

# 신뢰성이 개선된 새로운 푸쉬풀 컨버터

정규범\* 정회원

## A New Push-Pull Converter with Improved Reliability

Gyubum Joung\* Regular Members

### 요 약

본 논문에서는 새로운 신뢰성 있는 푸쉬풀 컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터는 기존의 푸쉬풀 컨버터에 비해 두 개의 다이오드가 추가된 구조를 갖는다. 이 추가된 다이오드로 인해서 푸쉬풀 컨버터의 두 개의 MOSFET 스위치 중에 한 개가 켜진 상태이면 다른 MOSFET는 자동으로 오프 상태를 유지한다. 그러므로 컨버터가 매우 큰 전기적인 노이즈 환경에 있더라도 두 개의 스위치가 켜지면서 회로가 단락되는 것을 막을 수 있다. 본 논문에서는 100 kHz의 스위칭 주파수를 갖는 컨버터를 노이즈 환경에서 PLECS 소프트웨어로 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 결과 컨버터 스위치의 전류는 20  $\mu$ sec의 전기적인 노이즈 환경에서 10 % 정도 증가한다. 그러나, 컨버터는 단락현상이 없이 신뢰성 있게 동작한다.

**Key Words** : reliable operated converter, dc-dc converter, push-pull converter, power system, power supply

### ABSTRACT

This paper suggests a new reliable push pull converter. The proposed push-pull converter have additional two diodes comparing with conventional push-pull converter. When one of two MOSFETs of the push-pull converter is on state, the other MOSFET is automatically off state due to adding additional diodes. Therefore, the converter is under electric noise environments, the converter avoids short circuit due to turning on of two MOSFETs. In this paper, the suggested converter has been simulated by PLECS software for 100 kHz switching frequency. In simulation, the current of the converter switches increases about 10 % for 20  $\mu$ sec electric noise environments. However, the converter operates very reliably without any short circuit conditions.

## I. 서 론

전력용 컨버터의 신뢰성 있는 동작은 오래 전부터 매우 관심 있는 연구분야 중 하나이다[1-5]. 컨버터의 신뢰성 있는 동작을 위하여 일반적으로 사용하는 방법은 컨버터 주요 부분의 전압이나 전류 혹은 온도를 센싱하여 일정한 값 이하가 되도록 조절한다. 위성체 전력계 서브시스템에서는 동일한 회로를 두 개 이상 채용하여 한 개의 회로가 오동작하여도 나머지 회로가 동작하도록 하는 개념이 도입되어 사용되고 있다[6-7]. 또한, 전기적인 노이즈가 많은 산업용 및 철도 분야의 경우 광케이블을 이용하여 신호를 전달하여 전기적인 노이즈와 무관하게 신호를 전송하는 방법을 사용하여 노이즈에 대한 영향을 최소화한다. 그러나 자동차 등 운송매체의 경우 광케이블은 충돌에 약하므로 신호전송에서 CAN 통

신 개념을 사용하여 신호의 에러를 최소화하는 개념을 사용한다[1-2]. 최근에는 전력용 모듈에 DSP를 채용하여 통신으로 전송된 신호의 에러여부를 계산한 후 에러가 없으면 동작하도록 하는 새로운 개념도 도입되고 있다[5]. 그러나, 이러한 개념은 신호의 에러를 줄이는 방식으로 컨버터의 스위치에 발생한 노이즈에 의한 컨버터의 오동작을 제거하는 근본적인 대책이 될 수는 없다.

따라서 본 논문에서는 푸쉬풀 컨버터에 대하여 전기적인 노이즈로 인하여 두 개의 스위치가 동시에 켜지지 못하는 회로를 제안하였다. 제안된 회로는 기존의 푸쉬풀 회로에 전류용량이 적은 두 개의 다이오드가 추가하여 구현하였다. 제안된 논문에 대하여 새로운 스위치 모드를 포함한 전력회로 해석을 수행하여 노이즈 등 오동작으로 인하여 두 개의 MOSFET 드라이브에 스위치가 동시에 켜지도록 신호가 전

\* 본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 경제협력권산업 육성사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

