

Circuit / Semiconductor

A Comparative Analysis Of Buck Converter Topologies

2025 International Conference on Signal Processing, Computation,
Electronics, Power and Telecommunication (iConSCEPT) (2025)

Contents

01 Background

02 Conventional Buck Converter

03 Synchronous Buck Converter

04 Interleaved Buck Converter

05 Simulation Results

06 Conclusion

01 Background

Buck Converter?

높은 DC 전압 → 낮은 DC 전압

전압을 낮춰주는 회로

배터리 충전기, 전기차, 신재생에너지 시스템, 휴대용 전자기기 등

실제 전력전자 시스템에 널리 이용됨

01 Background

Buck Converter?

높은 DC 전압 → 낮은 DC 전압

전압을 낮춰주는 회로

배터리 충전기, 전기차, 신재생에너지 시스템, 휴대용 전자기기 등

실제 전력전자 시스템에 널리 이용됨

단순히 저항으로 전압 낮추면 전력 손실이 열로 발생 → 효율 저하

Buck Converter는 스위치, 인덕터, 커패시터를 이용해

에너지를 저장하고 전달하는 방식

01 Background

Problem : Buck Converter

1. 출력 전류 리플 큼 (완전한 직류 전류가 아니라 약간의 출렁거림 존재)
2. 스위칭 손실 & 도통 손실 발생
3. 듀티비

* 듀티비?

