

ZCT방식의 master-slave형 DC-DC컨버터 병렬운전

박상은*^o 손승찬** 진정태*** 이기홍**** 성세진*

*충남대학교 **국방과학연구소 ***한국원자력연구소 ****대한주택공사연구소

Master-Slave type DC-DC Converters Parallel Operation by ZCT method

S.E. Park* S.C. Sohn** J.T. Jin*** K.H. Lee**** S.J. Seong*

*Department Electrical Engineering, Chungnam National University

**Agency for Defense Development

***Korea Atomic Energy Research Institute

****HRI Korea National Housing Corporation

Abstract

In this paper, Parallel operation of two DC-DC converters which we have ever done before need two CTs to do load current sharing. However, we have proposed a new method called ZCT method that can share load current with only a CT as doing parallel operation two converters with same converter capacity.

To confirm parallel operational performance by a proposed DC-DC converter parallel operation method, we have done computer simulation and experiment. It is certain that we have showed to achieve two converters' current sharing performance efficiently through simulation and experiment at result.

1. 서론

최근 반도체 산업이나 컴퓨터의 발달과 더불어 산업전반의 모든 분야가 전산화됨에 따라 전원 공급의 안정성에 대한 요구가 높아지고 있다. 이런 전원 공급장치는 높은 전력밀도와 높은 변환 효율 및 높은 신뢰도를 요구하는 대전력 시스템을 필요로 한다. 이

런 대전력 시스템을 한 대의 컨버터로 전원을 공급할 경우 파워를 공급할 수 있는 소자의 한계, 경제적인 측면 및 효율 등의 경우에 있어 불리하다. 작은 용량의 컨버터를 병렬 운전함으로써 소용량의 소자라도 큰 용량의 컨버터를 구성할 수 있으며 최적의 소자 선택을 하는데 있어서도 무리가 없게 된다. 또 병렬 운전에 의한 Redundancy를 통하여 전원 공급의 신뢰성을 높일 수가 있으며 보수 및 유지 측면에서도 유리하기 때문에 널리 사용되고 있는 방법이다.

기존에는 2개의 DC-DC 컨버터 전류 분배(load current sharing)를 위하여 각각의 CT(2개)를 이용하여 부하 전류 분배를 하였으나, 본 논문에서 제안하는 방식은 한 개의 CT만을 이용하여 ZCT(zero current transducer) 방식으로 동작시켜 두 컨버터의 전류 차를 얻어내 그 결과를 slave 컨버터에 피드백시켜 컨버터의 부하 분담 전류를 제어하는 방법이다.

제안된 병렬운전 방식의 성능 확인을 위하여 MATLAB을 이용한 시뮬레이션 및 실험을 하여 병렬 운전 시스템이 갖는 응답특성 및 정상상태 동작 등의 여러 특성을 확인해 보았다.

두 컨버터의 전류 분배 특성이 양호하게 동작함을 확인하기 위하여 상이한 기준 전압(V_r), 상이한 부하까지의 케이블 저항(R_{cr}), 컨버터의 제어기 이득(G_p)을 변화시켜 가면서 실험하였다. 시뮬레이션 결

과 및 실험 결과를 통하여 만족할 만한 병렬 운전 성능을 확인할 수 있었다.

2. DC-DC 컨버터의 병렬운전

2-1 ZCT 회로구성

그림 1과 같이 컨버터 A의 부하전류 I_a , 컨버터 B의 부하전류 I_b 가 반대 방향으로 흐르도록 관통형 CT에 반대 방향으로 통과시킨다. CT의 출력은 $I_a - I_b$ 의 비례하는 전압이 얻어진다. $I_a = I_b$ 라면, CT의 출력은 0이 된다. 즉 CT가 ZCT로 동작하게 된다. 그렇지 않다면, $I_a - I_b$ 에 비례하는 전압이 얻어지고 이 전압을 컨버터에 피드백시켜 $I_a - I_b$ 가 0이 되도록 제어하게 된다.