\*우석대학교 에너지전기공학과 전력전자연구실

접수일자 : 2017년 4월 28일, 수정완료일자 : 2017년 6월 15일, 최종 게재확정일자 : 2017년 6월 16일

송되어도 두 개의 스위치가 동시에 켜지는 모드가 없음을 확인하였다. 또한, 전기적인 노이즈를 발생시켜 두 개의 드라이브가 동시에 온 되는 상황이 발생하여도 추가된 회로에 의하여 두 개의 스위치가 동시에 켜지는 현상이 발생하지 않아서 회로가 단락되는 현상이 없이 안정되게 동작된다. 본 논문에서는 100 kHz의 스위칭 주파수를 갖는 컨버터를 노이즈 환경에서 PLECS 소프트웨어로 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 결과 컨버터 스위치의 전류는 20  $\mu\text{sec}$ 의 전기적인 노이즈 환경에서 10 % 정도 증가한다. 그러나, 컨버터는 단락현상이 없이 신뢰성 있게 동작한다.

## II. 고 신뢰성을 갖는 푸쉬풀 컨버터

### 1. 고 신뢰성 푸쉬풀 컨버터

그림 1은 기존의 푸쉬풀 컨버터를 나타낸다. 그림 1에서 컨버터의 동작은 MOSFET Q1과 MOSFET Q2를 교대로 온, 오프하여 이루어진다. 그런데 그림 1에서 MOSFET Q1과 Q2의 드라이브 회로에 노이즈로 인하여 동시에 온 신호를 인가하면 이로 인해 두 개의 MOSFET 스위치가 켜지게 된다. 이 경우 1차측 전원  $V_s$ , 변압기  $T$ 와 동시에 켜진 두 MOSFET 스위치를 통하여 회로가 단락되어 스위치 Q1과 스위치 Q2에 매우 큰 전류가 흐르게 되어 Q1, Q2 MOSFET 소자가 파괴된다.

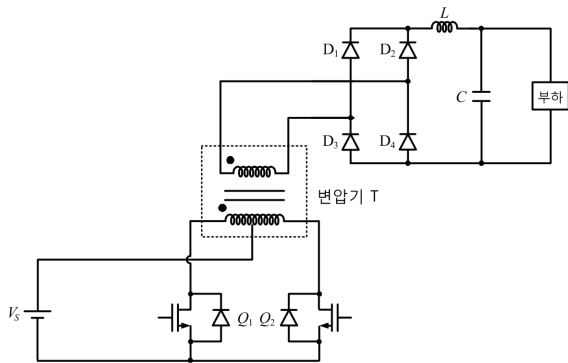


그림 1. 푸쉬풀 컨버터

그림 2는 푸쉬풀 컨버터에서 전기적인 노이즈로 인하여 MOSFET 스위치 S1과 S2가 동시에 켜지도록 두 개의 드라이브 신호에 온 신호가 발생하여도 MOSFET 스위치 S1과 S2를 동시에 켜지지 못하도록 제안된 새로운 푸쉬풀 컨버터 회로이다. 그림 2에서 MOSFET S1과 S2의 드레인 단자에 각각 다이오드 D1과 D2의 캐소드 단자를 연결하고 D1의 애노드는 S2의 게이트에 D2의 애노드는 S1의 게이트에 연결한다.

제안된 컨버터에서 한 개의 MOSFET가 켜진 경우 다른 MOSFET가 자동으로 오프되는 원리를 설명하면 다음과 같

다. MOSFET S1이 켜지고 S2가 오프된 상태에서 S2의 드라이브 신호  $v_{G1}$ 에 온 신호가 발생된 경우를 살펴보자. 그림 2에서 MOSFET S2의 게이트 단자가 MOSFET S1의 드레인에 다이오드를 통하여 연결되어 있고 S1은 켜진 상태이므로 S2의 드라이브 회로에서 MOSFET S2가 온 되는 전압이 인가되어도 S2의 게이트 단자 전압은 0 V가 된다. 이는 MOSFET S1이 켜진 상태에서 MOSFET S2가 켜지도록 드라이브  $v_{G1}$ 를 인가해도 MOSFET S2는 항상 오프됨을 의미한다. 같은 방법으로 MOSFET S2가 켜진 상태에서 MOSFET S1이 켜지도록 드라이브  $v_{G2}$ 를 인가해도 MOSFET S2는 항상 오프된다.

