

제21회 Intelligent Electronics 경진대회 작품 설명서

참가번호 : 자유 21-16
작품종목 : 자유종목

참가팀명	시행착오	학 교 명	광운대학교	학부(과)	전기공학과
		지도교수	송승호	팀 구 분	학부팀
팀 원	김현민, 양유준, 이성민, 진솔휘				
작 품 명	EPS 제어 기법을 이용한 양방향 DAB DC-DC 컨버터				

▶ 작품 개요

세계적으로 전기 자동차에 대한 관심이 증가하면서 전기 자동차가 단순히 교통수단이 아닌 공간 활용 및 전기 자동차의 배터리를 활용한 에너지 저장 시스템(ESS : Energy Storage System)으로 이용된다. 따라서 차량 내의 배터리를 계통으로 연결하는 V2G, 배터리를 상전 교류 220V로 활용하는 V2L, V2X 등으로 활용하는 연구가 진행되고 있다.

본 작품에서는 전기 자동차의 충전기(OBC : On board charger)의 토폴로지를 기반으로 양방향으로 동작하는 DAB (Dual Active Bridge) DC-DC Converter를 설계하였다. DAB DC-DC 컨버터는 주파수 제어를 하는 공진형 컨버터에 반해 고정 주파수를 사용하여 20kHz에서 효율이 높고 수동소자와 고정 주파수에 대한 손실을 고려한 설계에 용이하다.

이를 바탕으로, 위상천이 제어를 기반으로 하는 SPS(Single Phase Shift), EPS(Enhanced Phase Shift) 제어 기법을 이용해 순환 전력과 스위칭 손실이 감소하고 특정 주파수에서 DAB 컨버터의 사용효율이 높음을 규명하고자 한다. 기본적인 위상천이로 ZVS가 가능하여 스위칭 손실을 줄일뿐 아니라 SPS 제어에서 발생하는 불필요한 스위칭 간격으로 발생하는 전류 흐름을 최소화함으로써 효율을 높이고자 한다.

▶ 작품 설명

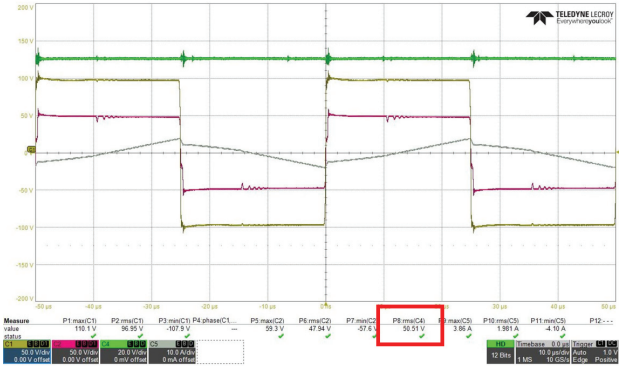
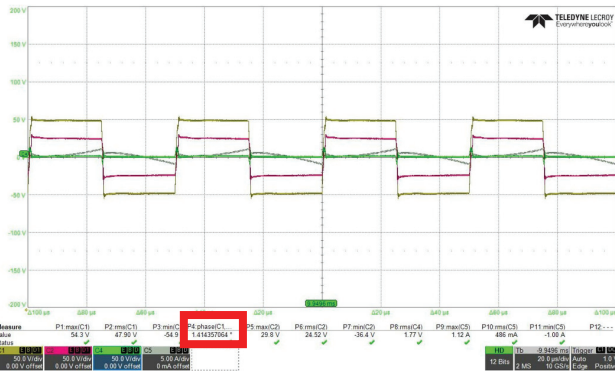
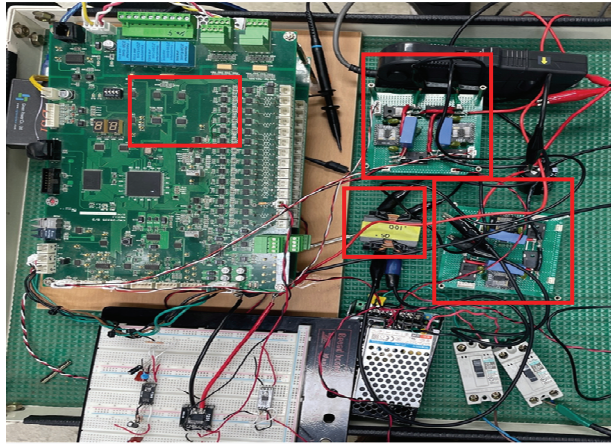
현대 OBC는 2단 토폴로지 구성으로 역률 보상회로(PFC: Power Factor Correction)와 DC-DC 컨버터로 구성이 되어 있다. 인버터와 컨버터 사이의 통상적인 DC-link 전압과 배터리 사이의 전압 800/400V를 고려하여 2:1 변압비를 두고 양방향 출력을 기본으로 설계하였다. 또한 TABOS사의 LM-MOTOR-50V 17AH 모터 배터리를 기준으로 650W 50V 13A 출력을 설계했다.