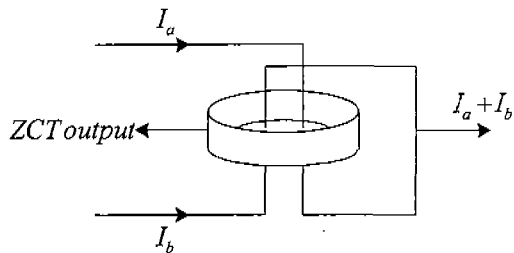


그림 1. ZCT 회로 구성

2-2 병렬 운전 전체 회로구성

그림 2에서 ZCT방식의 DC-DC컨버터의 병렬운전을 위한 개괄적인 시스템 구성도를 나타낸다.

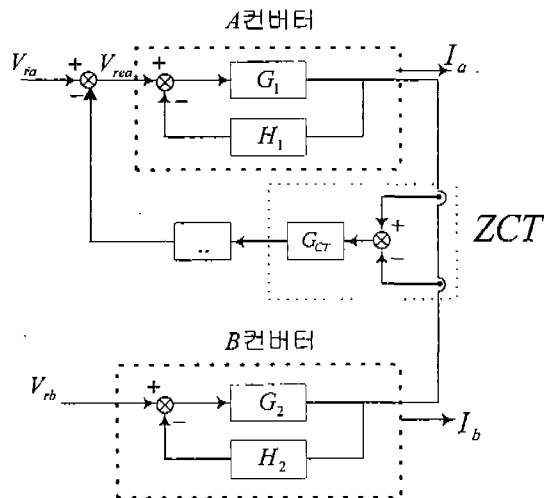


그림 2. 병렬 운전 시스템 블록선도

점선내의 블록은 A, B 각각의 컨버터와 ZCT부분을 나타내고 K는 병렬 운전 제어기 이득, G_{cr} 는 CT이득으로 두 컨버터 전류의 오차($I_a - I_b$)를 전압으로 변화하는 값을 의미한다.

B 컨버터(master 컨버터)의 전류를 기준으로 하고 ZCT 출력 ($I_a - I_b$)을 A 컨버터(slave 컨버터)에 피드백시켜 두 컨버터의 전류가 같아지도록 시스템을 구성하였다.

$I_a - I_b > 0$ 이면, 병렬 운전 컨트롤러의 출력이 양(+)이 되기 때문에 V_{rea} 가 작아지게 된다. 따라서 출력 전압 V_a 가 낮아져 A 컨버터 전류 I_a 가 작아지게 된다. $I_a - I_b < 0$ 이면, 병렬 운전 컨트롤러의 출력이 음(-)이 되기 때문에 V_{rea} 가 커지게 된다. 따라서 출력 전압 V_a 가 높아져 A 컨버터 전류 I_a 가 커지게 된다. 따라서 $I_a - I_b = 0$ 이 되도록 회로가 동작하게 된다.

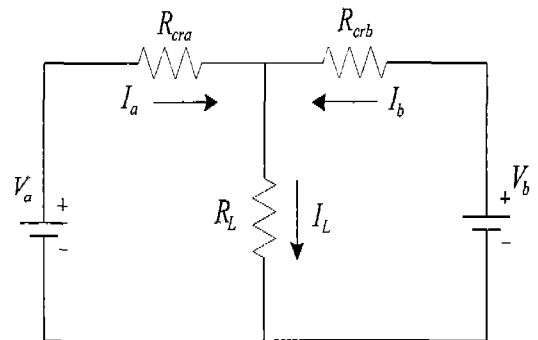


그림 3. 컨버터 병렬 운전시 출력단 등가 회로

그림 3의 등가 회로로부터 I_a , I_b 는 다음과 같이 표현된다.

$$I_a = \frac{(V_a - V_b) \times R_L + V_a \times R_{crb}}{R_z} \quad \dots (1)$$

$$I_b = \frac{(V_b - V_a) \times R_L + V_b \times R_{cra}}{R_z} \quad \dots (2)$$

여기서,

$$R_z = (R_{cra} + R_{crb}) \times R_L + R_{cra} \times R_{crb}$$

3. 시뮬레이션 결과

그림 4은 MATLAB을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 결과로 컨버터 A,B의 부하 전류 분배 오차($I_a - I_b$) 응답 특성을 나타낸다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 전류 분배 오차 동작 특성은 8ms이내에 정상 상태($I_a - I_b = 0$)에 돌입하여 양호한 병렬 운전 특성을 확인할 수 있다.

