

1차측 환류다이오드를 제거한 ZVZCS Dual TTFC에 관한 연구

한경태* . 김 용* . 배진용* . 이은영** . 이동현*
 *동국대학교, **대림대학

A Study on the ZVZCS Dual TTFC without Primary Freewheeling Diodes

Kyung-Tae Han* . Yong Kim* . Jin-Yong Bae* . Eun-Young Lee** . Dong-Hyun Lee*
 *Dongguk University, **Daelim College

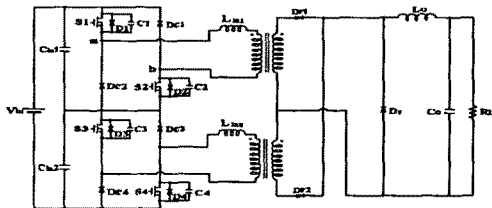
Abstract - This paper presents ZVZCS(Zero-Voltage and Zero-Current Switching) Dual TTFC(Two-Transistor Forward Converter) without primary freewheeling diodes. The principle of operation, feature and design considerations are illustrated and verified through the experiment with a 1.8kW 55kHz MOSFET based experimental circuit.

1. 서 론

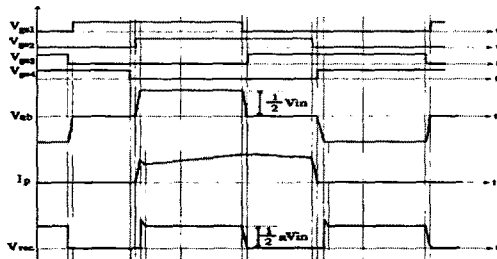
Dual TTFC는 1차측 회로에 두 개의 TTFC를 직렬연결하여 풀브리지 컨버터처럼 동작하기 때문에 대전력 응용에 적합하다. 또한, 각 스위치에 인가되는 전압을 1/2로 감소시키며, 풀브리지 컨버터에 비해 고신뢰성의 특성을 지닌다[1-5]. 본 논문에서는 전부하 범위에서 효율이 우수하고, 신뢰성이 높으며, 각 부품에 인가되는 전압 스트레스 및 노이즈의 저감 특성을 갖는 1차측 환류다이오드를 제거한 ZVZCS Dual TTFC에 대해 동작원리 및 특성에 대해서 논하였으며, MOSFET를 사용하여 1.8kW급 시작품을 제작, 55kHz에서 실험하였다.

2. 본 론

2.1 기존의 ZVS Dual TTFC



(a) 컨버터 회로



(b) 컨버터 각부 파형

그림 1. 기존의 ZVS Dual TTFC

그림 1은 기존의 ZVS Dual TTFC의 회로 및 각부파형을 나타낸다. 기존의 TTFC 컨버터는 스위치 전압 스트레스를 저감시킬 수 있는 장점이 있으나, 순환모드 구간 동안 스위칭 소자와 변압기를 통해 흐르는 순환전류에 따라 도통손실이 증가하는 문제점을 지니고 있다[1-3].

2.2 제안된 ZVZCS Dual TTFC

그림 2는 제안된 ZVZCS Dual TTFC 회로를 나타내며, 램프 인덕터(Ld), 스너버 커패시터(Cs), 두 개의 스너버 다이오드(Ds1, Ds2)로 구성된다. 제안된 회로는 고주파 변압기의 순환전류를 신속히 저감시킬 수 있으며, 정류 다이오드(Dr1, Dr2)와 환류다이오드(Df)의 전압 스트레스를 줄일 수 있는 특성을 지닌다. 기존의 Dual TTFC는 1차측에 네 개의 환류다이오드를 가지는데, 이것은 순환전류 구간 동안 환류구간을 제공한다. 하지만, 제안된 컨버터는 위상이동 방식을 적용하였기 때문에 두 개의 1차측 환류 다이오드(Dc1, Dc2)가 불필요하게 된다.

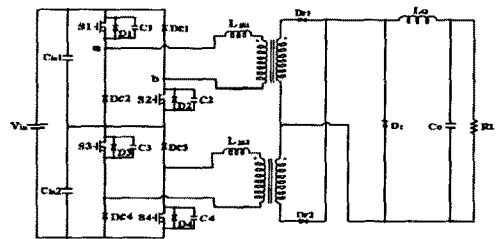


그림 2. 제안된 ZVZCS Dual TTFC 회로

그림3과 그림4는 ZVZCS Dual TTFC의 모드별 동작파형과 등가회로를 나타낸다. 제안된 회로는 반주기에 7개의 모드를 가지고 있으며, 거의 50%의 듀티 주기마다 위상이동 방식의 스위칭 형태로 동작한다.

