

동적 전류분담 인덕터를 적용한 ZVT 풀 브리지 컨버터의 병렬 운전

배진용*, 김 용*, 백수현*, 권순도**, 이규훈***, 김철진****
 *동국대학교, **대림대학, ***아주하이텍, ****한라대학교

The Parallel Operation of ZVT-Full Bridge Converter with Dynamic Current Shared Inductor

Jin-Yong Bae*, Yong Kim*, Soo-Hyun Baek*, Soon-Do Kwon**, Kyu-Hoon Lee***, Cheri-Jin Kim****
 *Dongguk University, **Daelim College, ***AJUHITEK, ****Halla University

Abstract - This paper presents parallel operation of ZVT(Zero Voltage Transition) Full Bridge Converter with Dynamic Current Shared Inductor. In the conventional method, CT(Current Transformer) have been used to share the load current equally with converters. In this system, at parallel operation of ZVT Full Bridge Converter, dynamic current shared inductor divides the same current of unit converter and ZVT circuit aids to high efficiency. This method which is proposed to compare in the conventional method will do simple control circuit. To show the superiority of this converter is verified through the experiment with a 2kW, 50kHz prototype converter.

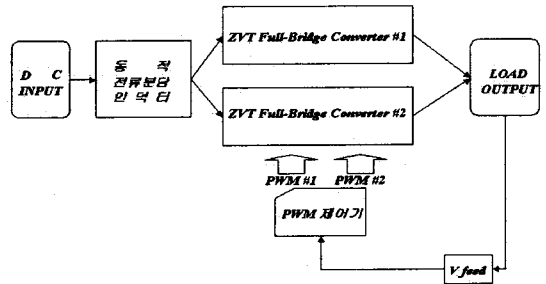


그림 1. 제안된 시스템 블록도

사용하는 대신 동적 전류분담 인덕터를 사용하여 제어회로를 간단히 할 수 있다.

1. 서 론

반도체 기술의 발전에 따라 전자기기들의 기능적 정밀도가 점차 높아지고 있고, 특히 전원 공급장치는 높은 신뢰성을 가진 고효율, 고정밀도, 대전력 시스템을 요구하고 있다. [1-7] 이러한 대전력 시스템에서 전원을 안정하게 공급하기 위해서는 신뢰성이 높고 큰 용량의 직류 전원이 필요하게 된다. 따라서 전원 용량을 증대시키며, 스위치 스트레스를 저감하는 방법으로 여러대의 모듈화된 단위 컨버터를 병렬 운전하는 방법이 제안되고 있다. [1][2][3][4] 컨버터의 병렬운전시 각 컨버터의 전류분배를 균등히 해야 하며, Droop 방법과 능동 전류분담 방법(Active Current Sharing Method)이 제안되어 있다. 능동 전류분담 방법으로는 평균전류 제어방법, 최대전류 제어방법, Master/Slave 전류모드 제어방법 등 부하 전류분배를 위한 여러 가지 방법이 제안되고 있다. [1][2] 본 연구에서는 병렬 운전하는 두 대의 풀 브리지 컨버터의 전류분배를 위하여 동적 전류분담 인덕터를 사용함으로써 제어회로를 비교적 단순하게 하였으며, 동시에 전체 시스템의 신뢰성을 향상시켰다. [3] 본 논문에서는 제안된 동적 전류분담 인덕터의 동작원리, 해석 및 특성에 대해서 논하였으며, IGBT를 사용하여 2kW급 시작품을 제작, 50kHz에서 실험하였다.