→ 한 주기 동안 스위치가 켜져 있는 비율 $D = V_o / V_{in}$

ex) $V_{in} = 30, V_o = 12 \rightarrow D = 0.4$

→ 한 주기의 40% 동안 스위치가 ON된다

01 Background

Problem : Buck Converter

개선된 Buck Converter 구조 등장

본 논문은 다음 세가지 Buck Converter 구조를 **동일 조건에서 비교**

1. Conventional Buck Converter
2. Synchronous Buck Converter
3. Interleaved Buck Converter

지금까지의 논문들 → 각각의 컨버터 **개별적 분석**

이 논문의 목적 → 세가지 컨버터를 같은 조건에서 분석하여 **구조 차이에 따른 성능 비교**

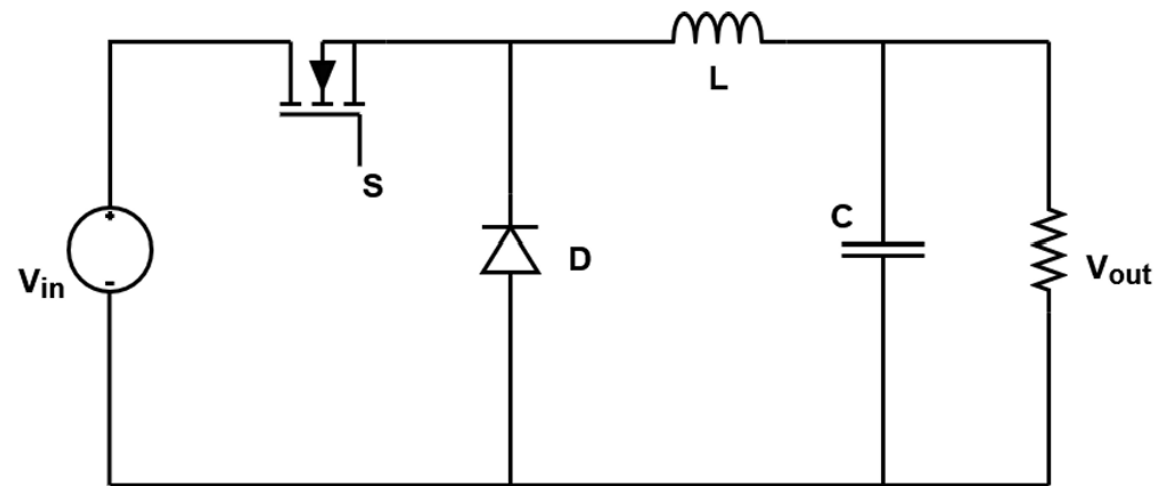
