

2023 IEEE CICC Review

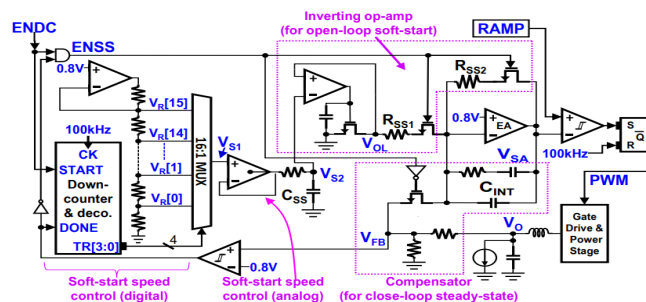
IEEE Custom Integrated Circuits Conference

성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사과정 조종완

Session 9 DC-DC Converters

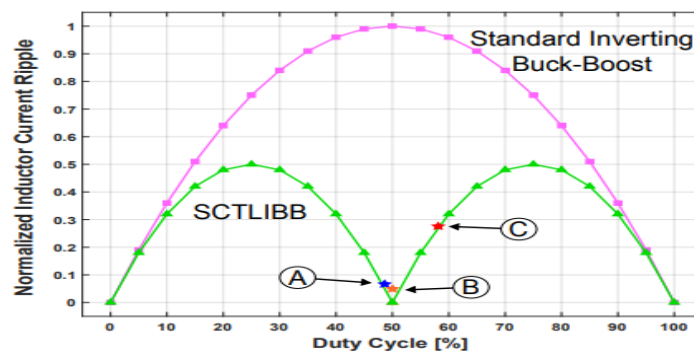
이번 2022 IEEE CICC의 Session 9은 DC-DC Converters라는 주제로 총 9편의 논문이 발표되었다. 이 세션에서 전력 변환하는 회로에 대해, Load Transient 특성을 개선하는 기술, 전력 변환 회로의 Efficiency를 개선하는 부분과 더불어, Power Density를 개선하여 많은 Load Range를 확보할 수 있는 기술, Inductor의 ESR의 영향을 줄여서 효율을 개선하는 Hybrid DC-DC Converter의 기술, External Inductor를 내장하는 Integrated Voltage Regulator 구조의 효율 개선 기술과 같은 다양한 분야에서 전통적인 DC-DC Converter 구조에서 효율 한계점 및 Power Density 한계점, External BoM을 줄이는 것을 위한 기술들에 대해서 발표되었다. 해당 기술들이 점진적으로 개선되어 DC-DC Converter의 구조적인 한계를 극복해 나갈 때, 높은 전력 효율을 전달할 수 있는 새로운 형태의 DC-DC Converter가 다양한 Application에서 사용될 것으로 기대된다.

#9-1. The Hong Kong University, Hong Kong 본 논문에서 제안하는 4C 3-Level Hybrid Buck Converter 구조를 이용하여, 극한의 낮은 Conversion ratio를 갖을 수 있도록 하는 기술을 제안한다. 통상적으로 3-Level이 아닐 경우 high-side power switch의 stack을 필요로 하지만 제안하는 구조에서는 많은 stack 3-Level을 구성할 수 있으며, 낮은 Conversion Ratio에서 발생하는 Inrush Issue를 해결하기 위해, Soft-Start Speed를 digital control 방식으로 추가하였다.



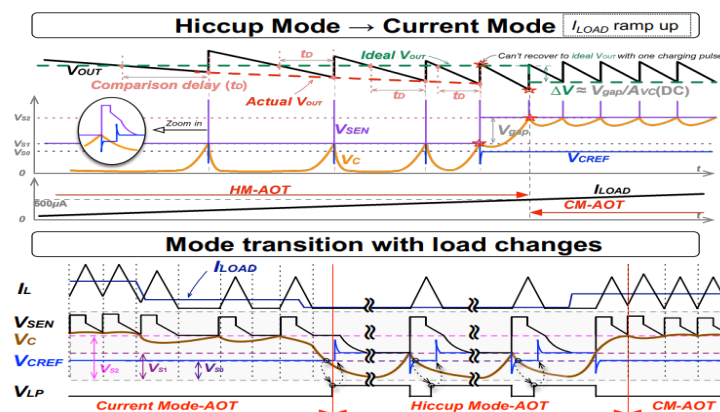
[그림 1] 9-1 논문에서 제안하는 soft-start scheme embedded into compensator