토폴로지는 DC 전압을 입력받아 H-bridge로 교류를 만들어 변압기에 입력되고 변압기 출력이 다시 H-bridge를 지나 DC 전압이 만들어져 배터리를 충전시키는 구성으로써 특별한 수동소자를 필요로 하지 않는 것이 특징이다.

다음은 결선된 회로 사진이다. 왼쪽부터 차례대로 TMS32028335 DSP 보드, 1차측 H-bridge, 변압기, 2차측 H-bridge이다.

Dual Active Bridge의 기본 개념은 인덕터를 사이로 두 교류원의 위상차로 전력이 송전되는 형태이다. 변압기의 누설인덕턴스를 사이로 DC 전압을 풀브릿지로 구형파 형태로 출력하여 변압기를 기준으로 1차측과 2차측의 MOSFET을 각각 스위칭하여 위상차를 만들어줌으로써 전력이 송전된다. 추가적으로 양방향 동작에 있어서 배터리 충전모드에서는 1차측 위상이 앞서고 방전모드에서는 2차측 위상이 앞선다.

따라서, 본 작품에서는 변압기를 기준으로 1차측과 2차측 풀브릿지의 각 MOSFET에 인가되는 4개의 EPWM 신호를 제어하여 위상차를 만들어낸다. 먼저 SPS(Single Phase Shift) 제어는 모든 EPWM의 Duty를 0.5로 고정한 채 1차측과 2차측의 위상차를 이용하여 전압과 전류를 제어한다.



위 파형은 TMS32028335 DSP 보드를 기반으로 변압기 1차측(연한 녹색)과 2차측(분홍)이 1.414deg의 위상차를 만들어낸 사진과 같은 조건에서 DC link Capacitor에 100V를 인가한 사진이다. 기본적으로 양방향 동작에 있어서 기존 회로의 손실로 출력 전압이 감소하므로 부스트 동작은 필연적이다. 일차적으로 DC link Capacitor에 50V 인가 시에 부스트를 확인 후 100V를 인가하여 50V를 넘어가는 부스트 동작을 확인하였다.



EPS(Enhanced Phase Shift) 제어는 기존 SPS 제어에 추가적으로 1차측의 leading leg와 lagging leg의 위상차 만드는 PSFB(Phase Shift Full Bridge) 방식을 차용하여 출력단의 넓은 출력 범위를 갖는다. 또한 위상차의 범위를 최소화하여 순환전력과 스위칭 손실을 감소시키는 장점이 있다.

SPS(Single Phase Shift), EPS(Enhanced Phase Shift) 제어를 통해서 넓은 범위의 출력범위를 제어 가능하다. 또한 PI 이중 루프 제어를 기반으로 전류, 전압을 제어함으로써 TABOS사의 LM-MOTOR-50V 17AH 모터 배터리를 충전시킬 수 있는 CC/CV 충전을 가능케 한다.

왼쪽 사진은 ZVS동작을 하는 파형이다. 폴브릿지의 한 leg에서는 둘 중 하나의 leg가 off되고 다른 leg가 on되는 사이 Deadtime이 존재하며, 변압기의 누설 인덕턴스 설계를 통해 각 MOSFET에 흐르는 전류가 음전류일 때 MOSFET의 도통이 시작되는 ZVS동작을 한다. 변압기의 누설인덕턴스는 20uH로, 동작 시 IRF200P222의 기생 커패시턴스의 에너지보다 누설 인덕턴스의 에너지가 더 크도록 만들어 ZVS 동작을 구현하였다. 변압기 입력전압(초록)이 rising할 때, 즉 leading leg이자 high side의 MOSFET이 켜질 때 변압기 입력전류(분홍)가 음전류에서 증가하는 파형이다. Gate Driver 또는 PWM 신호의 부정확성으로 인해 발생하는 불평형 전류로 인해 변압기가 포화될 가능성이 있어 DC Block Capacitor가 변압기 1차측과 2차측에 결선되어 있다.