

## 1단 소프트스위칭 PWM 고주파 인버터의 실용개발

이준엽, 강주성, Ahmad Eid\*, Tarek Ahmed\*\*, 이현우\*  
and Mutsuo Nakaoka\*

\*경남대학교 EESRC, \*\*야마구치대학교,

### Practical Development of One-Stage Soft-Switching PWM High Frequency Inverter

Jun Yup Lee\*, Ju Sung Kang\*, Ahmad Eid\*, Tarek Ahmed\*\*, Hyun Woo Lee\*  
and Mutsuo Nakaoka\*

\*EESRC, Kyungnam University,

\*\*Yamaguchi University, Yamaguchi, Japan

#### ABSTRACT

이 논문은 부스트 하프 브릿지 1단 인버터기술을 혼합한 나아진 소프트스위칭 PWM 전력공급이 대체로 관계한다. 동작원리는 등가회로와 동작파형을 사용하여 설명하고 있다. 유효주파수 AC 동작 실행 시 1단 전력변환에 고주파 AC 전력변환 회로는 실험결과의 기초를 설명하고 평가한다. 전력변동률 대 고주파 듀티 사이클 특성과 전력변환 효율특성을 이전에 개발된 고주파와 비교하여 인버터전력소실을 나타냈다. 그것의 효과는 관찰의 실행 포인트로부터 실험 결과의 기초를 충분히 증명한다.

인버터의 새로운 형태를 다루고 있다. 1단 고주파 인버터는 단상 다이오드 정류기, 부스트 하프 브릿지형 제로전압 소프트 스위칭 PWM 고주파 인버터 그리고 가동코일 같은 프래너형에 유도가열부하로 구성되어있다. 동작원리는 스위칭모드 등가회로 사용하여 나타난다. 고주파전력변동률과 실제능률특성 그리고 제로전압 소프트 스위칭 가동범위를 포함한 최근 IGBT를 사용하는 고주파인버터의 실행을 삽화했다. 소프트 스위칭 작동범위를 넓히고 전력변환효율을 개선하기 위하여, 비대칭 PWM, PDM의 기초가 되는 이 고주파인버터의 듀얼모드 컨트롤 스킴도 이 논문에서 토론했다.

#### 1. 서론

최근에 고주파 인버터를 이용하는 소비효율 유도 가열기는 집에서나 상업상에서 음식을 만드는 소비자들의 위해 유용한 고주파 AC전력변화 시스템으로써 빠른 성장을 하고 있다. 고주파 인버터를 사용하는 현대의 유도가열 요리기구들은 약간의 쓸모 있는 점을 가지고 있다. 에너지절약, 깨끗한 환경, 빠른 가열과정, 온도조절의 수월함, 전력처리, 고안전성, 고정확성

전력 반도체 스위칭 디바이스, 디지털과 아날로그제어 디바이스, 반도체 고주파 인버터 회로 위상의 엄청난 발전에 따라 실질적인 많은 이점을 가지고 있다.

소비자의 요리응용을 위한 고주파유도가열 전력공급기의 발전은 지구환경과 에너지 절약면에서 더더욱 중요하다. 요즘 기술 정세를 따르면, 반도체 고주파 인버터형 전력공급기는 IH 요리가열기, IH 밥솥 IH 스팀으로 응용하는데 꼭 필요하다. 이 논문은 고주파 AC전력에서 효율주파수 AC전력으로 변환하는 소프트스위칭 PWM