#9-3. University of Pavia(Renesas), Italy 최근 active-matrix organic light-emitting diode(AMOLED) 분야에서 high efficiency inverting buck-boost (IBB) dc-dc converter를 적용하기 위해, 많은 관심도가 높아지고 있다. 본 논문에서도 3-Level Buck Inverting buck-boost dc-dc converter의 Duty에만 의존되어 있는 inductor Ripple을 줄이기 위해, Flying Capacitor Voltage Balancing Loop를 개선하였으며, Bootstrap Circuit을 공유하여 면적을 줄이는 효과를 가져왔다. 그림 2에서 볼 수 있는 것처럼 Duty 비에 독립적으로 Inductor Current Ripple을 줄이는 역할을 하여, 패널에 안정적으로 전원을 공급할 수 있는 성능 개선의 기대가 된다.



[그림 2] 9-3 논문에서 제안하는 구조의 Duty 비에 대한 Inductor Current Ripple 측정 결과

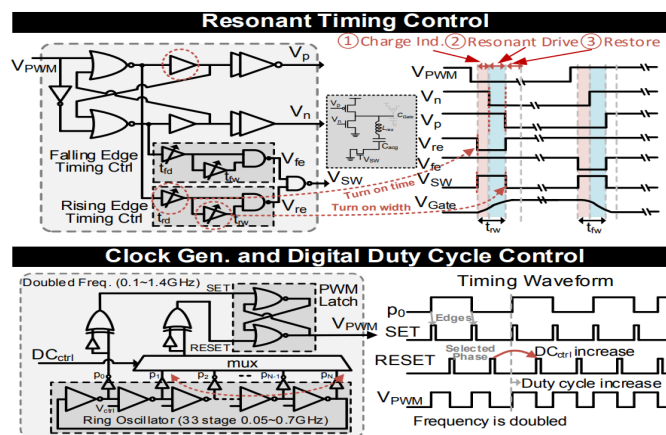
#9-5. University of Science and Technology of china, Hefei, china 본 논문에서는 CM(Current Mode)-AoT(Adaptive on Time)와 HM(Hiccup Mode)-AoT를 같이 사용하는 multi-mode controlled DC-DC Converter 구조를 사용하여, Light Load에서의 Efficiency를 극대화시킨 결과를 나타내었다. 그림 3에서 볼 수 있는 것처럼 제안하는 구조에서는 Analog Mux를 사용하는 기존구조와 달리, Mode를 바꾸는 기존 구조에서 Hiccup Mode 시 Feedback Loop의 Comparator와 Error Amplifier에 Dynamic bias를 인가하는 구조를 통해 Load Transient를 개선시켰다.



[그림 3] 9-5 논문에서 제안하는 구조의 mode transition 원리

본 논문에서 회로 설계 방법을 사용할 경우 Mode 변경시 발생할 수 있는 Ripple을 최소화할 수 있으며, Load에 따른 Transient를 개선시킬 수 있고 저전력을 요구하는 다양한 Application에 적용되어 Battery 수명을 늘려줄 수 있는 것으로 기대가 된다.

#9-8. Northwestern University(IBM, Texas Instruments, Intel), USA 본 논문에서는 External Bill of Material(BoM)인 Inductor를 내장하는 DC-DC Converter 구조인 Integrated Voltage Regulator를 구현하였다. Inductor를 Chip에 내장하면서 생기는 Inductor Value 한계로 인하여, 그림 4에서 볼 수 있는 것처럼 Ring OSC를 통해 Switching Frequency를 높이는 방법을 사용하였고 Resonant Timing Control을 통해 고속의 Switching Frequency를 구하는 루프를 구현하였다. Inductor 내장을 하게 되면, DC-DC Converter의 External BoM 면적 감소와 회로 구현을 위한 비용이 감소될 것으로 기대된다.