02 Conventional Buck Converter

Conventional Buck Converter 구조

가장 기본적인 컨버터 구조

Switch 1개

Diode 1개



장점

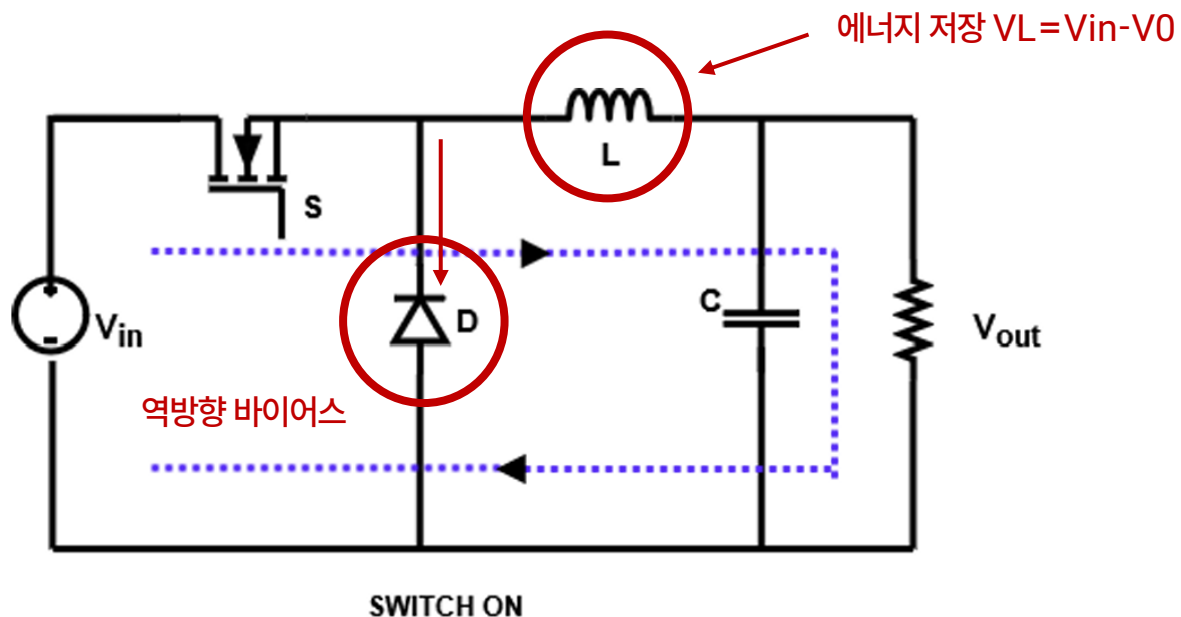
- 구조 단순
- 비용 낮음
- 제어 쉬움

단점

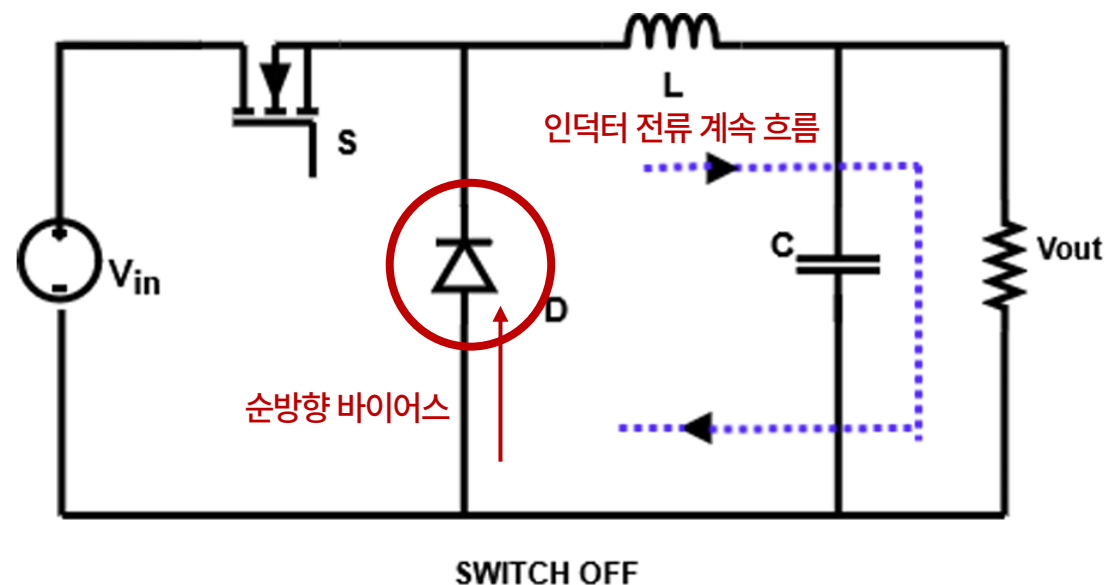
- 스위치 OFF 시 도통 손실
- 출력 전류 리플 큼
- 고전류 조건에서 효율 저하

02 Conventional Buck Converter

Conventional Buck Converter 회로



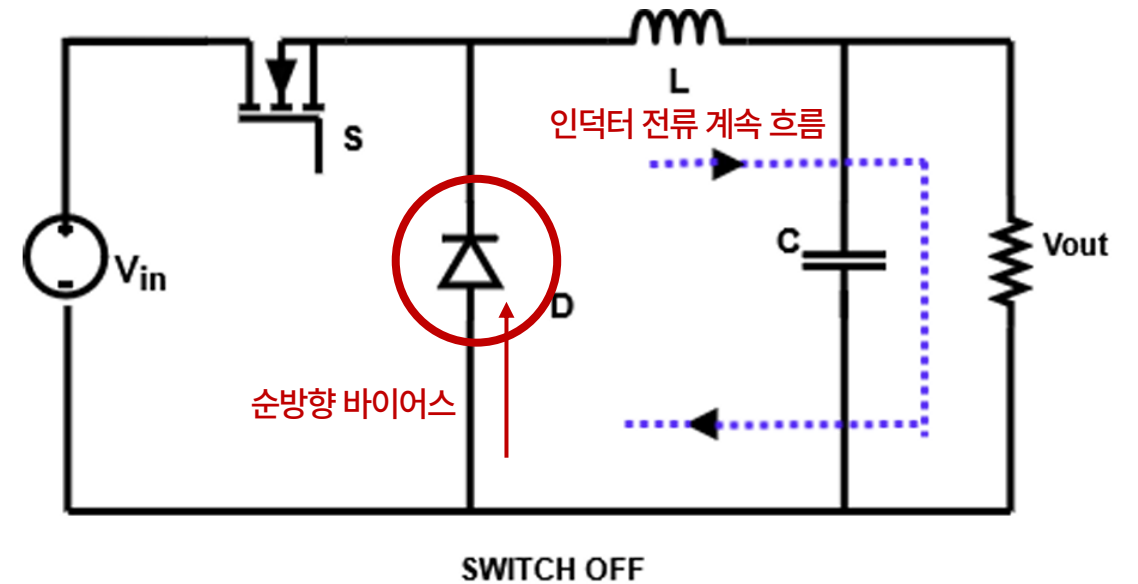
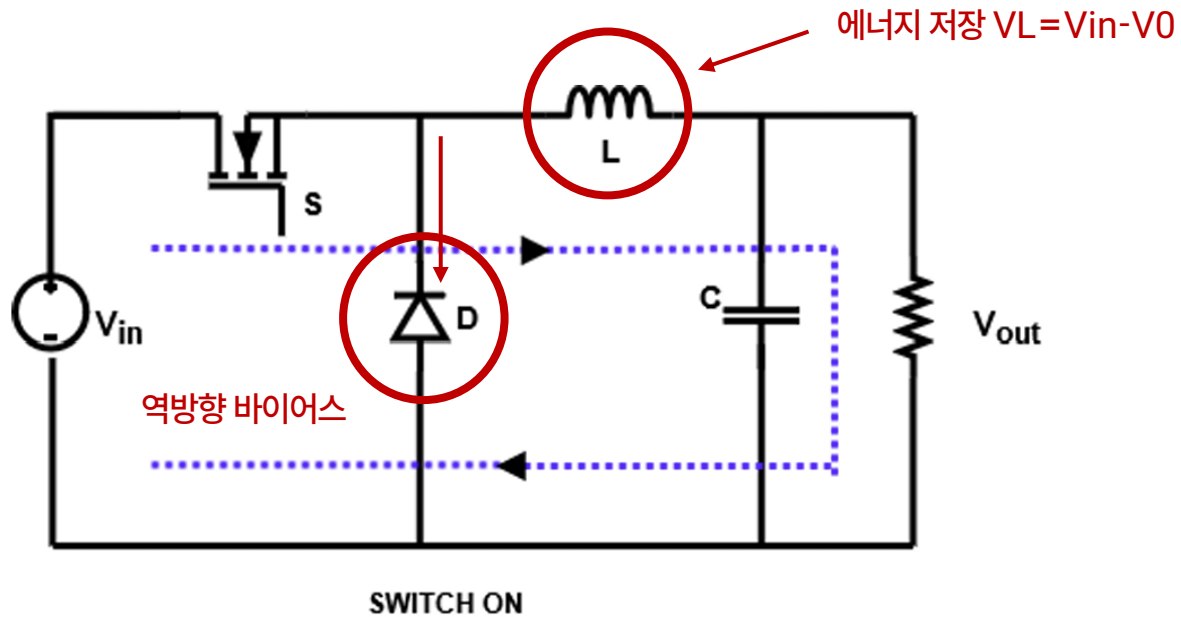
입력전압이 인덕터와 부하에 에너지 공급