#### 2. 부스트 하프 브릿지 고주파 소프트 스위칭 PWM 인버터

##### 2.1 회로 묘사

그림2는 전압 부스트 기능의 고주파 ZV 소프트 스위칭 PWM 인버터를 통합시킨 새로이 발전한 전력공급기의 회로구성 설명하고 있다. 부스트 하프 브릿지 1단 고주파 인버터회로 위상은 부스트인버터 L1b, 능동전력스위치 Q1(SW1/Ds), 분할된 직렬 커패시터 Cs 과 C2b로 구성된 블록에 전압이 승압되는 것을 포함한다. 게다가 고주파인버터 블록에 무손실 완충 커패시터 C1과 분할 커패시터 Cs, C2b와 병렬로 Q1(SW1/D1), Qs(SWs/Ds)와 위킹코일L1을 포함하고 있다. 부스트 전압기능과 고주파 인버터기능은 한 전력단계에서 일반적으로 동작되어진다. 그러므로, 가동코일을 통해 흐르는 저주파수 전류성분은 제거되어지도록 디자인한다. 가동코일L1을 통한 전류는 커패시터 C2b와 Cs를 통해 흐른다.

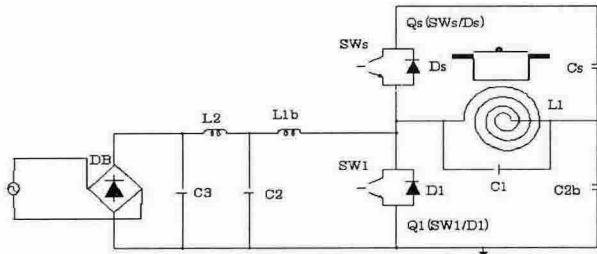


Fig 2 Power supply configuration of the Newly Developed boost half bridge Inverter

## 2.2 회로 동작 원리

그림3은 새로이 개발된 고주파 인버터의 회로 동작 원리를 설명하고 있다. 이 회로는 스위칭 한 주기 동안 6가지 모드를 갖는다. 각각 동작 모드에서 1단 고주파 인버터 회로는 다음과 같이 간단하게 묘사했다.

### Mode1(SW1:ON & D1:OFF SWs:OFF & Ds:OFF )

모드1은 그림5(a)에서 루프1과 루프2로 구성한다.  
 루프1: C2-L1b-Q1-C2 ; 자기에너지는 L1b에 저장되어있다.  
 루프2: C2b-L1-Q1-C2b; 에너지는 유도가열부하에 전달된다.

### Mode2(SW1:OFF & D1:OFF SWs:OFF & Ds:OFF)

모드2는 그림5(b)에서 루프3과 루프4로 구성한다.  
 루프3: L1b-C1-C2b-C2-L1b. 에너지는 C1에 저장된다.  
 루프4: L1-C1-L1 공진에너지는 C1에 저장된다.

### Mode3 $V_{c1} > V_{cs}$ (SW1:OFF & D1:OFF SWs:OFF & Ds:ON)

모드3은 그림5(c)에서 루프5와 루프6으로 구성한다.  
 루프5: L1b-Ds-Cs-C2b-C2-L1b 에너지는 Cs에 저장된다.  
 루프6: L1-Ds-Cs-L1 에너지는 Cs에 저장되고 에너지는 유도가열부하에 전달된다.

### Mode4;(SW1:OFF & D1:OFF SWs:ON & Ds:OFF)

모드4 등가회로는 그림5(d)에서 루프7과 루프8로 구성한다.

루프7: L1b-L1-C2b-C2 에너지는 C2b에 저장된다.  
 루프8: Cs-Qs-L1-Cs 에너지는 유도가열부하에 전달된다.

### Mode5;(SW1:OFF & D1:OFF SWs:OFF & Ds:OFF)

모드5는 그림5(e)에서 루프9와 루프10구성한다.  
 루프9: L1b-L1-C2b-C2 에너지는 C2b에 저장된다.  
 루프10: L1-C1-L1 공진 에너지는 L1에 저장된다.

### Mode6(SW1:OFF & D1:On SWs:OFF & Ds:OFF)

모드6은 그림5(f)에서 루프11과 루프12로 구성한다.  
 루프11: L1b-L1-C2b-C2 에너지는 C2b에 저장된다.  
 루프12: L1-C2b-D1. L1에 저장된 에너지는 C2b에 옮겨진다.

