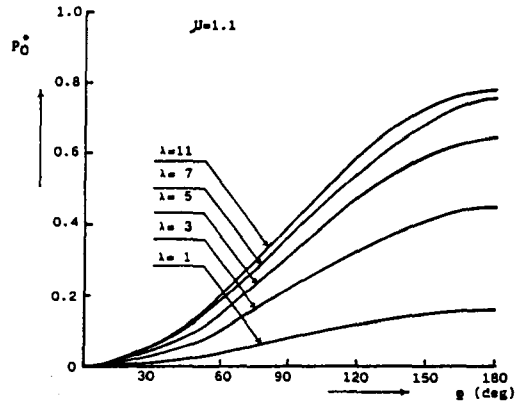


그림 10. 순시전압 합성형 VVVF 인버터 출력 특성

PSSD에 역병렬로 접속되는 다이오드의 역회복시간에 따른 순간 전원단락모드가 발생되지 않아 사용소자를 효과적으로 이용할 수 있다. 그림 7은 그림 1에서 나타난 고주파 인버터에서 부하에 대한 출력전력과 제어 주파수와와의 관계를 보여주고 있다. μ (제어주파수/공진주파수)가 1.0부호에 서는 어떤 부하에 대해서도 전력은 최대가 되므로 효율 좋은 전력변환을 행하는 동작점이 $\mu = 1.0$ 이라 말할 수 있다.

그림 8 (a) (b)는 그림 2에 나타난 고주파 인버터의 출력 전력 특성을 보여 주고 있다. (a)에서 D (= $T_{on} / T/2$) 즉 gate 신호 펄스 폭의 변화에 따라 출력을 제어 할 수 있음을 알 수 있으나 고속화를 위해서는 H/W 적으로 한계가 있으리라 사료된다. (b)는 위상차 각 θ 에 의해 어떤 μ 에 있어서도 거의 직선성을 갖고 출력이 제어되는 특성을 보여주고 있다.

그림 9와 그림 10은 순시전류 (전압) 합성형 VVVF 인버터의 위상차 각 θ 에 대한 출력전력 특성을 나타내고 있다. 출력전력은 위상차각에 의해 거의 직선적으로 제어됨을 알 수 있고, 위상차 각 θ 의