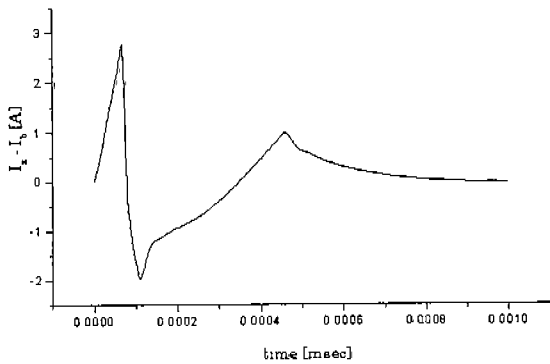


그림 4. 컨버터 A, B의 전류오차

4. 부하 실험 결과

ZCT방식의 부하 전류 분배 특성을 확인하기 위하여 다음과 같은 과장된 조건을 임의로 만들어 부하 실험을 하였다.

서로 다른 기준 전압(V_r) 경우의 부하 전류 분배 특성은 다음과 같다. A 컨버터의 $V_{ra}=2.5$ [V], B 컨버터의 $V_{rb}=2.6$ [V]로 한 경우의 전류 분배 특성은 그림 5와 같다.

부하까지 서로 다른 케이블 저항(R_{cr})의 경우 부하 전류 분배 특성은 다음과 같다. B 컨버터의 출력 단과 부하 사이에 $47\text{ m}\Omega$ 케이블 저항을 삽입하였을 경우는 그림 6과 같은 결과를 보인다.

상이한 컨버터의 피드백 이득(G_f)의 경우 부하 전류 분배 특성은 그림 7에서 보여지는 것과 같다. A 컨버터의 G_f 는 2극, 2개의 영점을 갖고, B 컨버터의 G_f 는 1극 1 영점이다.