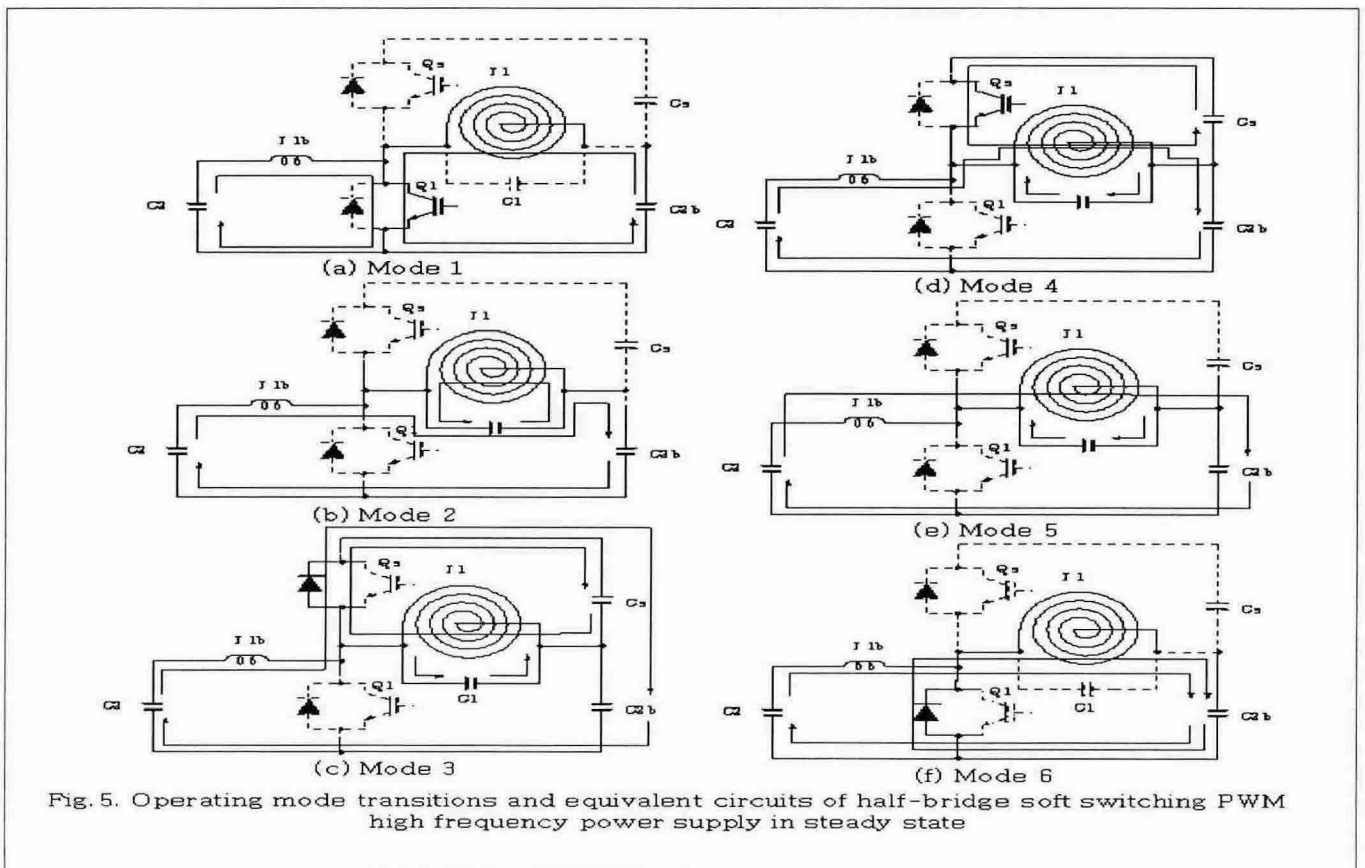


Fig. 5. Operating mode transitions and equivalent circuits of half-bridge soft switching PWM high frequency power supply in steady state

### 3. 동작실험

#### 3.1 PCB의 완성

같은 PCB에는 고주파 인버터회로, 제어회로 그리고 제어회로를 위한 전압공급기로 구성되어 있다. 전력 스위칭 디바이스 Q1과 Q2에 새로이 개발된 고주파 인버터는 토시바 반도체사에서 만든 4세대 트랜치게이트 IGBT를 사용한다. 표1은 부스트 하프 브릿지 위상의 새로이 개발된 고주파 인버터의 회로 파라미터를 표시한다.