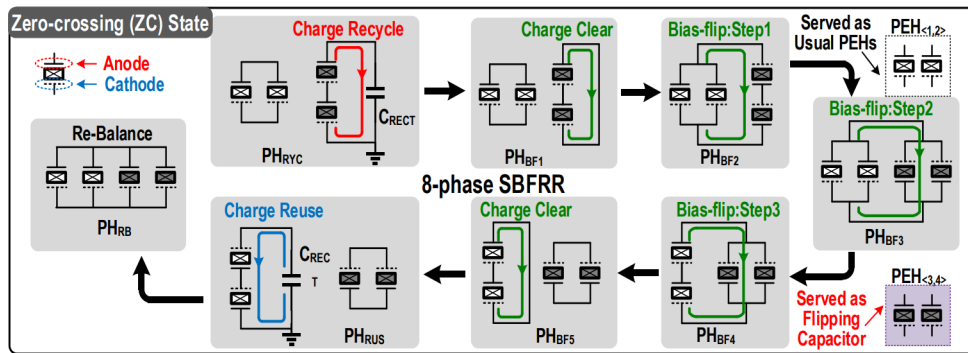
[그림 3] 9-5 논문에서 제안하는 구조의 mode transition 원리

Session 33 Energy Harvesting and Wireless-Isolated Power Converter

이번 2022 IEEE CICC의 Session 33은 Energy Harvesting and Wireless-Isolated Power Converter라는 주제로 총 4편의 논문이 발표되었다. 이 세션에서는 주변 환경에서 발생할 수 있는 낮은 전력을 변환하는 기법에 대해서 중점적으로 논의되었다. 이번 Session에서 중요하게 생각되는 전력 변환 기법에 대한 연구 방향은 3가지로 볼 수 있으며, 주변 환경에서 발생할 수 있는 Energy를 추가적인 Passive Elements 없이 Harvesting 할 수 있는 연구 방향, Start-Up 없이 Energy Harvesting 할 수 있는 연구 방향, Single Input에서 Multi-output을 만들어낼 수 있는 Rectifier에 대한 연구 방향으로 확인할 수 있다. 이번 Session에 등재된 연구들을 통해 주변에서 낭비되는 Energy를 Harvesting할 수 있는 기

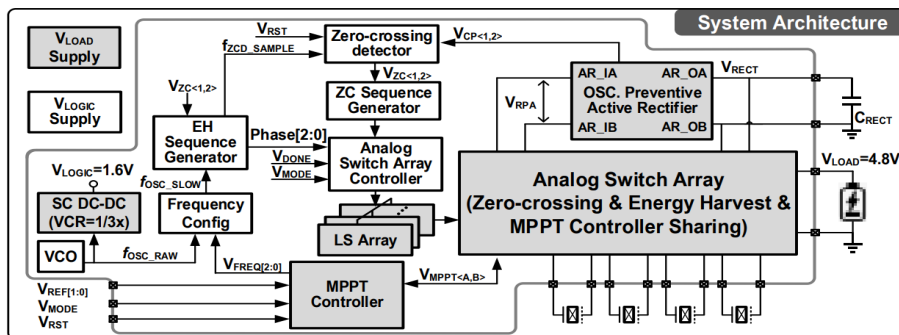
술의 발전이 이루어질 것으로 기대되며, 이를 통해 연료 고갈 문제, 지구 기후의 변화 등의 현재 방안을 찾기 어려운 문제들에 대해 해결책으로 될 것으로 전망된다.

#33-1. Fudan University, China, Delft University of Technology, Netherlands 본 논문에서는 주변에 있는 에너지를 하베스팅하기 위해 필요한 외부 수동 소자가 일반적으로 큰 면적을 사용하기 때문에, 다양한 환경에 적용하기 어려운 문제에 대한 해결 방안을 제시한다. 그림 1에서 볼 수 있는 것처럼 Capacitor에 Charge를 저장하여, 각각의 State에서 사용한 Charge를 다시 Reuse하는 방법을 통해, 적은 에너지로 입력을 Regulation할 수 있는 방법을 제안한다.



