

48V EV 시스템 제어기용 GaN 기반 Cascaded 다중 출력 Buck 컨버터

김 시 환¹⁾

현대케피코¹⁾

GaN-Based Cascaded Multi-Output Buck Converter for 48V EV ECUs

Sihwan Kim¹⁾

HYUNDAI KEFICO, 102, Gosan-ro, Gunpo-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea¹⁾

Key words : 48V EV System(48V EV 시스템), ECU(제어기), Cascaded Buck Converter(다단 벅 컨버터), WBG(Wide Band-Gap), GaN HEMTs(GaN 전력 반도체), Multi-Output Converter(다중 출력 컨버터)

교신저자, E-mail: 김시환, Sihwan.Kim@hyundai-kefico.com

최근 48V 기반 EV 시스템의 발전과 함께, 하위 제어기(ECU) 및 전장 부품에 안정적으로 전력을 공급하기 위한 고효율, 고밀도 전력 변환 시스템이 필수적으로 요구되고 있다. 기존 EV 차량 내 제어기의 설계는 각 제어기 내부에 LDO(Low Drop-Out) 및 PMIC(Power Management IC)를 탑재하는 방식에 의존하고 있으며, 이로 인해 회로 복잡도 증가, 부품 비용 상승, 열 관리 및 전력 밀도 측면에서의 성능 한계가 존재한다.

본 논문에서는 이를 극복하기 위해 GaN 기반 Cascaded 다중 출력 Buck 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 48V를 12V로 강압하는 1단(1st Stage)과 12V를 5V 및 3.3V로 각각 병렬로 독립 변환하는 2단(2nd Stage) 구조인 2-Stage 3-Output 시스템으로 설계되었다. 이러한 병렬 분기 구조는 기존 3단 직렬 구조의 누적 효율 저하를 방지하고, 출력 간의 간섭을 방지하여 부하 변동에 대한 우수한 특성을 제공한다.

1단(1st Stage) 12V 노드를 단순히 전압 강하를 위해 거쳐 가는 중간 버스 역할을 넘어, 12V 전장 부품 구동이 가능한 독립적인 전원 공급원으로 활용한다. 제어 측면에서는 전압-전류 이중 루프 제어를 적용하여 48V 입력단의 급격한 전압 변동에 대한 12V 출력단의 전압 안정성을 확보하였으며, 2단(2nd Stage) 5V, 3.3V 출력은 MCU(Micro Controller Unit), 센서, CAN 통신 모듈 구동용 전원으로 병렬 분기 구조 및 전압-전류 이중 루프 제어를 적용하여 급격한 부하 변동에 대응하는 빠른 과도 응답 성능을 확보하였다.

또한, 각 변환 단계에서 고주파 스위칭이 가능한 GaN 전력 소자를 적용하여 기존 Si-MOSFET 기반 파워 모듈 대비 수동 소자 부피 저감 및 우수한 스위칭 성능을 실현한다. GaN 소자가 갖는 WBG(Wide Band-Gap) 반도체 특성, 즉 낮은 온 저항($R_{DS(on)}$), 고주파 영역에서의 스위칭 손실 최소화 등을 활용함으로써, 제안된 GaN 기반 시스템은 전력 변환 효율, 전력 밀도 및 열 관리 성능에서 강점을 보인다. 또한 2-Stage 3-Output 중앙 집중식 시스템을 채택함으로써 EV 차량 내 개별 제어기 내의 LDO 및 PMIC 의존도를 최소화하여 전체 시스템의 복잡도, PCB 면적 및 차량 단위 원가를 효과적으로 절감할 수 있다.

제안하는 Cascaded 다중 출력 Buck 컨버터는 PSIM 시뮬레이션을 통해, 입력 전압 및 부하 변동 조건에서 제안하는 시스템의 안정성과 독립 제어 성능을 검증하였으며, 분산형 PMIC 기반 제어기 시스템을 대체할 수 있는 타당성을 입증하였다.

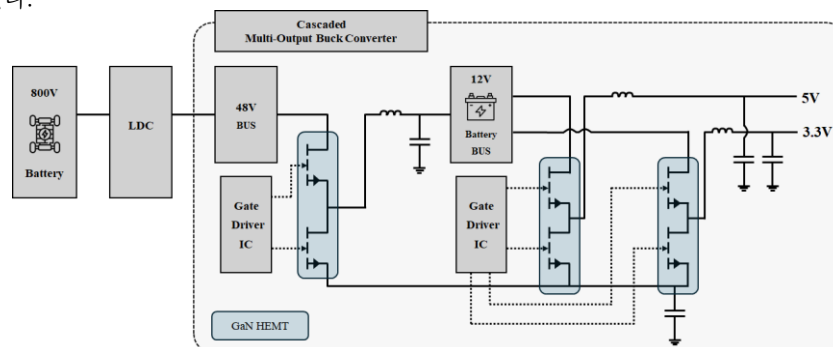


Fig 1. Proposed Cascaded Multi-Output Buck Converter Diagram