Table 1  
Circuit parameters of the newly developed high

|                            |     |      |               |
|----------------------------|-----|------|---------------|
| working coil with iron pan | L1  | 58   | $\mu\text{H}$ |
|                            | RL  | 2.5  | $\Omega$      |
| charge-up inductor         | L1b | 500  | $\mu\text{H}$ |
| DC inductor                | L2  | 200  | $\mu\text{H}$ |
| capacitors                 | C1  | 0.21 | $\mu\text{F}$ |
|                            | C2  | 2    | $\mu\text{F}$ |
|                            | C3  | 2    | $\mu\text{F}$ |
|                            | Cs  | 3    | $\mu\text{F}$ |
|                            | C2b | 4    | $\mu\text{F}$ |

#### 3.2 고주파 전력 변동률 가동특성

##### A. 고주파전력 변동률

그림 7은 새로이 개발된 것과 전에 개발되어진 고주파 인버터 둘의 입력전력 대 듀티 사이클 특성과 ZVS 동작 범위 보여준다. 두 고주파인버터는 200Vrms 유도주파수 AC전압소스로 일한다. 새로이 개발된 고주파 인버터의 ZVS 동작범위는 전에 개발된 고주파인버터의 것과 비슷하다는 것을 알 수 있다. 두 고주파 인버터는 PDM 제어수단이 능률이 오르는 22% 아래의 듀티 사이클 ZVS 모드에서 동작할 수 없다.

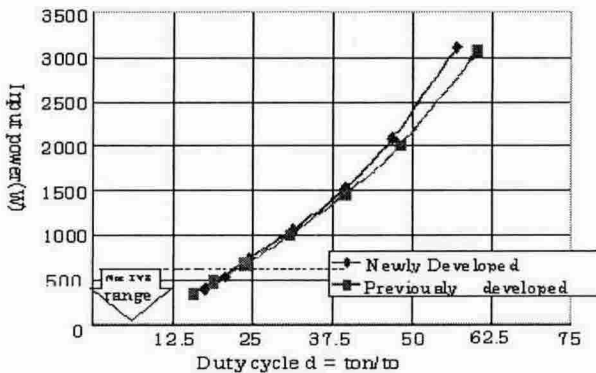


Fig 7. Input characteristics of the newly developed and previously developed inverter

##### B. 현실 효율

그림 8은 입력전력 대 두 고주파인버터 회로의 효율의 특성을 보여준다. 새로이 개발된 1단 고주파 인버터의

효율은 1kW보다 적은 범위의 입력전력의 상태에서 전에 개발된 인버터 효율의 이하에 있다. 저주파 가동코일 전류를 감소시키는데 이용하는 L1b의 회로요소를 더해서 이 결과가 나온다. 입력전력이 1kW보다 적은 상태일 때, L1b에 유도손실은 L1과 전력반도체 스위칭 디바이스 Q1과 Qs에 전력손실억제를 초과한다.

