

1.2KW 고분자 전해질 연료전지 시스템용 Full Bridge Phase Shift ZVS (Zero Volt Switching)을 적용한 DC-DC 컨버터의 설계 및 제어

서정욱, 박승규, 안호균, 곽군평
창원대학교

1.2KW PEM(Proton Exchange Membrane) System Full Bridge Phase Shift ZVS (Zero Volt Switching) DC-DC Converter Design and control

JungWook Seo, SeungKyu Park, HoKyun Ahn, GunPuyng Kwak
Dept. of Electrical Eng. Changwon National University

Abstract - In this paper, the proposed power supply is based on a modified version of the zero-voltage switching(ZVS) full-bridge phase-shift DC-DC converter, which incorporates commutation auxiliary inductors to provide ZVS for the entire load range as well as a commutation aid circuit to clamp the output diode voltage. The control strategy is based on two control loops operating in cascade mode. The complete operating principles and simulation results in presented.

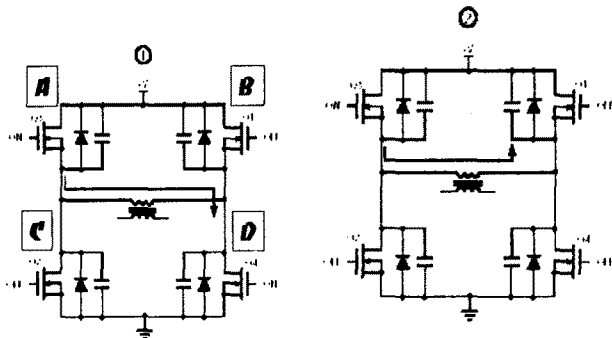
1. 서 론

최근 많은 관심을 받고 있는 연료전지는 기존의 DC전원과는 달리 강한 비선형성과 느린 동특성 및 낮은 출력전압 및 대전류의 출력 특성을 가지기 때문에 기존의 전력 변환 장치를 그대로 적용해서는 연료전지 시스템을 운영하는데 있어 상당한 문제점 및 어려움을 가지게 된다. 또한 부하에 따른 낮은 응답속도를 가지므로 부하 증가시 배터리나 그 밖의 보조전원으로 필요한 전류를 공급하지 않으면 출력전압의 조정 및 시스템 전반의 제어가 어렵다.

이에 따라 보다 안정적이며 전력제어가 용이한 DC-DC 컨버터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 1.2KW PEMFC(고분자 전해질 연료전지) 시스템에서 Full Bridge Phase Shift ZVS를 적용한 DC-DC 컨버터의 기능은 다음과 같다. Switch가 2개 동시 동작하지 않고 항상 1개가 먼저 OFF되면서 다음 Switch를 영전압상태를 만들어 주어 Switching 손실을 없앨 수 있다. 또한 EMI 회피를 위하여 Switching 기울기를 완만하게 하기위하여 CLAMP CAP으로 Cd를 추가 하게되면 이의 손실이 더욱크게 증가 하는데 이역시 ZVS에 의하여 없앨수 있으므로 EMI 개선의 방법이 된다. [1][2][3]

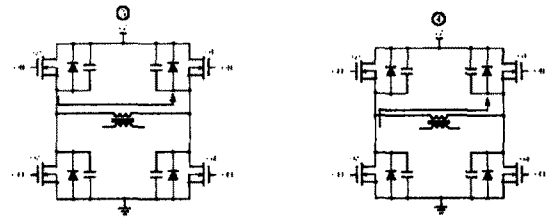
2.1 기본동작 [4]

<상태1: $t_0 < t < t_1$ ACTIVE AD> <상태2: $t_1 < t < t_2$ TRANSITION C>



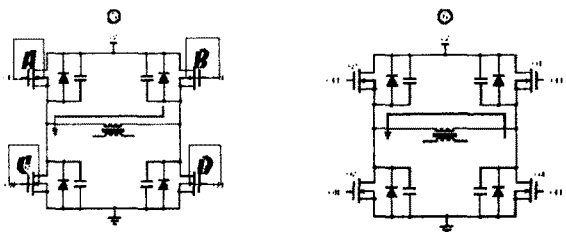
- S/W : QA, QD ON
- I : +V->Qads->L(충전)
->Qdds->GND
- ENERGY 전달시간
- QC TRANSITION 영전압 TURN-ON
- S/W : QD OFF, QA ON
- Ii : Ccross->Qads->L (충전)
V->Qads->L(충전)
->Qdds->GND