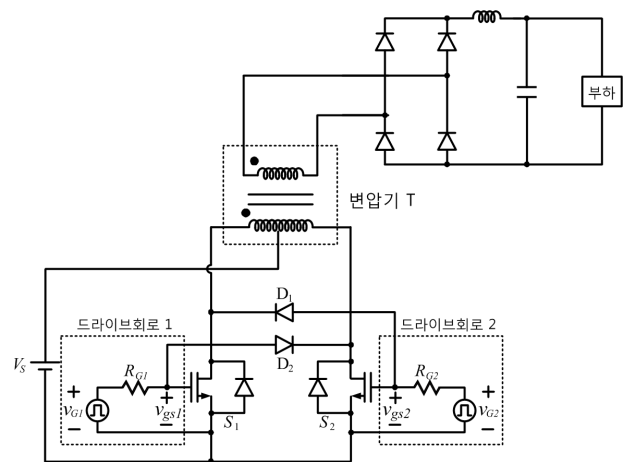
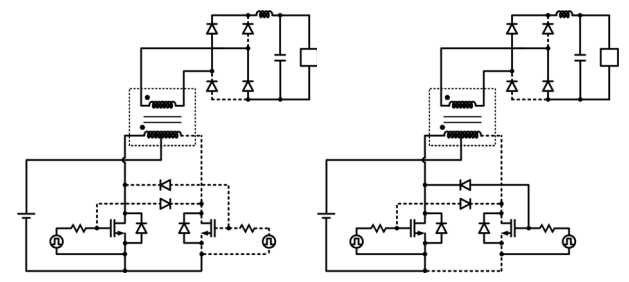


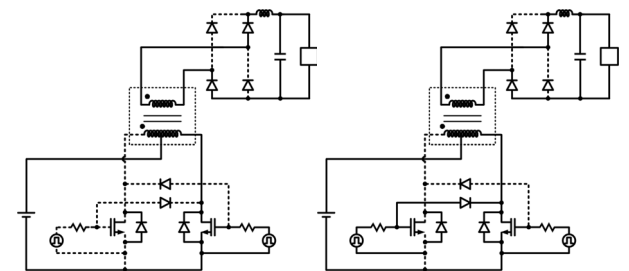
그림 2. 제안된 푸쉬풀 컨버터

### 2. 푸쉬풀 컨버터의 동작모드



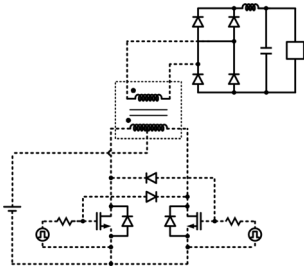
(a) 모드 1a

(b) 모드 1b



(c) 모드 2a

(d) 모드 2b



(e) 모드 3

그림 3. 푸쉬풀 컨버터의 동작모드

제안된 푸쉬풀 컨버터는 그림 3에서 보는바와 같이 다섯 개의 동작모드를 갖는다. 각각의 모드에 대한 MOSFET의 상태는 표 1에 정리된 바와 같다. 표 1의 각 모드에서 1은 게이트 드라이브의 온 신호를 0은 게이트 드라이브의 오프 신호를 나타낸다.

표 1. 드라이브 상태에 따른 MOSFET S1, S2 상태

모드	$v_{G1}$	$v_{G2}$	$v_{gs1}$	$v_{gs2}$	MOSFET S1, S2 상태
모드 1a	1	0	1	0	S1: 온, S2: 오프
모드 1b	1	1	1	0	S1: 온, S2: 오프
모드 2a	0	1	0	1	S1: 오프, S2: 온
모드 2b	1	1	0	1	S1: 오프, S2: 온
모드 3	0	0	0	0	S1: 오프, S2: 오프

모드 1a ( $v_{G1} = 1, v_{G2} = 0 \rightarrow$  S1: 온, S2: 오프)

스위치 S1, S2의 게이트 신호가 각각  $v_{G1} = 1, v_{G2} = 0$  이 인가되면 S1: 온, S2: 오프되는 푸쉬풀 컨버터의 정상적인 모드가 되어 전력회로는 그림 3(a)와 같이 되고 입력전압이 출력측에서 정류된다.