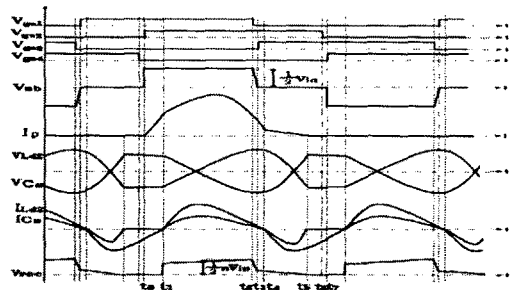
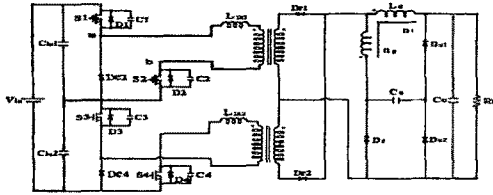
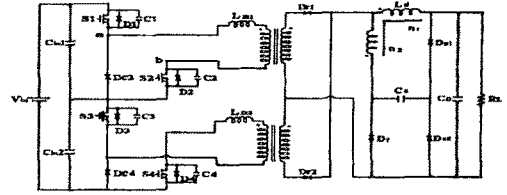


그림 3. 이론적인 회로 각부 파형

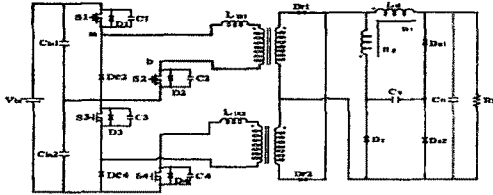


MODE 0 ($t_0 \sim t_1$)

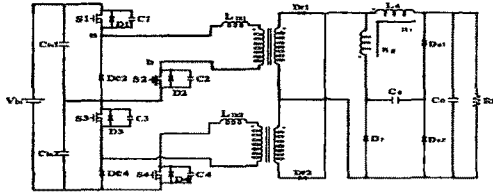


MODE 6 ($t_6 \sim t_7$)

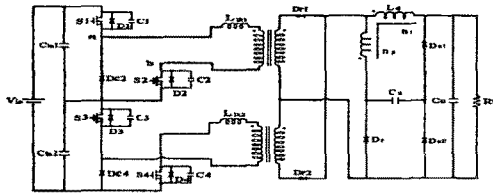
그림 4. 제안된 회로의 모드별 동작



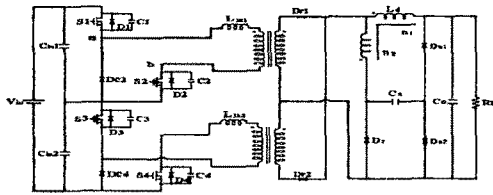
MODE 1 ($t_1 \sim t_2$)



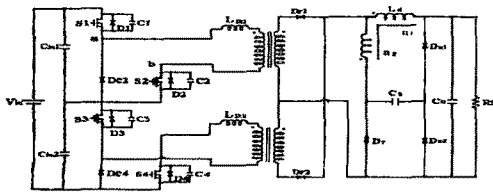
MODE 2 ($t_2 \sim t_3$)



MODE 3 ($t_3 \sim t_4$)



MODE 4 ($t_4 \sim t_5$)



MODE 5 ($t_5 \sim t_6$)

1) 모드 0 : $t_0 \leq t \leq t_1$
 t_0 시점에서 S2가 영전류에서 턴오프되면 $1/2V_{in}$ 전압이 스위칭 소자 S1, S2를 통해 고주파 변압기에 인가된다.

$$I_p(t) = \frac{V_{in}}{2L_{lk}} \cdot t \quad (1)$$

2) 모드 1 : $t_1 \leq t \leq t_2$
 이 모드는 입력전력이 출력측으로 전달되는 구간이다. t_1 시점에서 고주파 변압기의 1차전류(I_p)가 1차측으로 유도된 출력부하전류(nI_o)에 이르게 되면, 탭 인덕터의 2차권선과 환류다이오드(D₂)를 통해 흐르던 전류가 0으로 저감되어 환류다이오드(D₂)가 소프트하게 턴오프되고, 탭 인덕터 1, 2차 권선전압의 극성이 반전된다.

$$I_{cs}(t) = \frac{1}{N_d} \left(\frac{nV_{in}}{2} - V_o \right) \sqrt{\frac{C_s}{L_{dk}}} \cdot \sin \sqrt{\frac{1}{L_{dk}C_s}} \cdot t \quad (2)$$

$$V_{cs}(t) = \frac{1}{N_d} \left(\frac{nV_{in}}{2} - V_o \right) \left[1 - \cos \sqrt{\frac{1}{L_{dk}C_s}} \cdot t \right] \quad (3)$$

여기서, $n = \frac{N_2}{N_1}$, $N_d = \frac{n_2}{n_1 + n_2}$

$$V_d(t) = -N_d V_{cs}(t) + V_{cs}(t) + V_o \quad (4)$$

여기서, $V_d(t)$ 는 변압기 2차측 전압.