<상태3: $t_2 < t < t_3$ PASSIVE AC> <상태4: $t_3 < t < t_4$ TRANSITION B>



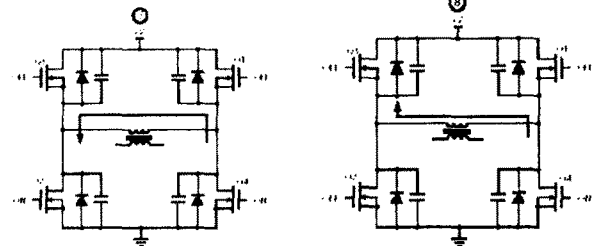
- S/W : QA, QC ON
- I : L->QcD,->Qads->L
- QA, QC FREEWHEELING
- QB TRANSITION 영전압 TURN-ON
- S/W : QC ON, QA OFF
- I : L->QcD->Ccross->L (방전)
L->QcD->V->GND
->Cboss->L (방전)

<상태5: $t_4 < t < t_5$ ACTIVE CB> <상태6: $t_5 < t < t_6$ TRANSITION D>



- S/W : QC, QB ON
- I : V->QcDs->L(역충전)
- ENERGY 전달시간
- QD TRANSITION 영전압 TURN-ON
- S/W : QC OFF, QD ON
- I : V->Ccross->L(역충전)
->Qbds->GND
Cdots->L(역충전)->Qbds
->Cdots

<상태7: $t_6 < t < t_7$ PASSIVE BD> <상태8: $t_7 < t < t_8$ TRANSITION A>



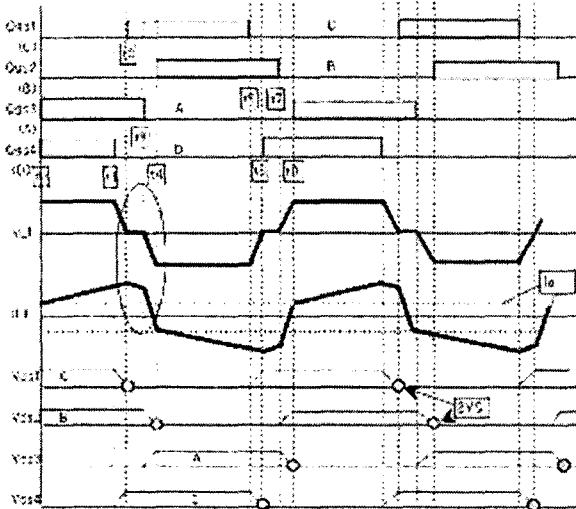
- S/W : QB, QD ON
- IL : L->Qbds->G->QdD
- QB, QD FREEWHEELING
- QA TRANSITION 영전압 TURN-ON
==> <상태 1>
- S/W : QB OFF, QA ON
- IL : L->Ccross->V->GND
->QdD->L(방전)
L->Cboss->QdD->L(방전)

2.2 각 동작 영역별 파형 분석

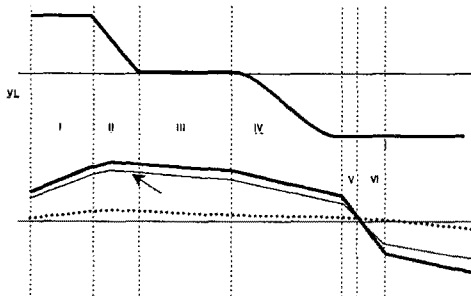
- (1) ACTIVE : FULL BRIDGE A,D 또는 B,D로 부하전류 전달시간
 A,D LAG (상태1) : 순방향 전류가 전류 INDUCTOR 충전
 B,C LAG (상태5) : 역방향전류가 전류 INDUCTOR 역방향 충전
- (2) PASSIVE : A,C 또는 B,D 로 FREEWHEELING 하는 시간
- (3) TRANSITION : 영전압 SWITCHING 하는 시간
 A,B : 항상 PASSIVE -> ACTIVE 전환 -> 전류 INDUCTOR 및 LEAKAGE가 TRANSITION 유발한다.
 C,D : 항상 ACTIVE -> PASSIVE 전환 -> SOURCE 전원에 의한 TRANSITION.

전류 INDUCTOR 의 크기는 A,B 전류를 위하여 결정이 되며 C,D 의 DELAY TIME은 입력 전압의 크기 및 부하 전류, 전류 INDUCTOR 에 의한 전류상승률 등에 의해 따로 결정된다.