모드 1b ( S1: 온, S2: 오프,  $v_{G1} = 1, v_{G2} = 1, DI$ : 온)

$v_{G1} = 1$  이 인가되어 S1이 온되고 S2는 오프된 상태에서 MOSFET S2의 게이트에  $v_{G2} = 1$  이 인가된 상태이다. 즉, 제안된 푸쉬풀 컨버터는 그림 3(b) 모드 2a와 같이 스위치 S1이 온된 상태이다. 이때 노이즈로 인하여  $v_{G2}$ 에 전압이 인가되어도 다이오드 DI이 온 상태를 유지하여 S2에 게이트 전압은 계속 0을 유지한다. 이 경우 기존의 푸쉬풀 컨버터는 두 개의 스위치가 모두 턴 온되어 스위치가 파괴될 수 있지만 제안된 컨버터는 먼저 온된 스위치 S1만 온 상태를 유지하므로 컨버터는 안전하게 동작한다.

모드 2a  $v_{G1} = 0, v_{G2} = 1 \rightarrow$  S1: 오프, S2: 온)

스위치 S2, S1의 게이트 신호가 각각  $v_{G2} = 1, v_{G1} = 0$  이 인가되면 S2: 온, S1: 오프되는 푸쉬풀 컨버터의 정상적인 모드가 되어 전력회로는 그림 3(c)와 같이 되고 입력전압이 출력측에서 정류된다.

모드 2b ( S2 : 온, S1 : 오프,  $v_{G1} = 1, v_{G2} = 1$  )

$v_{G2} = 1$  이 인가되어 S2는 온되고 S1은 오프된 상태에서 MOSFET S1의 게이트에  $v_{G1} = 1$  이 인가된 상태이다. 즉, 제안된 푸쉬풀 컨버터는 그림 3(d) 모드 2b와 같이 스위치 S2가 온된 상태이다. 이때 노이즈로 인하여  $v_{G1}$ 에 전압이 인가되어도 다이오드 D2는 온 상태를 유지하여 S1의 게이트 전압은 계속 0을 유지한다. 이 경우 기존의 푸쉬풀 컨버터는 두 개의 스위치가 모두 턴 온되어 스위치가 파괴될 수 있지만 제안된 컨버터는 먼저 온된 스위치 S2만 온 상태를 유지하므로 컨버터는 안전하게 동작한다.

모드 3 ( S1 : 오프, S2 : 오프,  $v_{G1} = 0, v_{G2} = 0$  )

스위치 S1, S2의 게이트 신호가 각각  $v_{G1} = 0, v_{G2} = 0$  이 인가되면 S1과 S2가 모두 오프된다. 이는 푸쉬풀 컨버터의 정상적인 모드이며 이때 전력회로는 그림 3(e)와 같이 되고 입력전압이 출력측에 전달되지 않는다.

### 3. 푸쉬풀 컨버터의 비정상 동작모드

그림 4는 그림 2의 푸쉬풀 컨버터에서 MOSFET의 드라이브 신호에 노이즈가 발생한 경우에 컨버터의 제어모드 변화와 이로인한 인덕터 전류의 변동을 해석한 파형이다. 그림 4에서  $v_{G1}, v_{G2}$ 는 그림 2의 드라이브 신호로 흰색의 정상적인 신호에 노이즈로 인한 회색의 신호가 더해져 발생한 경우로 두 신호가 1인 경우가 발생한다. 이 신호가 그림 1과 같은 기존의 푸쉬풀 컨버터에 인가되면 회로의 단락이 발행한다. 제안된 컨버터의 경우 MOSFET의 게이트 신호는  $v_{gs1}$  과  $v_{gs2}$ 로 그림 4와 같이 두 개의 신호가 동시에 1이 되는 경우가 발생하지 않는다.