2. 본 론

2.1 제안된 시스템

그림 1은 제안된 시스템을 나타낸다. 제안된 시스템은 풀 브리지의 병렬운전에 있어서 단일 PWM 제어회로에 의해 제어되기 때문에 기존의 병렬운전 제어 시스템보다 제어회로의 수가 줄어든다. 또한 각각의 단위 컨버터의 전류분배를 균등하게 하기 위하여 특별한 전류 제어기를

2.2 동적 전류분담 인덕터의 동작특성

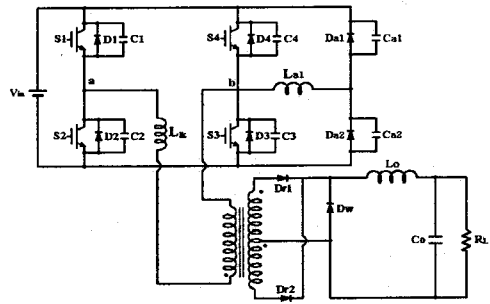


그림 2. 단위 ZVT컨버터의 회로도

그림 2는 단위 ZVT컨버터의 회로도를 나타낸다. 풀 브리지 컨버터의 1차측에 두 개의 보조 다이오드(Da1, Da2)와 보조 커패시터(Ca1, Ca2), 그리고 한 개의 가포화 인덕터(La1)를 사용하여 넓은 부하영역에서 영전압 스위칭 동작을 함으로써 안정된 소프트 스위칭 동작 영역이 확보되도록 하였다. [4]

그림 3은 동적 전류분담 인덕터 회로로서 역극성으로 상호 결합된 인덕터(Lin1, Lin2)와 병렬로 연결된 커패시터(Cin1, Cin2)로 구성되어 있다.

동적 전류분담 인덕터의 특성을 해석하기 위해서 다음과 같이 가정한다.

- 1) 모든 소자는 이상적이다.
- 2) 동적 전류분담 인덕터의 누설 인덕턴스는 무시한다.
- 3) 동적 전류분담 인덕터는 역극성으로 상호 결합된 이상적인 1:1 변압기 구조이다.

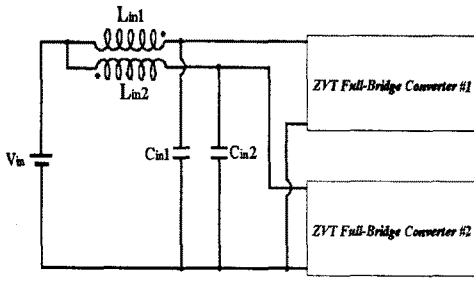


그림 3. 동적 전류분담 인덕터 회로도

동적 전류분담 인덕터 L_{in1} 과 L_{in2} 에 유기되는 전압은 식(1), 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$V_{Lin1} = L_{in1} \frac{di_1}{dt} - L_{in2} \frac{di_2}{dt} \quad (1)$$

$$V_{Lin2} = -L_{in1} \frac{di_1}{dt} + L_{in2} \frac{di_2}{dt} \quad (2)$$

가정에 의해서 $L_{in1} = L_{in2}$ 이므로 식(1)과 식(2)는 식(3)과 식(4)로 된다.

$$V_{Lin1} = L \frac{d}{dt}(i_1 - i_2) \quad (3)$$

$$V_{Lin2} = -L \frac{d}{dt}(i_1 - i_2) \quad (4)$$

여기서 $L = L_{in1} = L_{in2}$ 이다.

정상상태에서 각각의 단위 컨버터가 균일한 전류분배 ($i_1 = i_2$)을 하면, 동적 전류분담 인덕터의 전압은 $V_{Lin1} = V_{Lin2} = 0$ 이 된다.

만일 컨버터#1로 과도한 전류(i_1)가 흐르면, 컨버터#1의 동적 전류분담 인덕터에는 역방향 전압이 인가되어 컨버터#1의 입력전압 레벨은 낮아지고, 컨버터#2는 반대로 순방향 전압이 인가되어 컨버터#2의 입력전압 레벨은 높아진다. 따라서 동적 전류분담 인덕터는 각각의 단위 컨버터의 전류분담이 다를 때, 입력전압 레벨의 차를 발생시키고, 두 컨버터의 균일한 부하 전류분배를 하도록 한다.