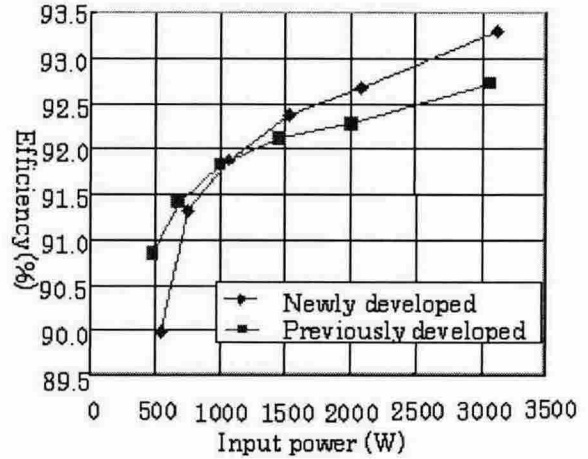


Fig. 8 Actual efficiency vs. input power characteristic comparisons between newly developed and previously developed inverters

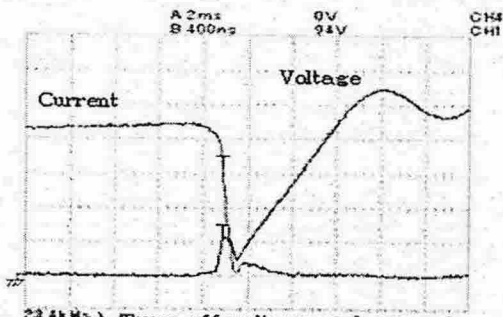
##### C. 제로전압 소프트 스위칭

그림9는 오프 시 Q1과 Qs의 파형을 설명한다. 각각의 전압 파형은 공진 콘덴서 C1의 영향으로 서서히 올라간다. 반면, 전류파형은 뚜렷한 감소를 하고 있다. 그 결과, 오프 시 전력소비 Q1과 Qs가 급격하게 감소한다.

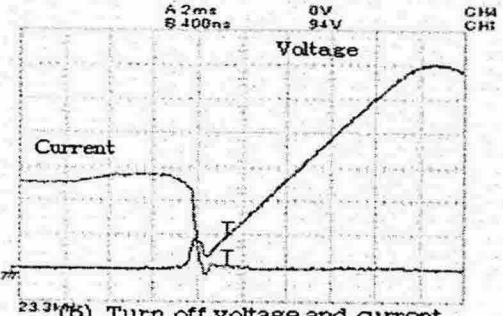
새로이 개발된 부스트 하프 브릿지 1단 고주파 인버터에 오프상태의 전력소비는 20W(Q1)와 8W(Qs)로 계산된다. 그리고 Q1이나 Qs를 통하고는 최대동작전압은 700V이고, Q1과 Qs의 지속전압은 950V로 디자인했다. 반면, 이전에 개발된 인버터의 최대 동작전압은 750V이고, 1kV IGBT를 사용했다. IGBT의 실행은 스위칭 속도  $t_f$  과 포화전압  $V_{ce(sat)}$ 를 거의 결정시킨다. IGBT 디자인 규칙이 동일조건일 때 포화전압은 허용전압에 관계한다. 결과적으로, 새로이 개발된 고주파 1단 인버터에 동작하는 Q1과 Qs의 총 전력소비는 이전에 개발된 인버터와 비교했을 때 감소했다.

##### D. 전력소비 분석

표2는 최대 입력전력(3kW)의 상태에서 새로이 개발된 1단 고주파 인버터와 기존의 인버터의 총 전력 소비 분석을 나타낸다. 두 고주파 인버터가 최대입력전력에서 동작할 때 새로이 개발된 1단 인버터의 전력소비는 이전에 개발된 2단 전력 인버터회로보다 6% 더 낮다고 평가된다. 이유는 저주파 가동코일전류에서의 전력손실의 제거 때문이다. Q1 뿐만 아니라 Qs에 통하는 가동전압은 이 부스트 하프 브릿지 1단 회로위상에서 낮을 수 있다. Q1과 Qs의 피크전압은 둘 다 감소한다.