다이오드에서 전압강하 발생 → 손실

02 Conventional Buck Converter

Conventional Buck Converter 회로



구조가 단순하지만 다이오드 도통 손실과 리플 문제로 인해 고효율 응용 한계

03 Synchronous Buck Converter

Synchronous Buck Converter 구조

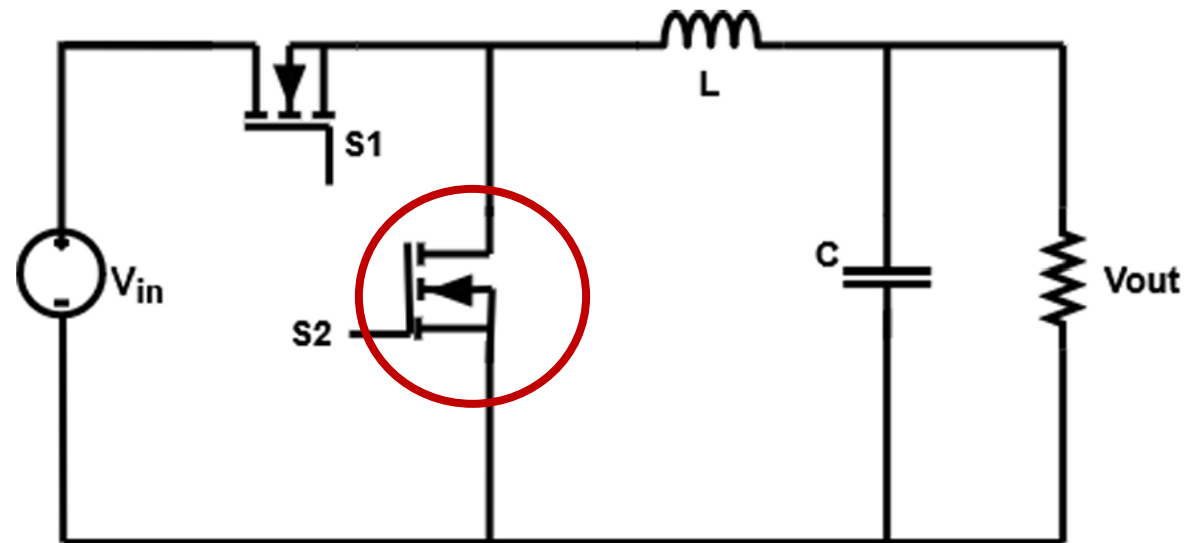
다이오드 → MOSFET으로 대체

도통 손실 줄임

다이오드는 전류 흐를 때 전압강하 발생

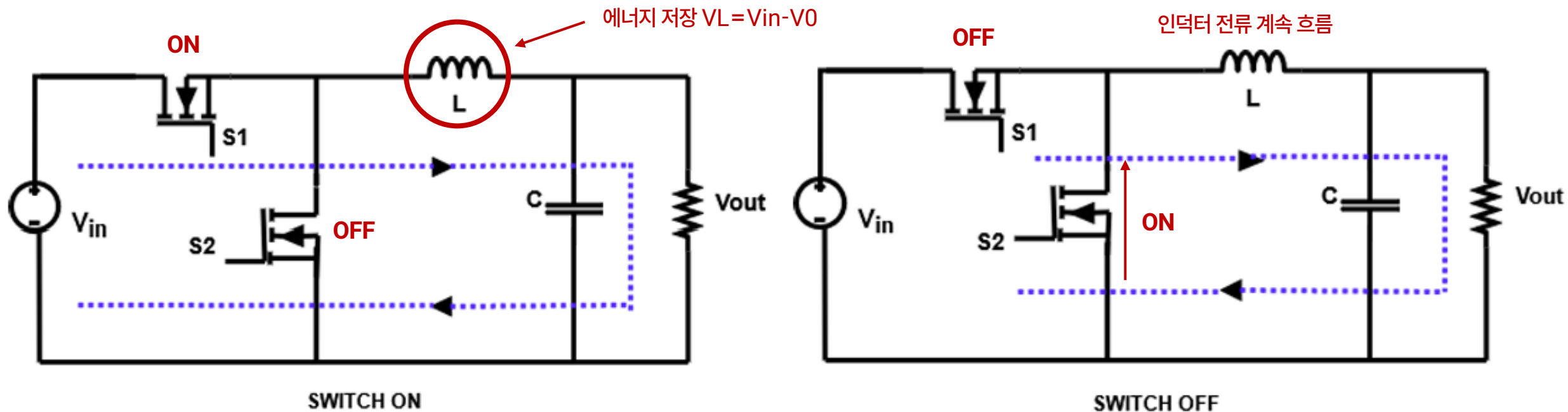
MOSFET은 ON상태에서 저항처럼 동작

→ MOSFET의 저항을 능동적으로 조절해서 손실 감소



03 Synchronous Buck Converter

Synchronous Buck Converter 회로



입력전압이 인덕터와 부하에 에너지 공급

다이오드 → MOSFET

도통손실 감소

03 Synchronous Buck Converter

Synchronous Buck Converter 회로

- Conventional Buck Converter

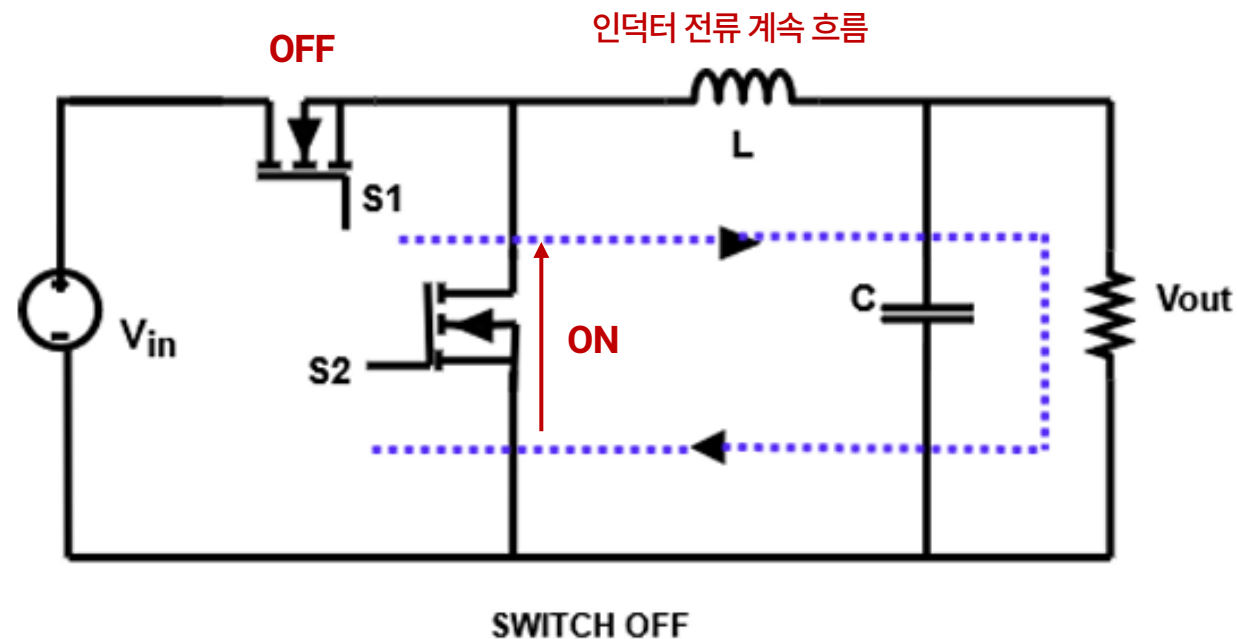
$$V_d = 0.7$$

$$P_d = 0.7 \times 10 = 7W \text{ 손실}$$

- Synchronous Buck Converter

$$R_{ds} = 0.02$$

$$P_d = 10 \times 10 \times 0.02 = 2W \text{ 손실}$$

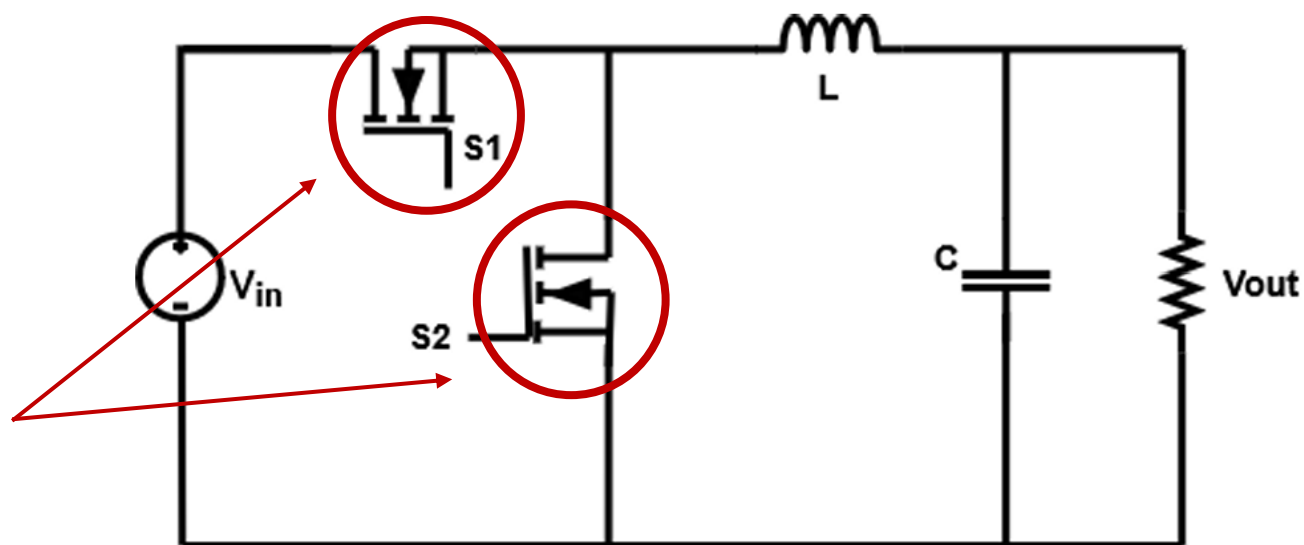


다이오드 → MOSFET

도통손실 감소

03 Synchronous Buck Converter

Synchronous Buck Converter 회로



둘다 ON?