3) 모드 2 : $t_2 \leq t \leq t_3$
 t_2 시점에서 스위칭소자 S1이 턴오프되면, 고주파 변압기 누설인덕터(L_{lk})와 출력 필터 인덕터(L_{dl})에 축적된 에너지에 의해 스위칭 소자 S1과 S3의 기생커패시터(C1, C3)를 충·방전시킨다. 스위칭 소자 S1의 기생커패시터(C1)에 충전된 전압이 $V_{in}/2$ 에 도달하고, 동시에 스위칭 소자 S4의 기생커패시터(C2) 전압이 0으로 방전되어 스위칭소자 S1과 S4의 기생 커패시터의 충·방전이 끝나면 이 모드는 종료된다.

4) 모드 3 : $t_3 \leq t \leq t_4$
 S3의 기생 커패시터(C3)의 전압이 0이 된 후에 S3가 턴오프되면 영전압 상태에서 턴오프되고, 고주파 변압기 1차전류(I_p)는 1차측 환류다이오드(D₂)를 통하여 순환된다. 이 때, 순환전류에 의해 고주파변압기 1차측 전압(V_{ab})은 0이 되고, 탭 인덕터의 2차권선 전압(V_{Ld2}) 및 스너버 커패시터 전압(V_{cs})의 합이 고주파변압기 2차측에 역으로 인가됨에 따라 순환전류는 신속히 저감된다.

5) 모드 4 : $t_4 \leq t \leq t_5$
 스너버 커패시터는 방전하며, 탭 인덕터의 누설인덕턴스(L_{dk})와의 공진에 의해 커패시터 전압의 극성이 반전된다. 그리고, D₃₁를 통해 충전된 스너버 커패시터는 D₃₂를 통하여 방전하게 되고, 스너버 커패시터의 방전이 끝날 때 이 모드는 종료된다.

$$\frac{dI_p(t)}{dt} = \frac{-V_d(t)}{L_k} \quad (5)$$

$$V_d(t) = V_{Ld2}(t) + V_{\alpha}(t) = N_d(V_o - V_{\alpha}(t)) + V_{\alpha}(t) \quad (6)$$

6) 모드 5 : $t_5 \leq t \leq t_6$

t_5 시점에서 순환전류가 거의 0으로 저감됨에 따라, 2차측 정류다이오드(D_{r1})는 턴오프되고, 출력 부하전류(I_o)는 환류 다이오드(D_r)와 탭 인덕터 1, 2차 권선을 통해 흐르기 시작한다.

7) 모드 6 : $t_6 \leq t \leq t_7$

t_6 시점에서 S2는 영전류에서 턴오프되며, S4가 영전류 턴온될 때 이 모드는 종료된다.

나머지 반주기는 상기의 과정과 동일하다.

2.3 실험 결과

제안된 방식의 타당성을 입증하기 위해 55kHz, 1.8kW ZVZCS TTFC를 제작하여 실험하였다. 표 1은 하드웨어 제작에 사용된 소자와 회로 파라미터 값을 나타낸다.

표1. 하드웨어 제작에 사용된 소자와 회로 파라미터

| | |
|---|--|
| 입력 전압 | DC 400 V |
| 출력 전압 | DC 27 V |
| 주 변압기 | PQ5050. TDK 18 : 7. $L_k = 1.5 \mu\text{H}$ |
| 분압 커패시터 | 100 μF |
| 주 스위치 | IXFH 32N50. X IXY |
| 1차측 환류 다이오드(D_{c3} , D_{c4}) | APT30D60B. APT |
| 2차측 정류·환류 다이오드(D_{r1} , D_{r2} , D_r) | DSEI 2x121-02A. IXYS |
| 2차측 보조 커패시터(C_s) | 376 nF |
| 2차측 보조 다이오드(D_{s1} , D_{s2}) | DSSK60-0045B. IXYS |
| 2차측 출력 인덕터(L_{dn1}) | 94 μH |
| 2차측 탭 인덕터(L_{dn2}) | 25 μH |
| 출력단 커패시터 | 6000 μF |
| 스위칭 주파수 | 55 kHz |

