

다중 입력 변압기를 사용한 DC/DC 컨버터의 전력 불평형 해결 방법

황순상¹, 유영도¹, 고태진¹, 김학원²
동아일렉콤¹, 한국교통대학교²

The way of solution of the unbalanced power DC / DC converter with multiple input transformer

Soon Sang Hwang¹, Young Do Yoo¹, Tae Jin Ko¹, Hag-Wone Kim²
DongahElecomm¹, Korea National University of Transportation²

ABSTRACT

높은 전압을 입력으로 하는 DC/DC 컨버터는 효율 향상 및 소형화를 위한 방안으로 전압의 레벨을 나누어 여러개의 스테이지로 구성하여 병렬 운전을 실시한다. 하지만 여러 개의 병렬구조로 구성된 DC/DC 파워부는 능동 소자와 수동 소자의 오차값 등이 각 단에 흐르는 전력 불평형 문제를 야기시켜 소자의 스트레스 증가 및 발열로 인해 전원공급장치의 소손으로 이어진다. 따라서 본 논문에서는 이러한 각 레벨의 DC/DC 컨버터의 전력 불평형을 개선하기 위해 자기적 결합을 공유하는 다중 입력 변압기를 사용하여 그 문제를 해결하기 위한 방법에 대해 제안한다.

1. 서론

높은 전압을 입력으로 하는 DC/DC 컨버터는 IGBT와 같이 내전압이 높은 소자를 사용 해야만 한다. 또한 높은 입력 전압은 스위칭 소자의 스트레스 증가, 낮은 스위칭 주파수로 인한 인덕터와 Capacitor의 용량증가, 높은 전압 비율로 인한 변압기 손실 등의 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 링크 Capacitor를 이용하여 전압레벨을 나누어 여러 개의 스테이지로 컨버터를 구성하여 병렬 운전을 실시하는 방법에 대해 다각도로 연구되고 있다. 각 스테이지 간의 컨버터 병렬 운전을 하는 방법으로 1차 직렬 2차 병렬의 Auto balancing 방법과 각 스테이지의 DC/DC 컨버터를 제어하여 전류를 분담하는 방법, 커플링인덕터를 이용한 여러가지 방법 등이 연구 되고 있으나, 방법이 복잡하고 소자의 편차에 의한 전력 불평형은 해결 하지 못한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 자기적 결합을 공유하는 다중 입력 변압기를 사용하여 DC/DC 컨버터의 각 Stage에 전력 불평형을 개선하는 구조 및 방법에 대해 제안하고, 시뮬레이션과 시험을 통해 검증한다.

2. 본문

2.1 다중 입력 변압기를 사용한 DC/DC 컨버터 구조

종래의 DC/DC 컨버터는 그림 1과 같이 구성되며 별도의 제어 회로가 없어 구현이 간편하여 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 구조이다. 1차 직렬 2차 병렬 구조로 Stage1에 부하가 증가 되면 C_1 의 전압이 감소되고 C_2 의 전압이 증가하여 Stage2에 부하가 증가되어 C_2 의 전압이 감소되는 수환 구조로 C_1 , C_2 의 전압이 자동으로 조절되는 Auto balancing 구조를 갖는다. 그러나 각 Stage의 전력은 수동 소자, 능동 소자, 소신호에 의한 편차는 해결하지 못하여 신뢰성 확보를 위한 소자의 용량 마진 및 방열 마진 설계로 이어져 제품의 부피증가 및 원가 상승의 원인을 제공한다.

본 논문에서는 이러한 전력 편차에 대한 문제를 해결하기 위한 방법으로 각 Stage에 자기적 결합을 공유하는 다중 입력 변압기를 사용하였고 회로는 그림 2와 같다.

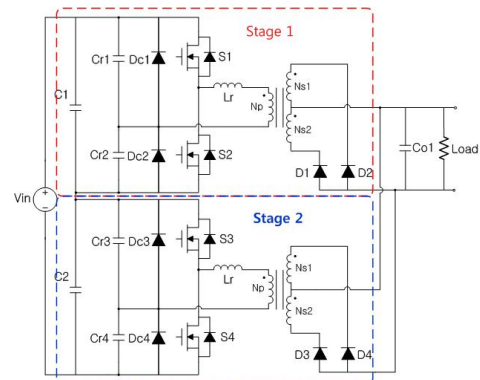


그림 1 종래의 Auto balancing 컨버터 회로

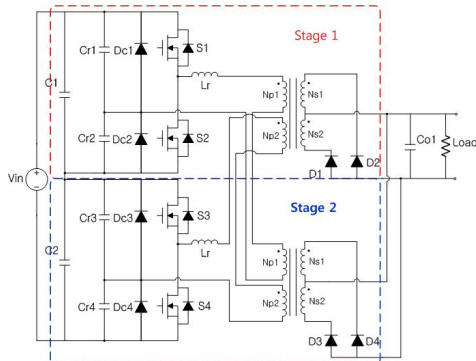


그림 2 제안된 다중 입력 변압기를 사용한 컨버터 회로

DC/DC 컨버터의 등가모델은 그림 3과 같이 표현할 수 있으며 전력평형을 위한 조건은 식(1)과 같으며 임피던스 Z_c 와 Z_R 은 Z_L 보다 매우 크므로 임피던스가 작은 Z_L 에 의해 결정된다. 변압기의 인덕턴스 값을 결정짓는 코어의 AL 값은 최대 $\pm 25\%$ 로 서로 다른 2개의 변압기를 사용할 때 전력 편차의 가장 큰 원인을 제공한다. 이러한 편차를 해결하기 위해 다중 입력 변압기를 사용하여 각 Stage의 자기적 결합을 공유함으로써 Z_L 를 동일하게 하여 전력평형을 이루도록 한다.