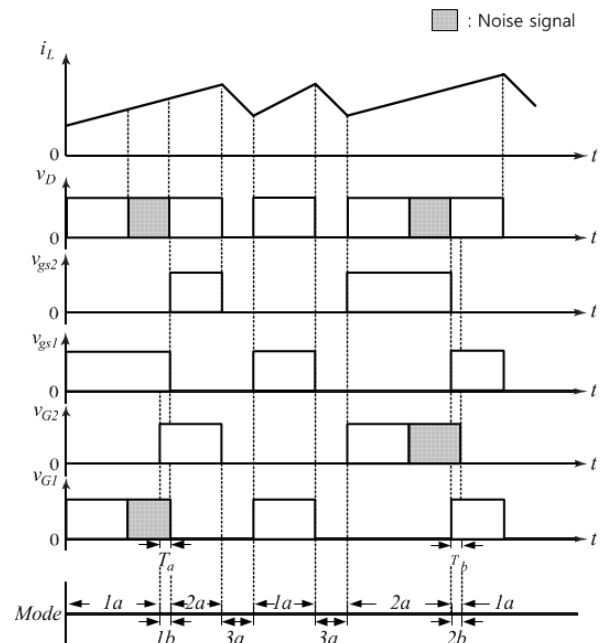


그림 4. 노이즈 신호가 포함된 경우 컨버터의 동작

MOSFET S1, S2가 켜지게 되는 데 추가된 다이오드로 인하여 두 개의 스위치가 동시에 온 되는 현상은 발생하지 않음을 알 수 있다.

### Ⅲ. 노이즈를 고려한 시뮬레이션 결과

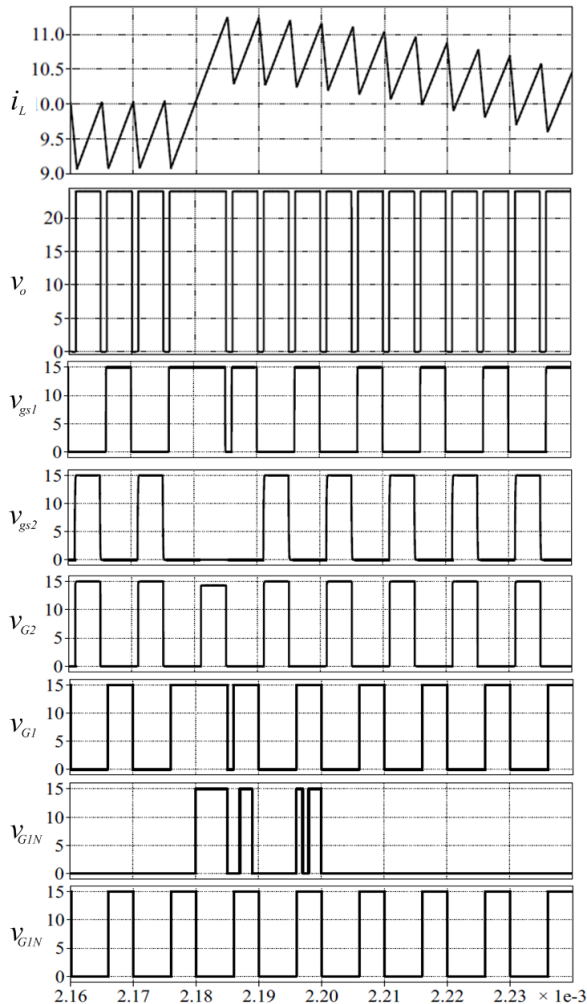


그림 5. 비정상 모드가 포함된 경우 컨버터의 시뮬레이션 파형

그림 5는 전기적인 노이즈로 인해 푸쉬풀 컨버터에 두 개의 MOSFET가 동시에 켜지도록 하는 신호가 발생하는 경우에 대한 PLECS(Piecewise Linear Electrical Circuit Simulation) 시뮬레이션 결과이다. 그림 5에서 노이즈 신호는 PLECS 소프트웨어에서 랜덤노이즈를 0.00218 ~ 0.00220 msec 구간동안 발생시켰다. 이 노이즈로 인하여 컨버터는 두 개의 MOSFET가 켜지도록 하는 신호가 발생한다. 두 개의 MOSFET를 동시에 켜지도록 발생된 신호에도 불구하고 컨버터는 한 개의 스위치만 켜지며, 단락 현상이 없이 안정적으로 동작한다. 즉, 스위치 드라이브 신호에 그림 5와 같이 노이즈가 발생하면 노이즈로 인하여 스위치의 듀티비(Duty Ratio)가 증가하여 인덕터 전류는 1.25 A 정도 증가하지만 스위칭의 복귀와 함께 원래대로 복귀하는 현상을 보인다. 그

런데 컨버터의 스위치 전류는 인덕터 전류에 비해하므로 컨버터의 스위치 전류는 대략 10 % 정도 증가한다.