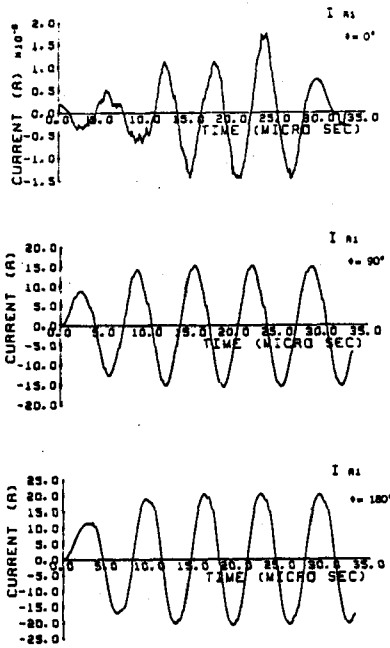


그림 11 기동과도시의 출력 전류 파형

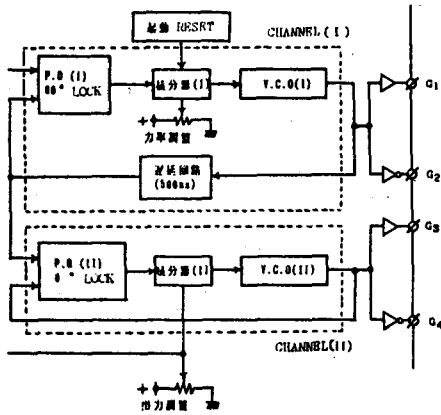


그림 12 주제어 회로와 동조회로의 Block도

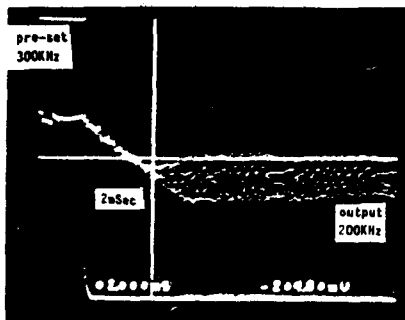


그림 13 동조 회로의 응답 특성

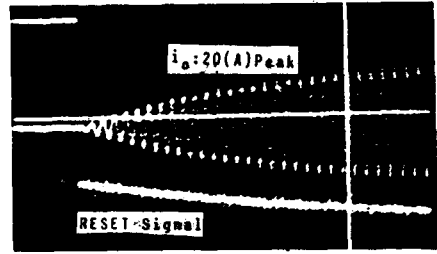


그림 14 기동 특성

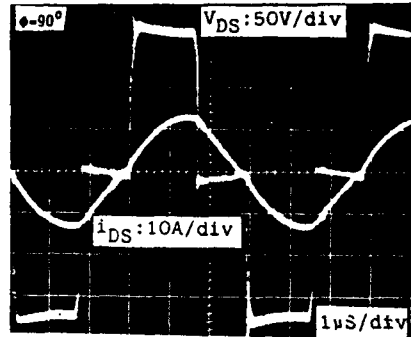


그림 15 단일공진형 PWM 고주파 인버터의 출력 전압·전류

증가에 따라 출력이 감소 (또는 증가) 되고 있다. 특히 순시전류 합성형은 전압형 인버터어나 부하에는 전류주입으로 동작하고 있으며, 순시전압 합성형은 부하가 클수록 출력이 증가되는 특성을 보여 주고 있다. 또 만약에 부하 단락이 발생한 경우에도 공진용 인덕터에 의해 PSSD에 흐르는 전류가 제한되어서 안정된 운전을 할 수 있는 장점을 갖고 있기도 하다.

그림 11은 순시전압 합성형 VVVF 인버터의 기동 특성을 보여주고 있다. 위상각각 ϕ 가 변화하여도 정상 상태까지는 약 5 cycle이내의 시간이 소요되므로, 양호한 기동 특성을 갖고 있음을 의미한다.

4. 부하 탱크 회로계의 동조 제어

탱크부하 회로는 Work-coil에 삽입한 피가열체의 가열 진행 과정에 따라 그 임피던스가 변동한다. 일반적으로 부하가 저역율이므로 부하회로에 역률개선용 콘덴서를 넣어 무효 전력을 보상하도록 하고 있다. 다시말하면 부하전압과 부하전류의

위상차를 영으로 하면 부하전력이 최대가 되므로 그림 6에서 언급한바와같이 인버터는 항상 부하 회로의 공진 주파수로 동작되도록 하는 자동 동조 제어가 요구된다.

그림 12는 자동 동조 제어회로의 Block도를 나타내고 있다. 여기서는 PLL 전자응용 기술을 도입하여 탱크부하의 변동에 대하여 출력 주파수를 자동추미 시키는 제어방식을 사용하였다.

본 추미제어방식은 PSSD 에 전하는 전압과 흐르는 전류의 위상차를 검출 비교하여 공진 주파수를 자동추미 시키고 있다. 그림 13은 본 제어 방식을 사용하였을때의 응답 특성을 보여주고 있다. Pre-Set 주파수 300KHz로 온전을 개시하였을 경우 입력 전압의 변화는 2ms이내였고, 입력전압이 변동하여도 Overshoot 전압이 발생 하지 않고 있어, 안정된 제어가 실현됨을 입증하고 있다. 그림 14는 시작 인버터 (그림 4)의 기동 특성을 나타내고 있다. 기동 신호가 인가되고 8 cycle 이후 정상상태로 온전이 가능함을 보여준다. 그림 15는 그림 2의 회로에서 위상차각을 90°로 하였을때의 출력 전압과 출력 전류를 실측한 파형 이다. 실험물과 위상차를 부여하는것에 의해 출력이 변화되며, 이는 본 출력 제어 방식이 실현 가능 함을 입증하였다.

3. 결 론

본 논문은 신형 PSSD를 사용한 가변 전압·가변주파수 (VVVF) 제어기능이 내장된 전압형 고주파 공진 인버터 회로 Topology를 제안 하여, 그 동작원리 및 특성에 대해 논하였다. 또 신형 PSSD를 사용한 실제 장치에 의하여, 수 100 KHz의 고주파에 까지 실용 가능함을 제시하였으며, 제안 인버터의 응용으로 유도 가열계를 택하였으며, 이에 요구되는 자동동조 제어회로를 PLL 응용 전자회로기술을 이용하여 그 동작을 H/W 입장에서 원리적으로 유용함을 검토하였다.

* 참고 문헌 *

- [1] W.E. Frank: "Solid state RF Generators for Induction Heating Applications", IEEE.IAS (1982)
- [2] D.H KIM: "A New Ultrasonic Power Generator using Voltage-Vector Controlled Resonant Inverter and Its Control System," JJAP. Vol.25. No D-3 (1985)
- [3] 배진호, 김동희 : "전력용 반도체 소자의 Drive 기술", 전자공학회지 Vol 14., No 12 (1987)
- [4] 유동욱 : "Hybrid형 고주파 인버터의 특성 해석," 전기·전자공학 학술대회 (1988)