2.3 TIMING GRAPH 및 동작파형



- I : A,D ON - active 상태 (부하전류 전달시간)
 OUTPUT INDUCTOR 에 의해 부하전류의 상승시간
 $IL(t) = Vi / Lo \times t$
- II : A ON 이고 D 가 OFF 진행되는 시간
 FET C 의 BODY DIODE를 통한 전류가 흐르고 TRANS 전압은 0로 감소과정이고 trans 전압이 감소하나 자기 인덕턴스(L2)가 역기전력 형성하여 L1 전류감소, LOAD 전류 유지한다.
 이때부터 전류 INDUCTOR 와 LEAKAGE INDUCTANCE 가 지배하는 시간이 FREEWHEELING 된다.



- III : A,C ON - passive 상태 (freewheeling)
 부하 전류와 맥동전류가 Freewheeling 되고 L2 전류가 역기전력으로 L1 전류 감소시킨다.
- IV : C ON 이고 A가 OFF 진행되는 시간
 (L1+L2) 전류가 Imag 가 Vdsa + Vdsb 와 공진하며 Vdsa를 0 ->Vi 로 상승, Vdsb Vi->0 로 하강 시킨다.
 이때의 공진성분 L1+L2, Cr = 2Coss 이다.

V : C ON, B OFF 상태

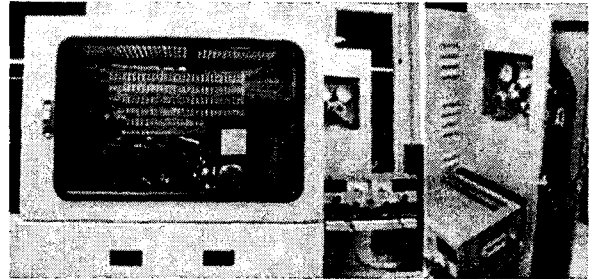
입력전압이 L1+L2 에 역방향 인가, L1 에 의해전류의 급속변화 (L2 는 그사이 부하 전류감당) 역전류와 L2 의 맥동 전류가 부하 전류 초과시 Lo 에 의해 전류가 상승한다.

6) VI : B TURN-ON

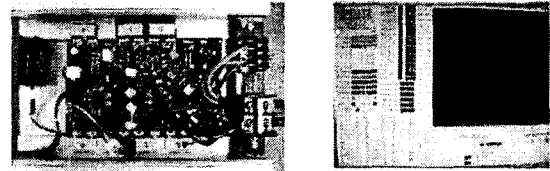
3. 결 론

그림 1은 실험에 사용된 1.2[kW]급 고체고분자형 연료전지 시스템을 나타내고 있다. 본 논문에서 사용한 연료전지는 수소를 연료로 하며, 출력전압의 범위는 28~42[Vdc]이다.

그림 2는 실험에 사용된 컨버터와 LabVIEW Control display를 통해 연료전지 시스템의 전압 및 전류 온도등의 특성을 모니터링 하는것을 나타내었다.



<그림 1> 1.2[kW] 고체고분자형 연료전지 시스템



<그림 2> DC-DC Converter & LabVIEW Control display

FET 의 SWITCHING 손실은 대부분 DRAIN-SOURCE 간의 BODY CAPACITANCE에 의하여 발생하며 이를 Coss 로 표기가 된다.

기타 GATE-SOURCE 간의 CHARGING CAP (Ciss) 은 전압이 낮으므로 약간의 손실만이 존재하지만 Coss 는 전압이 크면서 용량이 크므로 turn-on 시 이를 FET 가 아닌 SOURCE로 회귀를 시켜 D-S 간 영전압을 만든후 ON 이 되면 S/W LOSS 가 없어짐을 이용한 것이다. 즉 SWITCH 가 2개 동시 동작하지 않고 항상 1개가 먼저 OFF 되면서 다음 SWITCH를 영전압 상태를 만들어 주어 SWITCHING 손실 및 전압스트레스를 저감 시켰다.

[참 고 문 헌]

- [1] Jai P. Agrawal "Power Electronic Systems : Theory and Design" Prentice Hall, Inc PP. 492~543 2001.
- [2] 김진태, 김성호, 이태원, 장수진, 김수석, 원충연, "연료전지 발전시스템을 위한 새로운 능동 클램프 전류원 하프 브리지 컨버터" 전력전자 학회 추계학술대회 논문집 2003,11.
- [3] 장수진, 김진태, 이태원, 이병국, 원충연 " 능동 클램프 전류형 하프 브리지 컨버터를 적용한 연료전지 발전시스템" 전력전자학회 제10권 제1호 2005.2.
- [4] Ned Mohan, Tore M. Undeland, William p. Robbins, "Power Electronics : Converters, Applications, and Design." JOHN WILEY & SONS, INC. pp. 121~199 2003.