234k (a) Turn off voltage and current waveforms of Q1  
Current axis: 20A/div Voltage axis: 100V/div



233j (b) Turn off voltage and current waveforms of Qs  
Current axis: 20A/div Voltage axis: 100V/div

Fig.9 Switching waveforms of Q1 and Qs in the newly developed high frequency inverter

Table 2.  
Comparative power dissipations between the newly developed and the previously developed inverters

| Components & Devices         | Power Dissipation    |                 |
|------------------------------|----------------------|-----------------|
|                              | Previously developed | Newly Developed |
| Q1(SW1/D1)                   | 65W                  | 49W             |
| Qs(SW2/Ds)                   | 30W                  | 21W             |
| L1                           | 60W                  | 53W             |
| L1b                          |                      | 30W             |
| L2                           | 25W                  | 18W             |
| DB(Bridge Inductance)        | 28W                  | 23W             |
| Capacitor (0.1, 0.01, 0.001) | 15W                  | 15W             |
| Total Loss                   | 223W                 | 209W            |

#### 4. 결과

이 논문에는 부스트 하프 브릿지 1단 이나 부스트 능동 클램프 1단 소프트 스위칭 PWM 고주파 인버터가 쓰여져서 변환되어지는 유효주파 AC에서 고주파 AC까지의 새로운 회로위상은 소비효도가 열장치를 위해 제안되어져 왔다. 새로운 1단 고주

파 IH인버터는 가동코일전류의 저주파성분을 제거하거나 회로성분의 전력소비를 줄이는 승압기능으로 사용한다. PWM과 PDM기반의 듀얼 모드제어 도식과 함께 1단 고주파의 동작 원리와 하나의 형태를 보여준다. 1단 전력 주파수 변환기의 정상상태 동작실행은 전통적인 2단 고주파 인버터와 비교하면서 실험으로 증명했다. 고주파 AC전력변동률과 전력변환효율이 전력손실분석에 기본이 된다. 이 실질효율은 실험치로부터 제공된다. 앞으로 유망한 전력스위칭 디바이스 ESBT와 SiC-JFET로 사용하는 부스트 하프 브릿지 1단 고주파 인버터는 전체적으로 효율을 개선하기 위해 평가되고 토론될 것이다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축 지원 사업으로 수행된 논문입니다.

#### 참고 문헌

- [1] H.Muraoka, M.Nakaoka, K.Sakamoto : "High-Frequency PWM Forward Converter with Auxiliary Active Clamped Capacitor for Low Voltage High Current Operation", Proceedings of IEEE PELS- Power Electronics Specialists Conference, Vol.3, pp.1523-1528, Vancouver, Canada (2001-6)
- [2] S.Hishikawa, M.Serguei, M.Nakaoka, I.Hirota, H.Omori, H.Terai : "New Circuit Topology of Soft-Switching Single-Ended High Frequency Inverter using IGBTs", Technical Report of IEICE-J Energy Electronics Professional Meeting, Vol.100, No.628, pp19-24, (2000-2) (in Japanese)
- [3] M.Kaneda, H.Tanaka, M.Nakaoka : "A Novel Prototype of Single-Ended Push-Pull Soft-Switching High-Frequency Inverter using a Single Auxiliary ZVS-PWM Switch", Technical Report of IEICE-J Energy Electronics Professional Meeting, Vol.100, No.628, pp31-37, (2000-2) (in Japanese)
- [4] H.Sadakata, H.Terai, H.Omori, H.Yamasita, M.Nakaoka "The Development of ZCS-PWM-SEPP Inverter with Complexed Control Method." IEEJ SPC-03-30 (2003-2)(in Japanese)
- [5] K. Yasui, T. Kitaizumi, D. Bessyo, H. Omori, H.Terai, Mamun Abdullah Al, M. Nakaoka "Latest Development of Soft Switching Inverter Power Supply Using Active Clamp Scheme with A Charge Up Function for Magnetron Drive." IEEJ PCC-Osaka, Vol.3, pp1484-1489 (2002-4)
- [6] D.Bessyo, K.Yasui, H.Omori, H.Terai, M.Nakaoka "The Inverter Circuit Skills to Realize Low-Cost, Compact-Size Power Supply for Microwave Oven, and the Advantages of Improved Defrosting" Proceedings of IEEE-IAS International Appliance Technical Conference (2000-4)