전류가 S1 → S2 → Ground

흘러 쇼트 발생

S1 ON → S2 OFF

S2 ON → S1 OFF

“ 동기식 컨버터 “

04 Interleaved Buck Converter

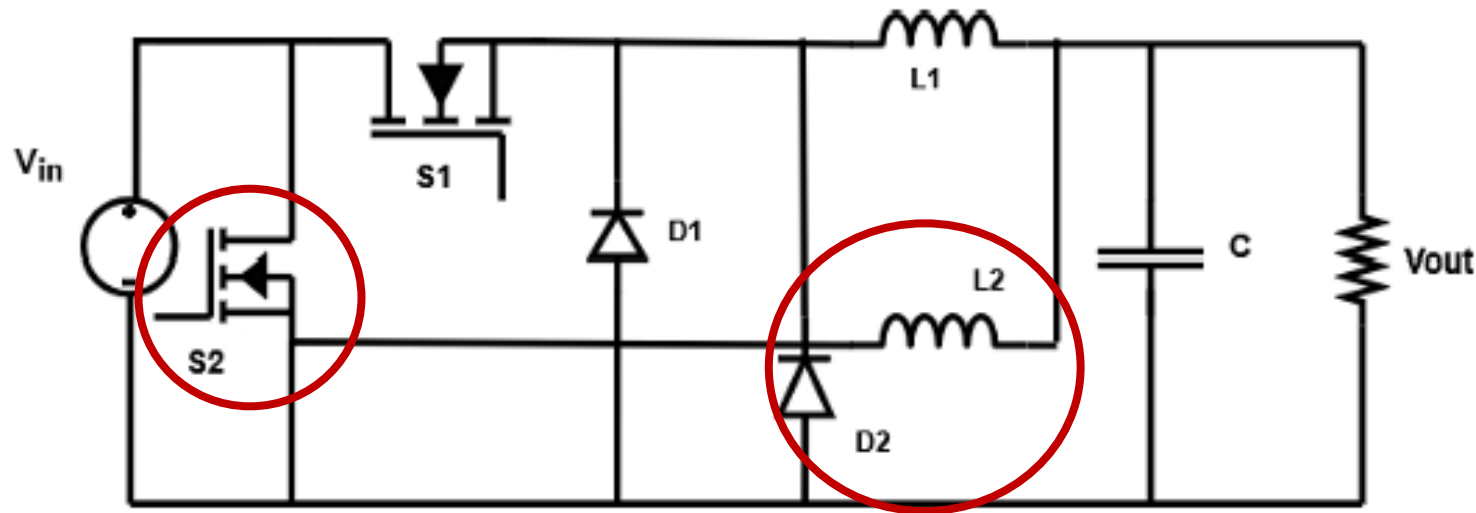
Interleaved Buck Converter 구조

여러 개의 Buck Converter 병렬 구성

각 Phase를 다른 타이밍으로 동작

2- Phase 구조 → 180도 위상차로 동작

전체 출력 전류 분담



$$I_o = I_{L1} + I_{L2}$$

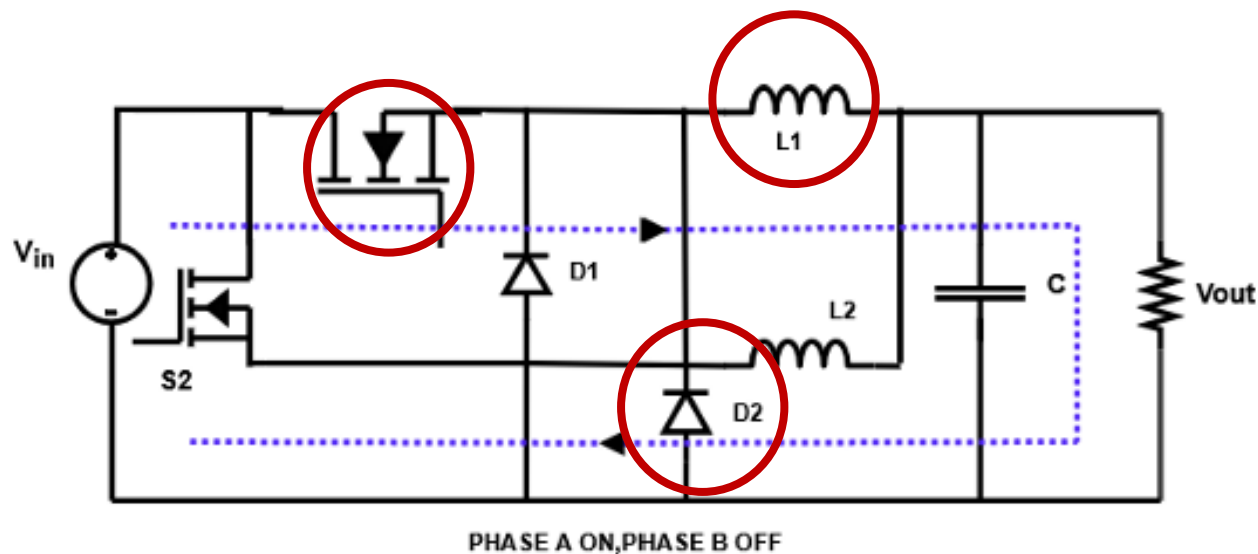
한 phase의 전류가 증가할 때 다른 phase의 전류 감소하도록 설계

