

# 2023 International Solid-State Circuits Conference

## (ISSCC) Review

UNIST 전기전자공학과 신세운 교수

### Topic : Power Management

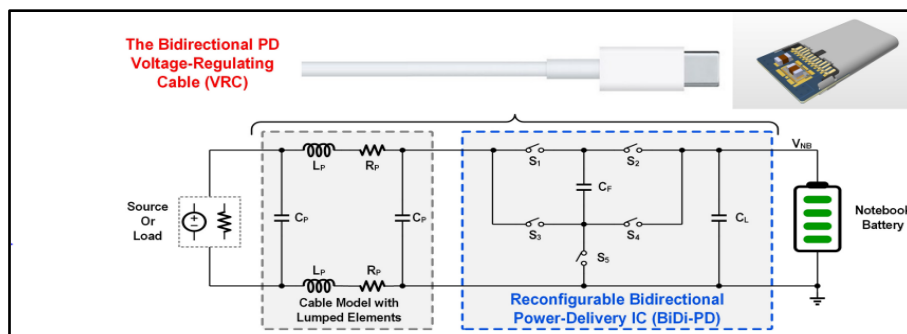
Power Management Subcommittee 주관으로 조직된 Session 11 : USB and Compute Power Delivery, Session 30 : Power Management Techniques 는 각각 10편의 논문들이 발표되었다. 많은 power-conversion topology들이 SIMO techniques, shared- or multi-stage design을 사용한 multiple-output design에 초점을 맞추었다.

### Session 11 : USB and Compute Power Delivery

#11.2 논문은 하나의 입력을 4개의 출력으로 변환할 수 있는 12V to 1V hybrid 벡 컨버터를 제안하고 있다. 3:1 switched capacitor buck 컨버터 구조를 출력마다 하나씩 사용했지만 4개의 buck 컨버터를 사용한 구조와 다르게 2개의 capacitor를 4개의 컨버터와 공유했다. Capacitor를 공유함으로써 load가 각각 다른 상황에서도 높은 효율을 가질 수 있으며 multiple output에서 capacitance를 줄일 수 있다는 장점이 있다. 이러한 특징으로 인해 최대 79.3%의 효율을 달성하였다.

#11.4 논문은 double step-down(DSD)구조와 SIDO converter를 결합한 구조를 제안하고 있다. DSD의 장점과 SIDO의 장점만을 가져와 timing balance mechanism을 이용해 두 inductor current의 balancing을 맞췄다. 또한, light load에서 heavy load로 변할 때 cross regulation을 줄이기 위해 hybrid sum and deviation(HSD)를 사용하였으며 voltage stress와 voltage spike를 줄이기 위해 pulse-based H<sup>2</sup>L level shifter를 제안하였다. 이러한 특징으로 인해 48V 입력을 1.8V, 1.3V 출력으로 변환할 때, 88.4%의 peak efficiency를 달성하였다.

#11.6 논문은 Charging IC와, 관련된 모든 수동 소자들을 Type-C connector에 통합시키고 양방향 강압 전압을 regulating 할 수 있는 Bidirectional power delivery (BiDi-PD) voltage-regulating cable (VRC)을 제안하여 초고속 충전 시 thermal issue를 상당히 완화시키는 heat sink의 역할을 수행할 수 있다고 소개하였다. 최초로 charging converter를 cable connector로 통합시킨 논문이며, BiDi-PD converter는 가장 높은 power density를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 최대 42W의 power를 95.1%의 peak chip efficiency로 노트북에 전달할 수 있다는 것을 보여주었다.