그림5, 6은 위상이동 방식을 적용한 ZVS Dual TTFC, 제안된 ZVZCS Dual TTFC의 1차측 변압기 전압(V_{ab}) 및 전류(I_p) 파형을 나타낸다. 그림으로부터 제안된 ZVZCS Dual TTFC는 ZVS Dual TTFC에 비해 고밀도의 전력을 출력측으로 전달함을 알 수 있다. 그림 7은 제작된 컨버터의 효율 측정 결과로 제안된 컨버터는 경부하시에 향상된 특성을 나타내며, 나머지 전 부하영역에 걸쳐 비교적 우수한 효율 특성을 지니고 있음을 알 수 있다.

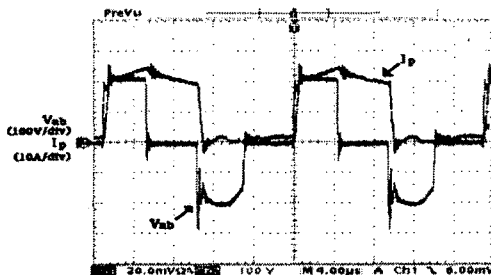


그림 5. ZVS Dual TTFC의 변압기 전압·전류 파형

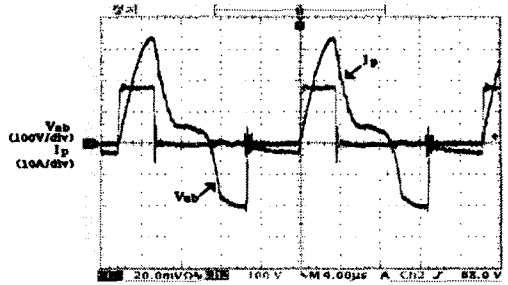


그림 6. 제안된 ZVZCS Dual TTFC의 변압기 전압·전류 파형

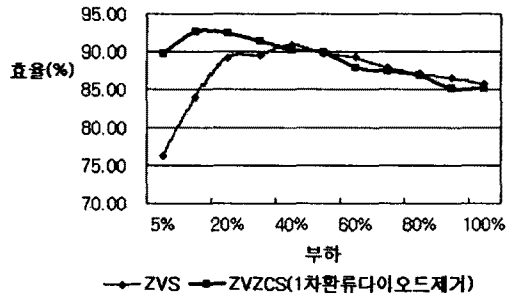


그림 7. 효율 측정

3. 결 론

본 논문에서는 1차측 환류다이오드를 제거한 Dual ZVZCS TTFC를 제안했다. 1차측에는 TTFC로 결선하고 여기에 위상이동 스위칭 방법을 이용하여 S1과 S3가 영전압 스위칭을 하게 되며, 두 개의 1차측 환류 다이오드가 불필요하게 된다. 제안된 컨버터는 고전압, 대전력 시스템 응용에 적합하리라 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한경태, 김용, 배진용의, "위상이동 방식을 적용한 ZVZCS Interleaving Two-Transistor Forward 컨버터에 관한 연구", 대한전기학회, 춘계학술대회 논문집, pp. 276~280, KIEE 2003 춘계학술대회
- [2] Dharmraj V. Ghodke and K. Muralikrishnan, "Zvzcs, Dual, Two-Transistor Forward Dc-Dc Converter With Peak Voltage of $V_{in}/2$, High Input and High Power Application", IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp.1853~1858, 2002.
- [3] Eun-Soo Kim, Young-Bok Byun, Tae-Geun Koo, Kye-Yeon Joe, Yoon-Ho Kim, "An improved three level ZVZCS DC/DC converter using a tapped inductor and a snubber capacitor", Power Conversion Conference, vol.1, pp.115~121, 2002.
- [4] C. H. G. Treviso, A. A. Pereira, V. J. Farias and L. C. de Freitas, "A 1.5kW Operation with 90% Efficiency of a Two Transistor Forward Converter with Non-dissipative Snubber", IEEE PESC Conference, pp.696~700, 1998.
- [5] D. S. Oliveira J, C. A. Bissocchi Jr., J. B. Vieira Jr., V. J. Farias and L. C. de Freitas, "A Lossless Commutation PWM Two Level Forward Converter Operating Like A Full-Bridge", IEEE APEC Conference, pp.334~338, 2000.