→ 합쳐진 출력 전류 리플 감소

→ 전류 분담으로 소자 스트레스 감소

04 Interleaved Buck Converter

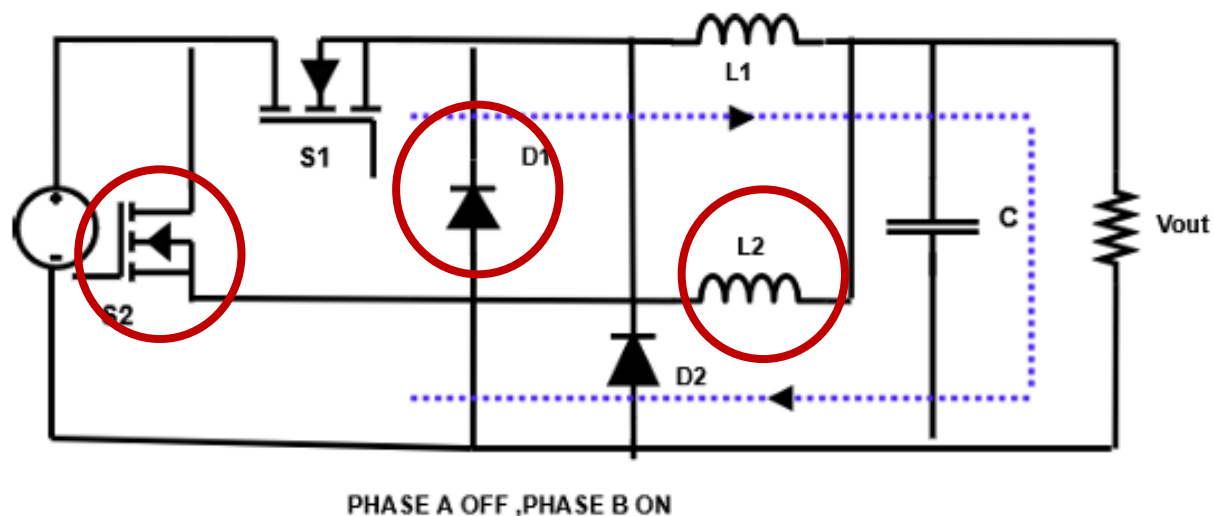
Interleaved Buck Converter 회로



$S1$ On $\rightarrow$ $L1$ 충전, 부하 에너지 공급

$S2$ OFF $\rightarrow$ $L2$ 전류 유지

$D2$ 순방향 바이어스 $\rightarrow$ $L2$ 저장 에너지 방출



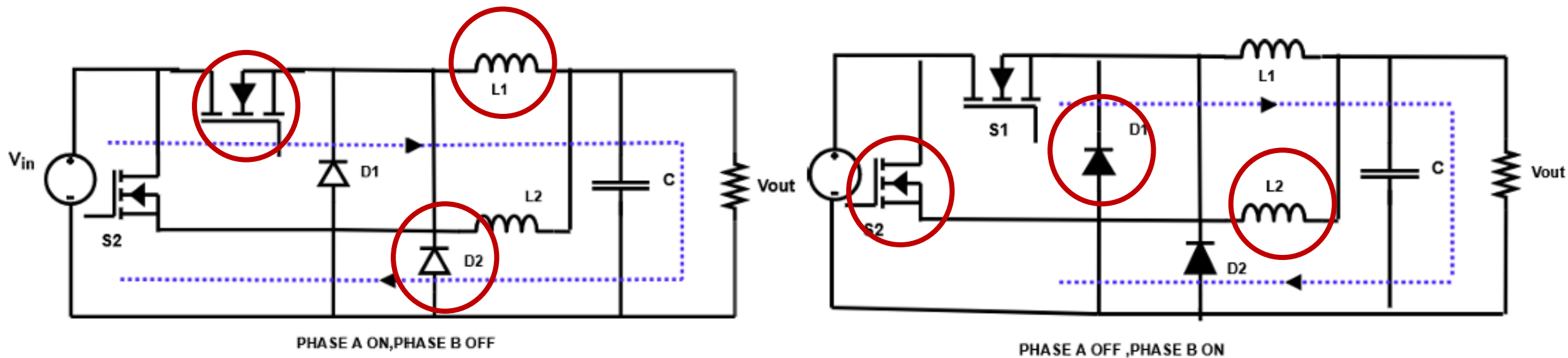
$S1$ OFF $\rightarrow$ $L1$ 전류 유지

$D1$ 순방향 바이어스 $\rightarrow$ $L1$ 저장 에너지 방출

$S2$ ON $\rightarrow$ $L2$ 충전, 부하에 에너지 공급

04 Interleaved Buck Converter

Interleaved Buck Converter 회로



한쪽 Phase의 인덕터가 충전될 때, 다른 phase의 인덕터는 저장된 에너지를 방출

→ 두 인덕터 전류가 서로 엇갈려 움직임

→ 출력에서는 두 전류가 합쳐지며 리플 감소

05 Simulation

시뮬레이션 조건

Input Voltage(v)	Output Voltage(v)	Frequency (kHz)	Voltage Ripple(%)	Output Resistance(Ω)
30	12	20	0.125	1.2

동작 모드 : CCM

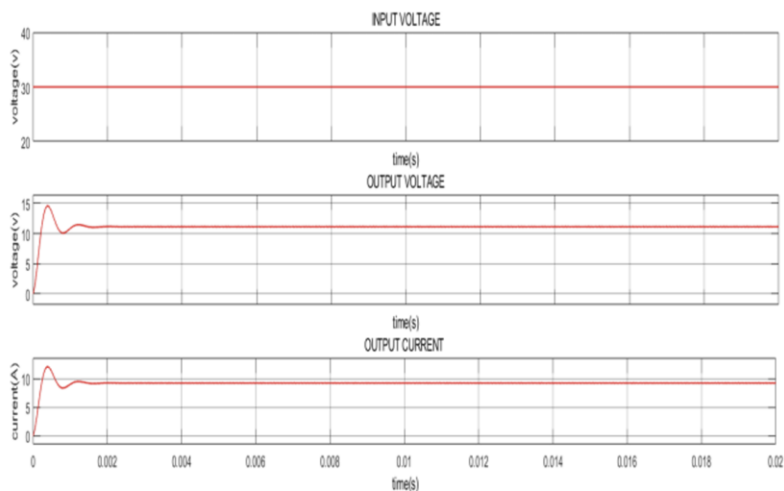
Conventional / Synchronous: $L = 0.1\text{mH}$, $C = 180\mu$