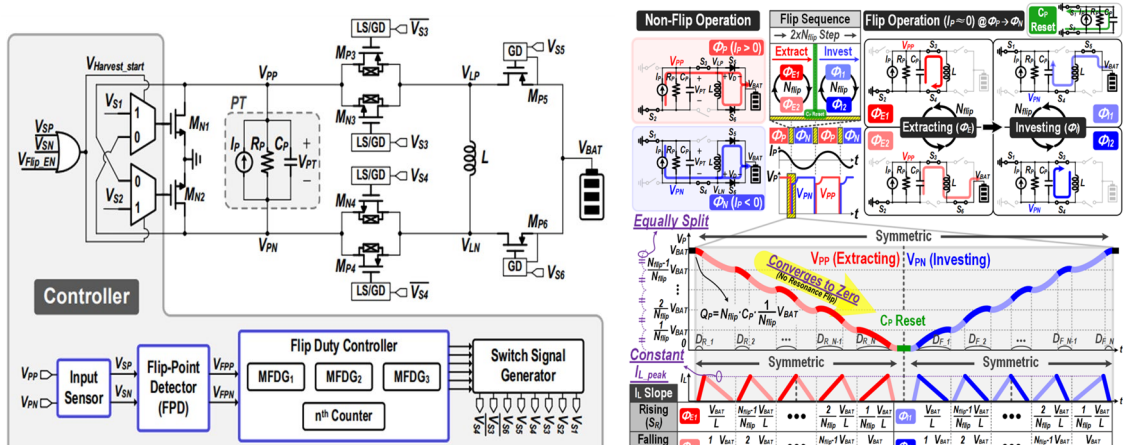


[그림 1] #11.6에 소개된 reconfigurable bidirectional power delivery voltage-regulating cable

#11.8 논문은 data center system의 12V to 1V의 direct conversion을 위한 high CR 컨버터를 설계하였다. 해당 구조는 double-step-down (DSD) 구조의 변형과 dual-path 구조를 결합함으로써 인덕터 전류를 기존의 DSD 컨버터 대비 최대 30% 감소시켰으며, 각 power transistor의 내압을 12V 입력의 1/3 이하로 감소시켜 5V 및 1.8V CMOS를 이용하여 컨버터를 설계하였다. 따라서 제안하는 구조는 컨버터의 switching loss와 conduction loss를 감소시켜 94.5%의 높은 효율을 달성하였고,  $D > 50\%$  영역에서 동작에 제한이 있던 DSD 컨버터 구조의 변형을 통해 full-range duty에서 동작을 가능하게 하였다.

### Session 30 : Power Management Techniques

#30.1 논문은 piezoelectric energy harvesting을 위한 Scalable N-step Equal Split SSHI (ES-SSHI) Rectifier를 제안하여, low-Q 인덕터를 사용함에도, 기존 기술들에 비해 작은 부피로 높은 에너지 추출이 가능한 에너지 하베스팅 시스템을 구현하였다. ES-SSHI는 flip 과정을 N단계로 균등 분할하여, 인덕터 RMS 전류와 전도 손실을 감소시킨다. 이러한 균등 분할을 위해, 수식적으로 최적화된 duty는 규칙적이고 대칭적으로 형성되어 단일 제어기만으로 multiple duty를 생성하고, 인덕터 전류의 zero-crossing point 예측이 가능하여 controller 손실을 크게 감소시킨다. 이를 통해 1170%의 power extraction improvement를 달성하였다.