2.3 컨버터의 임피던스 특성

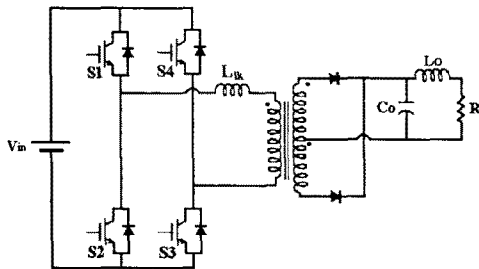


그림 4. ZVS 풀 브리지 컨버터

컨버터의 임피던스 특성을 해석하기 위해 ZVT 풀 브리지 컨버터 1차측 보조회로의 영향을 무시하면, 그림 4와 같이 ZVS 풀 브리지 컨버터와 같아진다.

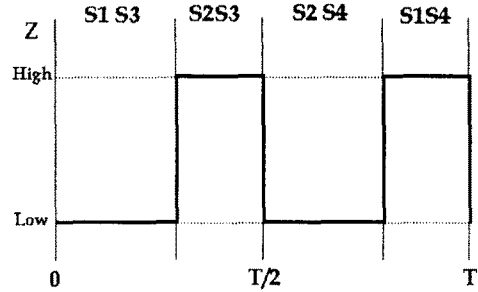


그림 5. 스위칭 상태에 따른 컨버터 임피던스 변화

그림 5는 스위칭 상태에 따른 ZVS 풀 브리지 컨버터 임피던스(Z)의 변화 특성을 나타낸다. 스위치 S1과 S3, S2와 S4가 턴온될 때, 1차측 전력은 2차측으로 전달되며 컨버터 임피던스(Z)는 낮아지고, 스위치 S2와 S3, S1과 S4가 턴오프될 때 입력 전압이 출력단과 분리되는 프리윌링 구간이다. 따라서 이 구간 내에 컨버터의 임피던스(Z)는 높아진다.

그림 5와 같이 컨버터의 임피던스 주기는 스위칭 주기(T)의 절반임을 알 수 있다.

2.4 동적 전류분담 인덕터의 선정

표 1. 컨버터 소자의 종류 및 그 특성

구분	수동 소자	능동 소자
종류	인덕터, 커패시터, 변압기, 저항	스위칭 소자, 다이오드
특성	임피던스가 고정	임피던스가 주기적으로 변화

병렬 운전시 각 단위 컨버터의 균일한 전류분배를 방해하는 요소로는 각 단위 컨버터 사이에 수동소자의 임피던스가 상이하거나, 시간에 따른 능동 소자의 임피던스 특성의 변화를 들 수 있다.

따라서 각 컨버터 소자들의 임피던스 변화에 의한 전류 불평형을 해결할 수 있는 동적 전류분담 인덕터 선정이 요구된다.

식 (3)과 식(4)로부터

$$V_{in} = L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (5)$$

여기서

V_{in} : 입력전압

Δi : 정상상태 단위 컨버터에 흐르는 전류

Δt : 컨버터 임피던스의 1주기

식 (5)로부터 인덕터의 크기는 식 (6)과 같이 된다.

$$L = V_{in} \frac{\Delta t}{\Delta i} \quad [H] \quad (6)$$

실제로 동적 전류분담 인덕터의 상호 결합도는 1보다 작으므로 그것을 보상할 기계적 여유치를 고려하면 식 (7)과 같이 된다.

$$L = V_{in} \frac{dt}{di} \times K \quad (7)$$

여기서

K : 여유치(1.2~1.3)

2.5 실험 결과

제안된 방식의 타당성을 검증하기 위해 50kHz, 1kW ZVT 풀 브리지 DC/DC 컨버터 2대를 병렬로 구성하여 실험하였다. 표 2는 하드웨어 제작에 사용된 소자와 회로 파라미터 값으로 파라미터 값은 나타낸다.