FInterleaved: 각 phase $L = 0.1\text{mH}$, shared $C = 150\mu\text{F}$

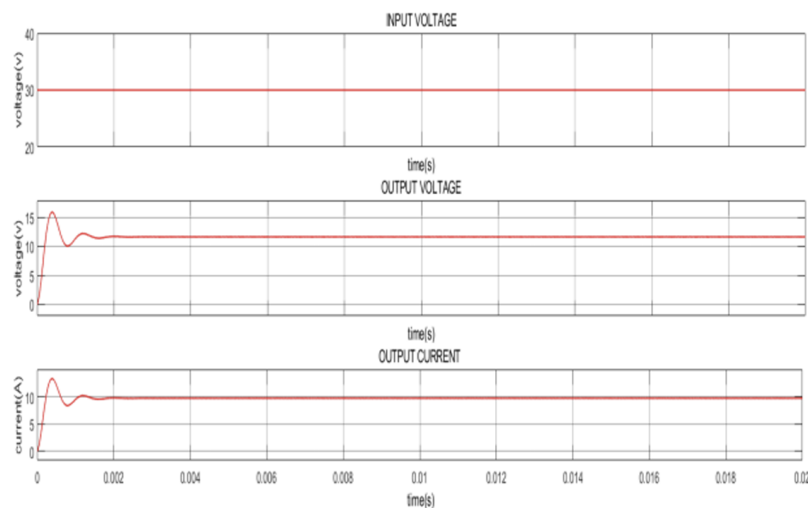
세가지의 Buck Converter를
동일한 입력, 출력, 부하조건에서
시뮬레이션 해 공정하게 성능 비교