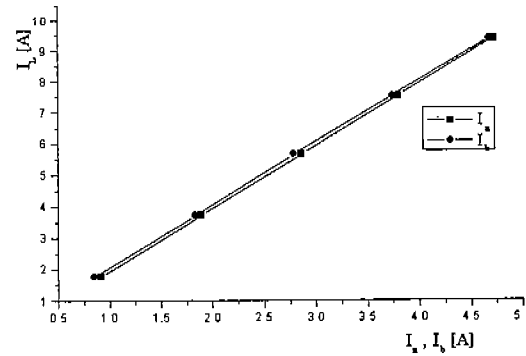


그림 5. 기준 전압이 상이한 경우의 부하 전류 분배 특성

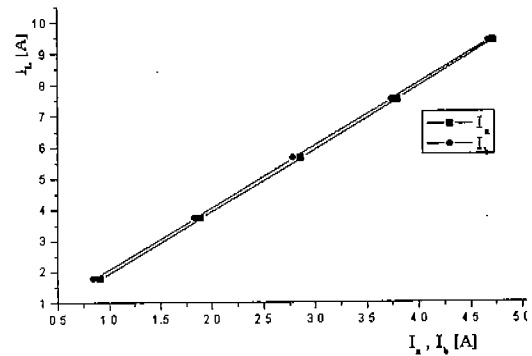


그림 6. 부하까지 케이블 저항이 상이한 경우 부하 전류 분배 특성

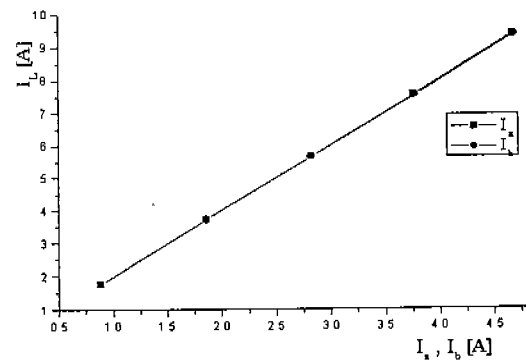


그림 7. 두 컨버터의 피드백 이득이 상이한 경우 부하 전류 분배 특성

각 컨버터에서 부하에 공급해야 할 평균 전류

$$I_{avg} = \frac{I_a + I_b}{2} \quad \dots \quad (3)$$

이고, 전류 불평형률(Current Unbalance Ratio)를

$$CUR = \frac{|I_a - I_{avg}|}{I_{avg}} \times 100 (\%) \quad \dots \quad (4)$$

라고 정의하면, 여러 가지 경우에 대한 CUR은 표 1과 같다.

표 1 각각의 실험조건에 대한 CUR

	I_a	I_b	CUR(%)
V_r	0.91	0.85	3.409
	1.89	1.83	1.613
	2.86	2.79	1.239
	3.80	3.74	0.796
	4.72	4.68	0.426
R_{cr}	0.87	0.86	0.578
	1.83	1.81	0.549
	2.75	2.72	0.548
	3.64	3.61	0.414
	4.51	4.44	0.782
G_f	0.88	0.88	0
	1.86	1.86	0
	2.82	2.82	0
	3.76	3.77	0.133
	4.67	4.69	0.214

5. 결 론

기존의 병렬 운전 방식은 두 대의 컨버터를 병렬 운전하는 경우에 2개의 CT가 필요하였다.

본 논문에서는 하나의 CT를 사용하는 ZCT방식을 제안하였고, 병렬 운전 성능을 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 했다. 그 결과 단지 하나의 CT만을 이용한 ZCT방식으로도 부하 전류 분배 특성이 양호하게 동작함을 확인할 수 있으며, 상이한 Voltage Reference, 케이블 저항, 피드백 이득을 변화시켰을 경우에 있어서도 컨버터의 부하 전류 분배 동작이 잘 이루어짐을 확인하였다.

차후에는 본 논문에서 제안한 ZCT방식과 기존의 전류 분배 방식과의 전류 분배 특성을 비교 분석할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] S.C. Sohn, S.J. Seong, "DC-DC converters parallel operation by ZCT method", IEEE Power electronics 송부논문. 1999.1
- [2] 김수석, 김희준, "전류 모드 제어 영전압 스위칭 풀 브리지 PWM 컨버터의 병렬 운전", 대한 전기학회논문지, 제46권 제9호, PP.1372-1378, 97.9
- [3] J. Rajagopalan, K. Xing, Y. Guo and F.C. Lee, "Modeling and Dynamic Analysis of Paralled dc/dc Converters with Master-Slave Current Sharing Control", Applied Power Electronics Conference and Exposition, Vol 2, PP.678-684, 1996.
- [4] Ren-Hua, Teruhiko Kohama, Yuichi Kodera, "Load-Current-Sharing Control for Parallel Operation of DC-to-DC Converters", Power Electronics Specialists Conference, PP.101-107, 1993.
- [5] 김수석, 김희준, "MATLAB을 이용한 DC-DC 컨버터의 병렬운전 해석 연구", 대한 전기학회 논문지, 47권 9호, PP.1432-1440, 1998.9
- [6] 김희준, 스위치모드 파워 서플라이, 성안당, 1998.1
- [7] Richard C. Dorf, Robert H. Bishop, Modern control systems 7th edition, Addison-Wesley Publishing Company Inc. 1995.
- [8] Karl Johan Astrom, Tore Hagglund, Automatic Tuning of PID Controllers, Instrument Society of America(ISA), 1988.