표 2. 하드웨어 제작에 사용된 소자와 회로 파라미터

입력전압	240 V
출력전압	120 V
주 변압기	EE5530, MAGNETICS 14 : 10 Lk = 5uH
주 스위치	FM2GN50N S60, FAIRCHILD
보조 다이오드	DEXI 30, IXYS
보조 커패시터	33 nF
2차측 다이오드	DEXI 2X61, IXYS
출력단 인덕터 (L _o)	37 uH
출력단 커패시터 (C _o)	800 uF
스위칭 주파수 (f)	50 kHz

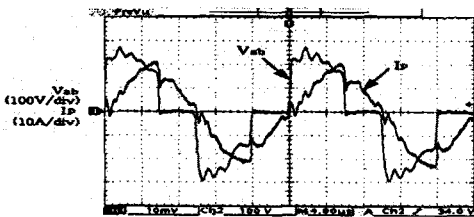


그림 6. 변압기 전압 전류 파형

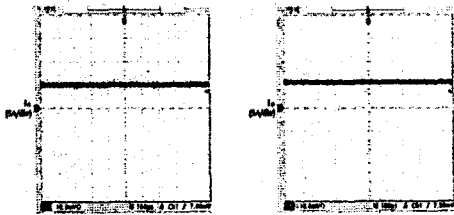


그림 7. 컨버터 #1, #2의 출력 전류 파형 (컨버터 #1, #2의 부하저항 20(Ω))

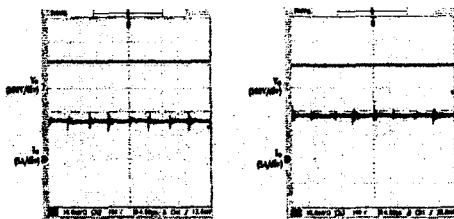


그림 8. 컨버터 #1, #2의 출력 전압 전류 파형 (컨버터 #1의 부하저항 15(Ω), 컨버터 #2의 부하저항 10(Ω))

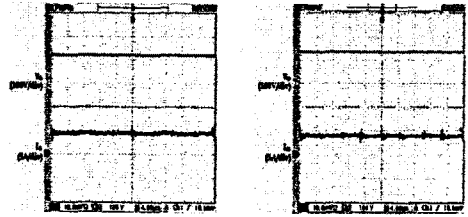
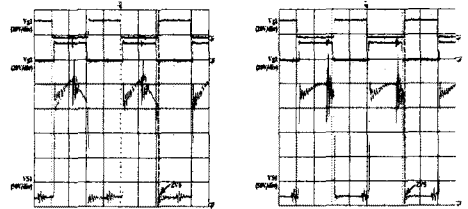


그림 9. 컨버터 #1, #2의 출력 전압 전류 파형 (컨버터 #1의 부하저항 15(Ω), 컨버터 #2의 부하저항 30(Ω))



(70%부하) (25%부하)
그림 10. ZVT 파형

그림 6은 1차측 변압기 양단의 전압·전류 파형을 나타낸다. 그림 7, 그림 8, 그림 9는 컨버터의 출력 측을 각각 분리하여 단위 컨버터에 각각의 부하 인가시 출력 전압·전류 파형이다. 각 실험의 결과는 표 3에 정리하였다.

표 3. 단위 컨버터에 각각의 부하 인가시 출력 전압, 전류 및 전력

실험 1		실험 2		실험 3	
컨버터#1 20(Ω)	컨버터#2 20(Ω)	컨버터#1 15(Ω)	컨버터#2 10(Ω)	컨버터#1 15(Ω)	컨버터#2 30(Ω)
120(V)	120(V)	120(V)	104(V)	120(V)	137(V)
6(A)	6(A)	8.2(A)	9.3(A)	5.5(A)	4.7(A)
720(W)	720(W)	984(W)	967(W)	660(W)	644(W)

단위 컨버터에 대한 부하실험은 컨버터#1의 출력 전압을 120(V)로 하고, 컨버터#2의 전압과 전류를 관찰하였다. 실험 결과로부터 동적 전류분담 인덕터는 부하가 많이 인가되는 컨버터에 상대적으로 전류량을 줄이며, 부하가 적게 인가되는 컨버터에 전류량을 늘려서 각 컨버터가 부담하는 전력량이 비슷하도록 제어한다.