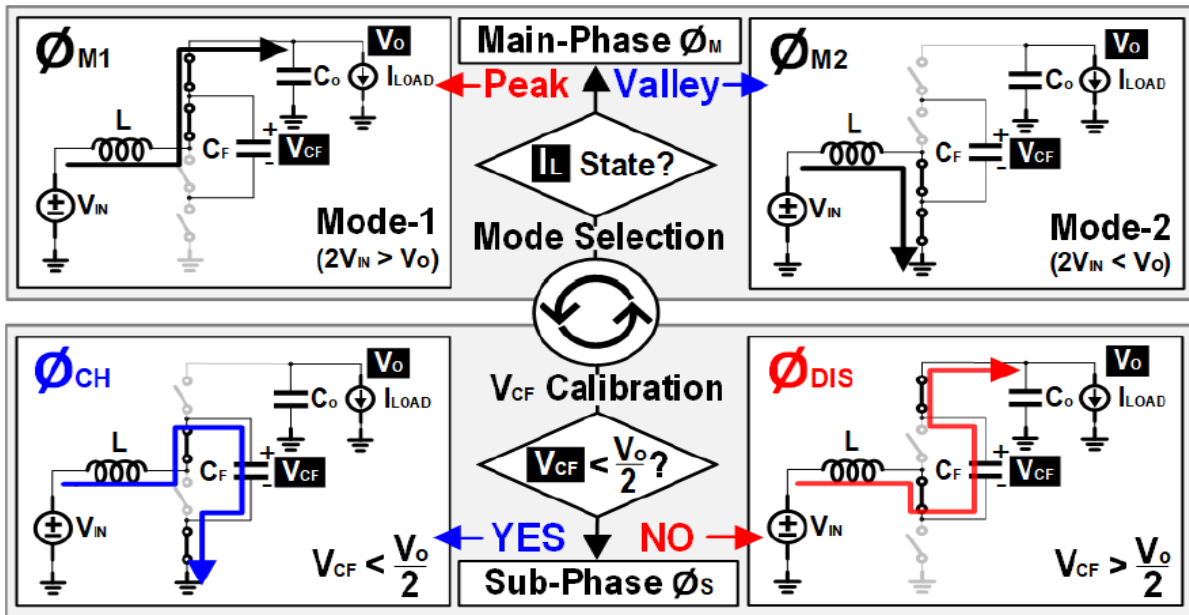


[그림 2] #30.1에 소개된 ES-SSHI 구조 및 동작

#30.4 논문은 electrostatic 및 piezoelectric actuator를 위한 3.7V-to-1kV chip-cascaded switched-capacitor (SC) converter를 제안한다. 첫번째 chip의 auxiliary boost converter를 통해 배터리 전압 (3.7V)은 약 30V로 변환되고, 3개의 cascaded chip에 포함된 16-stage reconfigurable series-parallel SC converter는 chip당 출력 전압을 300V 이상으로 변환시킨다. 이를 통해, SC converter의 pseudo-resonant operation은 charge sharing 손실을 감소시키고, energy recovery를 가능하게 하여 3.7V-to-1kV conversion에서 96%의 reactive power efficiency를 달성하였다.

#30.5 논문은 3레벨 부스트 컨버터의 플라잉 커패시터 전압(VCF) calibration을 위한 fully state-based phase selection technique을 제안하였다. 제안하는 컨트롤 방식은 인덕터 전류와 플라잉 커패시터 전압의 상태에 기반하여 3레벨 부스트 컨버터의 모든 operation phase를 adaptive하게 선택함으로써 빠른 속도의 VCF calibration과 operation mode의 smooth transition을 가능하게 하였

다. 위 방식을 통해 출력 전압이 5V 부터 20V까지 490us의 빠른 속도로 start-up 하더라도 VCF를 지연없이 동일한 속도로 calibration하여 3레벨 부스트 컨버터의 안정성을 확보하였다.



[그림 3] #30.5에 소개된 3-level boost converter with fully state-based phase selection technique

#30.8, #30.9, #30.10 : 2023년 ISSCC에는 3편의 무선전력전송 (WPT) 연구가 소개되었다. 다차원 (3D) 코일을 활용한 송신기 (Tx) 설계로 기존 WPT 기술이 가지고 있던 맹점 (blind spot)의 한계를 극복하였다. 추가적인 코일을 통해 송/수신기간 통신에 문제를 야기하는 노이즈를 제거하는 IC를 소개하였다. 또, Zero-voltage switching (ZVS) 기술을 활용해 무선전력전송 효율을 높인 연구 2건이 소개되었다. Dual output regulating rectifier를 제시했는데, 이는 정류된 2개의 DC 출력 전압을 가질 뿐 아니라 토폴로지의 단순화를 통해 코일의 크기를 줄이고 무선전력전송 효율에 영향을 주는 전력주파수를 40.68MHz 까지 끌어올렸다. 마지막으로, Adaptive ZVS 및 전류 센싱 기술을 통해 적절한 길이의 데드타임 (dead time)을 설정하는 IC로 전력전달간 발생할 수 있는 손실과 EMI를 저감하였다. 송신기에서 전송되는 전류를 감지하여 외부 물체와의 결합 (coupling) 감도를 측정하여 전력전송의 안전성을 확보하였으며 최대 40W의 전력을 부하에 전달하였다.

## 저자정보



### 신세운 교수

- 소 속 : UNIST 전기전자공학과
- 연구분야 : Power Management ICs/ Analog Integrated Circuit Design
- 이 메 일 : seuns@unist.ac.kr
- 홈페이지 : <https://sites.google.com/view/pictuslab/home>