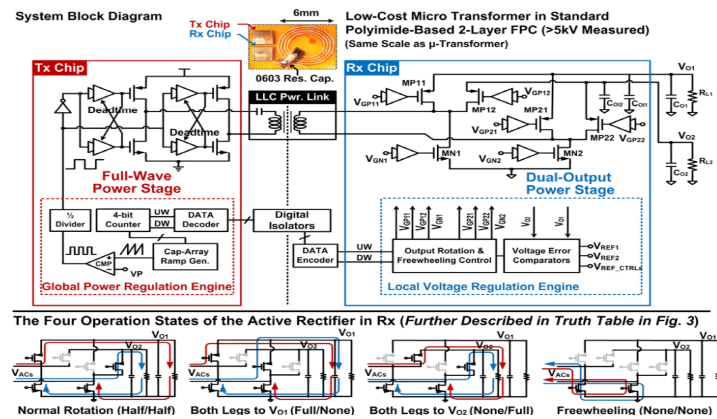
[그림 1] 33-1 논문에서 제안하는 Charge Reuse 방식

그림 2에서 볼 수 있는 것처럼 최대 효율을 얻기 위해 Power Switch Array를 적절하게 제어할 수 있는 MPPT Controller를 통해, Load에 최대 전력을 전달할 수 있는 기술을 포함하고 있다. 제안하는 기술을 통해 마이크로 단위의 전력으로 Battery를 충전할 수 있는 만큼의 전력을 만들 수 있으며, 이를 통하여 부피 제약이 없이 다양한 환경에서 에너지를 하베스팅할 수 있을 것이 전망된다.



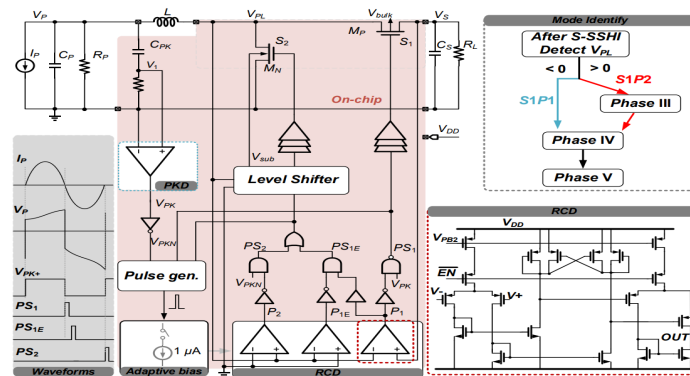
[그림 2] 33-1 논문에서 제안하는 Energy Harvesting System Architecture

#33-2. iowa state University, USA 본 논문에서 제안하는 single-link multiple-output(SLiMO) isolated DC-DC Converter를 통해 하나의 Transformer로 2가지 출력을 낼 수 있는 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 그림 3에서 볼 수 있는 것처럼 4가지의 State를 통해 2가지 이상의 Load를 충전할 수 있는 방법을 제안하고 있으며, Upward와 Downward를 통해 state를 나눠서 2가지 전압을 충전한다. 본 논문에서 제안하는 다중 출력 domain을 충전할 수 있는 방법은 하나의 Transformer에서 하나의 출력을 내는 충전 방식의 제약을 해결해줄 수 있을 것으로 기대된다.



[그림 3] 33-2 논문에서 제안하는 SLiMO isolated DC-DC Converter Block Diagram 및 충전 State

#33-3. Sun Yat-sen University, China 본 논문에서는 기존 piezo system에 일반적으로 제안되는 bridge 형태의 recitifier 대신 그림 4에서 볼 수 있는 Peak Detector, Reverse Current Detection 회로를 통해 입력되는 파워의 Peak점을 감지하여, 에너지를 정류할 수 있는 방법을 제안한다.



[그림 4] 33-23 논문에서 제안하는 hybrid SSHI interface 회로

본 논문에서 제안하는 hybrid SSHI 구조의 장점은 일반적으로 넓은 load range를 가지기 힘들 에너지 하베스팅 구조를 보완할 수 있는 장점이 있으며, Bridge 구조를 쓰지 않고 정류하는 새로운 시도를 통해 에너지 하베스팅 구조의 새로운 초석이 될 수 있다.

저자정보



명예기자 조종완

- 소 속 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사과정
 - 연구분야 : Energy Harvesting, PMIC
 - 이 메 일 : jw1114@skku.edu
 - 홈페이지 : <http://iclab.co.kr>
-