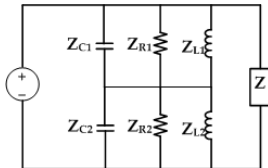


그림 3 DC/DC 컨버터의 등가 모델

$$Z_{C1} \gg Z_{R1} \gg Z_{L1} = Z_{C2} \gg Z_{R2} \gg Z_{L2} \quad (1)$$

2.2 제안된 DC/DC 컨버터의 시뮬레이션 시험 검증

표1은 DC/DC 컨버터를 시뮬레이션으로 비교 분석하기 위한 파라미터이다. 본 논문에서는 DC/DC 컨버터를 2개의 Stage로 분리하여 종래의 Auto balancing 컨버터와 제안된 다중 입력 변압기를 사용한 컨버터를 비교 분석하였다. 제안된 회로는 다중 입력 변압기 2개를 이용하여 1차 직렬, 2차 병렬의 LLC 공진형 컨버터에 적용하여 시뮬레이션 하였으며 자화인덕턴스(Lm)의 편차는 $\pm 10\%$ 로 설정하였다.

표 1 시뮬레이션 및 설계 파라미터

Input Voltage	690Vdc	
Output Voltage	48Vdc	
Output Current	100A	
Switching Frequency	124KHz (120KHz)	
Cr / Lr / Lm	234nF/7uH/35uH	
Lm($\pm 10\%$) 편차	31.5uH	38.5uH

또한 시뮬레이션을 통한 파라미터 값을 기반으로 제품을 설계하여 측정된 결과를 비교 분석하였다.

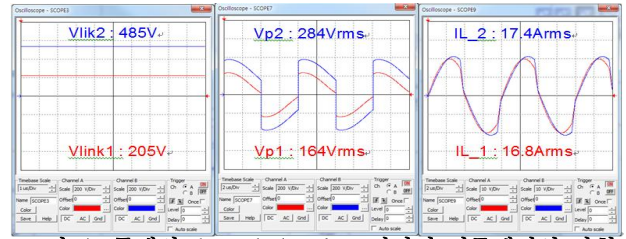


그림 4 종래의 Auto balancing 컨버터 시뮬레이션 파형

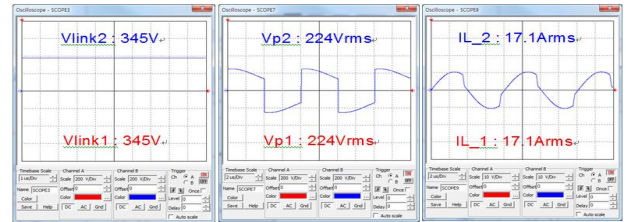


그림 5 다중 입력 변압기를 사용한 컨버터 시뮬레이션 파형

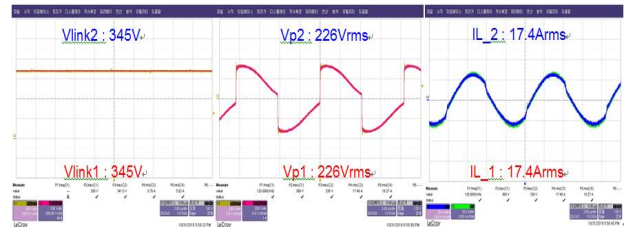


그림 6 다중 입력 변압기를 사용한 컨버터 측정 파형

그림 4는 종래의 Auto balancing 컨버터 시뮬레이션 파형으로 전력 불평형이 발생함을 확인할 수 있으며, 그림 5와 그림 6은 제안된 다중 입력 변압기를 사용한 컨버터의 시뮬레이션 파형과 측정 파형으로 각 Stage의 전력 불평형이 발생하지 않음을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 자기적 결합을 공유하는 다중 입력 변압기를 사용하여 각 Stage DC/DC 컨버터의 전력 불평형을 개선하는 구조 및 방법에 대해 시뮬레이션과 시험을 통해 비교 분석 하였다. 기존의 Auto balancing 컨버터의 경우 자성소자의 오차에 의한 전력 불평형이 발생함을 알 수 있으며, 제안된 다중 입력 변압기를 사용한 컨버터는 자기적 결합을 공유함으로써 전력 불평형이 발생하지 않음을 검증 하였다.

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. B0126 15 1071,고주파 구동 초고밀도 전원장치 기술 개발)

참고 문헌

[1] Jun Araki, Ikki Shinozaki, Hirohito Funato, "Verification of LLC Resonant Converter Applied a Current -Balancing High-Frequency Transformer with Multi-Output Windings", The 2014 International Power Electronics Conference