05 Simulation Results

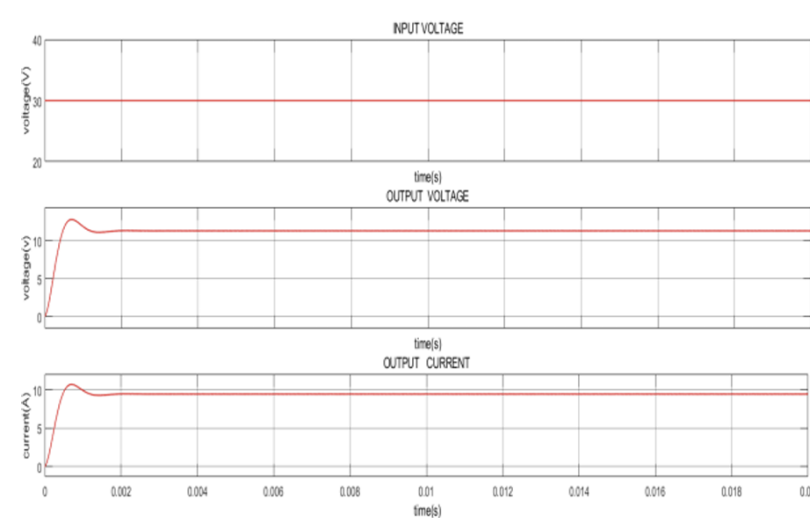
출력 전압 & 출력 전류 비교



Conventional output waveform



Synchronous output waveform



Interleaved output waveform

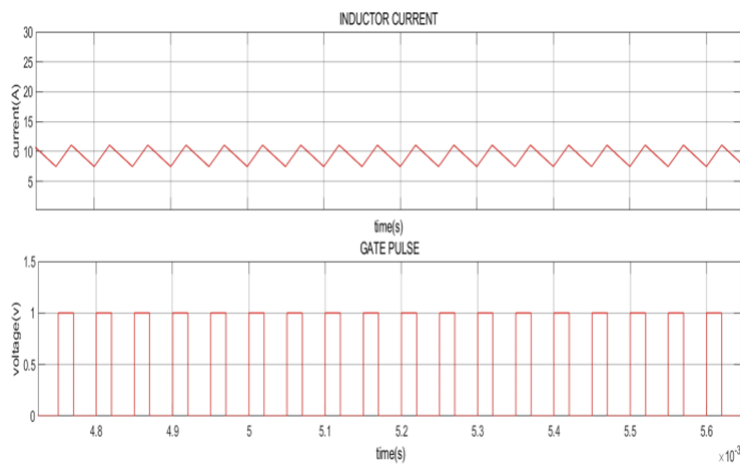
세 구조 모두 입력 30V에서 출력 12V 안정적 생성

출력 전류 약 10A 유지

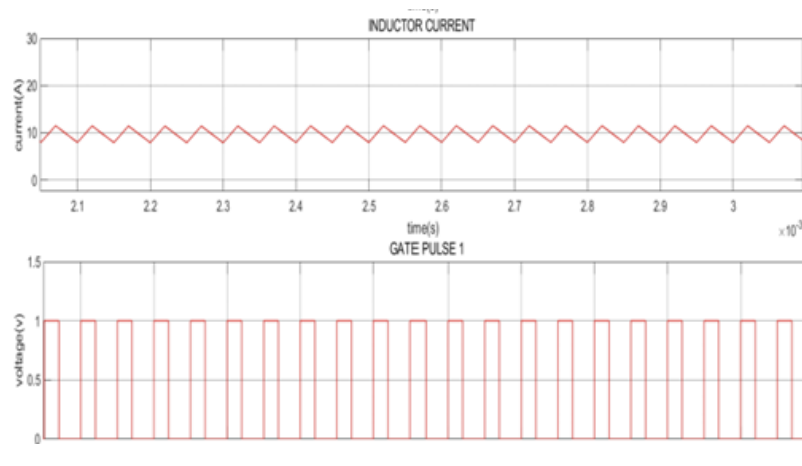
세 구조 모두 기본적인 동작은 정상적으로 수행

05 Simulation Results

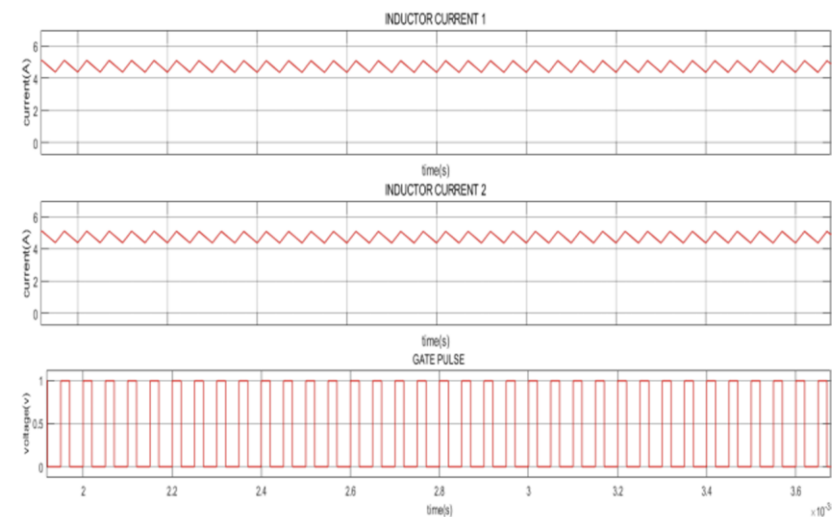
인덕터 전류 & 리플 비교



Conventional output waveform



Synchronous output waveform



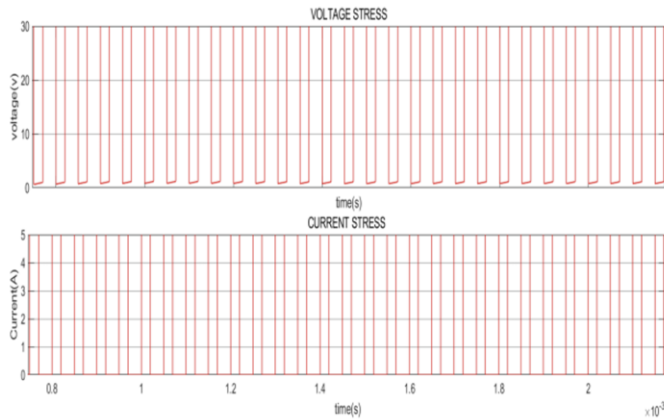
Interleaved output waveform

Conventional & Synchronous Buck 은 각각 하나의 인버터가 출력 전류를 담당 → 3.6A 리플

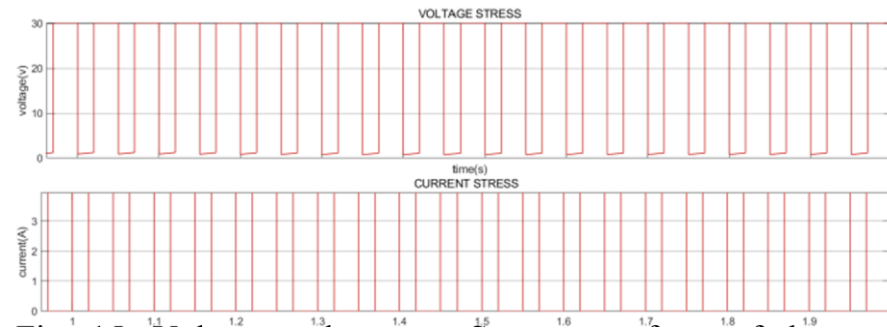
Interleaved Buck 두 phase가 180도 위상차로 동작하여 리플이 서로 상쇄 → 1.8A 리플

05 Simulation Results

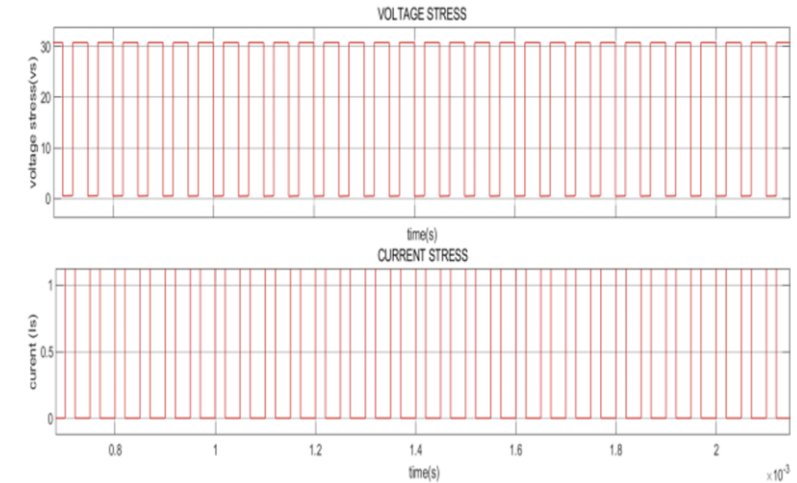
스위칭 소자 전압 & 전류 부담 비교



Conventional output waveform



Synchronous output waveform



Interleaved output waveform

Synchronous Buck → MOSFET으로 손실경로 개선

Interleaved Buck → 전류 분담을 통해 소자 부담 감소

05 Simulation Results

구조적 차이

	Conventional	Synchronous	Interleaved
스위치 수	1개	2개	여러 개
다이오드	있음	MOSFET으로 대체	MOSFET/body diode 경로
인덕터	1개	1개	phase마다 1개
커패시터 부담	큼	비슷하지만 손실 감소	리플 감소로 부담 감소
전류 리플	큼	약간 개선	크게 감소
도통 손실	다이오드 손실 큼	MOSFET으로 감소	전류 분담으로 감소

05 Simulation Results

성능 비교 결과

	Conventional	Synchronous	Interleaved
입력 전압	30 V	30 V	30 V
출력 전압	12 V	12 V	12 V
인덕터 전류 리플	3.6 A	3.6 A	약 1.8 A
출력 전압 리플	0.125 V	0.125 V	0.075 V
효율	91.5%	94.8%	96.2%
전압 스트레스	보통	높음	낮음
스위치 개수	1개	2개	4개
적합한 응용 분야	일반 DC 부하	고전류 시스템	EV 및 신재생에너지 시스템

06 Conclusion

결론

Conventional

구조 단순

다이오드 손실 & 리플 발생

Synchronous

다이오드 → MOSFET

도통 손실 감소

Interleaved

여러 Phase가 전류 분담

리플 상쇄로 가장 우수한 성능

따라서 고전류·고전력 응용에서는 **Interleaved Buck Converter**가 가장 적합

향후, 실제 하드웨어 검증, GaN/SiC 전력반도체 적용, Hybrid Interleaved-Synchronous 구조 연구가 필요

Circuit / Semiconductor

Thank you

송실대학교 전기공학부 학술 소모임 NOVA

발표자 : 김민서