### Ⅳ. 결론

본 논문에서는 전기적인 노이즈 환경에서도 안정적으로 동작할 수 있는 새로운 방식의 푸쉬풀 컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터는 기존의 푸쉬풀 컨버터에 비해 두 개의 다이오드가 추가된 구조를 갖는다. 이 추가된 다이오드로 인해서 푸쉬풀 컨버터의 두 개의 MOSFET 스위치 중에 한 개가 켜진 상태이면 다른 MOSFET는 자동으로 오프 상태를 유지하는 특성을 가지므로 컨버터의 스위치가 동시에 켜지지 못하는 특성을 갖는다. 이로 인해 두 개의 MOSFET 스위치가 동시에 켜져서 회로가 회로가 단락되는 것을 막을 수 있다. 논문에서는 제안된 컨버터에 대하여 일정한 구간동안 전기적인 노이즈 환경을 제공하여 두 개의 MOSFET가 동시에 켜지는 신호를 드라이브 회로에 인가한 경우에 PLECS 소프트웨어로 시뮬레이션하였다. 이러한 노이즈 환경에 대한 시뮬레이션을 통하여 컨버터는 단락현상이 없이 신뢰성있게 동작함을 증명하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] Jiuchun Jiang, Yan Bao, and Le Yi Wang "Topology of a Bidirectional Converter for Energy Interaction between Electric Vehicles and the Grid," *Energies* 2014, 7, pp. 4858-4894.
- [2] Huai Wang, Marco Liserre, and Frede Blaabjerg, "Toward Reliable Power Electronics : Challenges, Design Tools, and Opportunities," *IEEE Industrial Electronics Magazine* June 2013, Vol. 7, No. 2, pp. 17-26.
- [3] P. Bellomo, A. Donaldson, and, D. MacNair, "B-Factory intermediate DC magnet power systems reliability modeling and results," *Proceedings of the 2001, Particle Accelerator Conference, Chicago*, pp 3684-3686.
- [4] L. Devi, C. H. Sai Babu, and S. Siva Nagaraju, "Reliability assessment of 3-phase three winding converter transformer of HVDC transmission system," *Journal of Engineering and Technology Research* Vol. 2(11), pp. 207-212.
- [5] Eimey Jung, Jin-Ha Hwang, Ju-Kwang Lee, and Gyu-Bum Joung, "New reliable inverter with intelligent power module," *Power Electronics and ECCE Asia (ICPE-ECCE Asia), 2015 9th International Conference*, pp. 2730-2736.
- [6] 정규범, 이상욱, 최완식, "다목적실용위성1호 태양전지 모델링 및 웨도특성해석," *한국항공우주학회지*, 2003, 31권 1호, pp. 67-72.
- [7] 임철우, 박경화, 신구환, 강경인, 정규범, "Matlab 을 이용한 과학기술위성 3 호 태양전력조절기 설계," *한국항공우주학회 학술발표회 논문집*, 2007, pp 1770-1773.

## 저자

정 규 범(Gyubum Joung)

정회원



- 1984년 2월 : 아주대학교 전자공학과 공학사
- 1986년 2월 : 한국과학기술원 전기및 전자공학과 공학석사
- 1990년 2월 : 한국과학기술원 전기및 전자공학과 공학박사

- 1993년 3월 ~ 1995년 2월 : 한국항공우주연구원 선임연구원
  - 1995년 3월 ~ 현재 : 우석대학교 에너지전기공학과 교수
- <관심분야> : 위성 전력계 서브시스템, 위성전원장치, 에너지저장장치, 고효율 고신뢰성 컨버터, 전력변환장치 등