실험으로부터 컨버터#1을 기준으로 저항이 5(Ω)차이에서는 전력배분 오차가 1.73(%)이고, 저항이 15(Ω) 차이에서는 전력배분 오차가 2.42(%)로 동적 전류분담 인덕터가 두 컨버터에 양호한 전력 분담을 하고, 같은 부하(20(Ω))에서는 균일한 전류 분담을 한다.

그림 10은 부하 상태에 따른 영전압 스위칭 파형이며, 경부하 시에도 안정하게 영전압 스위칭 하여, ZVT 조건을 만족한다.

3. 결 론

본 논문에서는 대용량에 적합한 ZVT 풀 브리지 컨버터의 병렬 운전에 관하여 논하였다. 풀 브리지 컨버터의 병렬 운전시 동적 전류분담 인덕터를 사용하여 각각의 단위 컨버터에 전류분배를 균등히 하고, 동시에 ZVT회로를 이용하여 컨버터의 효율을 향상시켰다. 또한 컨버터의 임피던스 특성을 고려한 동적 전류분담 인덕터의 선정법을 제시하였으며, 제안된 동적 전류분담 인덕터를 2kW급 컨버터에 적용하고, 단위 컨버터에 각각의 부하인가 실험을 통하여, 두 컨버터가 양호한 전력분담을 하게 됨을 확인 할 수 있었다.

제안된 방식은 기존에 각각의 컨버터에서 전류를 감지하여 단위 컨버터에 균등한 전류배분을 하는 방법에 비하여, 제어기의 수가 줄어들고, 제어 회로가 간단해지는 장점이 있지만, 제안된 방식으로는 두 대 이상의 컨버터의 병렬 운전에는 적용하기 어렵다는 한계가 있어, 이 분야에 계속적인 연구가 필요하다고 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 孫承燦, 成世鎭, "영상 변류기 동작 방식을 이용한 2개의 컨버터 병렬 운전", 전기학회 논문지, 49권 4호, pp. 256~264, 2000년 4월
- [2] M. Jordan, "UC3907 Load Share IC Simplifies Parallel Power Supply Modules", Unitrode Application Note U-129
- [3] 배진용, 김용, 윤석호, 장성원, 이규훈, "ZVT 풀 브리지 DC/DC 컨버터의 병렬 운전 및 제어기 설계에 관한 연구", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회, 춘계학술대회 논문집, pp. 324~328, KIEE 2001 춘계학술대회
- [4] 尹彰善, 金炳哲, 金堯憲, "FB ZVT PWM 컨버터의 환류 구간 손실저감을 위한 보조회로", 전력전자학회 논문지, 5권 3호, pp. 209~214, 2000년 6월
- [5] Hangseok Choi, J. W. Kim, J. H. Lee, and B. H. Cho, "Modeling, Analysis and Design of 10kW Parallel Module Zero-Voltage Zero-Current Switched Full Bridge PWM Converter", The Proceedings of The APEC'2000, pp. 321~326, February 2000
- [6] Eui-Sung Kim, Dong-Yun Lee, Dong-Seok Hyun, "A Novel Partial Series Resonant DC/DC Converter with Zero-Voltage/Zero-Current Switching", The Proceedings of The APEC'2000, pp. 93~98, February 2000
- [7] J. G. Cho, C. Y. Jeong and Fred C. Lee, "Zero Voltage and Zero Current-Switching Full Bridge Converter Using Secondary Active Clamp", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 13, No. 4, July 1998