

## 250mV 입력 부스트 컨버터를 위한 스타트업 전압 발생기

양병도\*

### Start-up Voltage Generator for 250mV Input Boost Converters

Byung-Do Yang\*

Department of Electronics Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea

#### 요 약

본 논문에서는 DC-DC 부스트 컨버터의 최소 입력전압을 250mV 까지 낮출 수 있도록 하는 저전압 스타트업 전압 발생기를 제안 하였다. 제안된 스타트업 전압 발생기는 250mV의 입력전압을 500mV 이상으로 승압시켜 커패시터에 충전한다. 이후, 커패시터에 저장된 전압으로 부스트 컨버터를 시동시킴으로써, 250mV의 낮은 입력 전압에서도 부스트 컨버터가 동작을 시작할 수 있도록 하였다. 부스트 컨버터가 정상 동작한 후에는, 부스트 컨버터에 의하여 만들어지는 승압된 출력전압을 다시 부스트 컨버터의 전원으로 사용하게 함으로써, 스타트업 동작 후에는 기존 부스트 컨버터와 동일한 높은 전력 변환 효율로 동작 하도록 하였다. 제안된 스타트업 전압 발생기는 낮은 입력전압에서 트랜지스터의 바디전압을 조절하여 트랜지스터의 문턱전압을 낮춤으로써, 입력전압을 승압시키는 디크슨 차지펌프에 높은 클럭 주파수와 큰 전류를 공급하도록 하였다. 제안된 스타트업 전압 발생기는 0.18 $\mu$ m CMOS 공정으로 제작되었으며, 250mV의 입력전압에서 생성된 클럭 주파수와 출력전압은 각각 34.5kHz와 522mV였다.

#### ABSTRACT

This paper proposes a start-up voltage generator for reducing the minimum input supply voltage of DC-DC boost converters to 250mV. The proposed start-up voltage generator boosts 250mV input voltage to over 500mV to charge the capacitor for starting the boost converter. After the boost converter operates initially with the supply voltage charged in the capacitor, it uses its boosted output voltage for the supply voltage. Therefore, after the start-up operation, the proposed DC-DC boost converter works as the same as the conventional one. The proposed start-up voltage generator reduces the threshold voltage of the transistors by adjusting the body voltage at a low input voltage. This causes the higher clock frequency and the larger current to a Dickson charge-pump for boosting the input voltage. The proposed start-up voltage generator was implemented with a 0.18 $\mu$ m CMOS process. Its clock frequency and output voltage were 34.5kHz and 522mV at 250mV input voltage, respectively.

**키워드** : 저전압, 부스트 컨버터, 스타트업, 전압 발생기, 바디전압

**Key word** : Low-voltage, boost converter, start-up, voltage generator, body-voltage

접수일자 : 2014. 03. 27 심사완료일자 : 2014. 04. 14 게재확정일자 : 2014. 04. 29

\* **Corresponding Author** Byung-Do Yang(E-mail:bdyang@chungbuk.ac.kr, Tel:+82-43-261-3583)  
Department of Electronics Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.5.1155>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

최근에 배터리를 사용하지 않고 태양광, 열, 진동 등의 주위 환경으로부터 에너지를 얻는 에너지 하베스팅(energy harvesting) 기술을 이용한 자가발전 전자 기기들에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 그러나, 이런 에너지원들은 CMOS 트랜지스터의 문턱전압 보다 낮은 전압을 공급하는 경우가 많다 [1-5]. 이런 낮은 입력전압을 사용하기 위해서는, 전압을 높여 주는 DC-DC 부스트 컨버터(boost converter)가 필요하다. 그러나, 문턱전압이 약 0.4V인 트랜지스터를 사용하는 부스트 컨버터가 동작하기 위해서는 적어도 0.5V 이상의 입력전압이 필요하다.

최근에 매우 낮은 입력전압에도 동작 가능한 부스트 컨버터 회로들이 제안되었다 [1-5]. 그러나, 이런 부스트 컨버터 회로들은 몇 가지 단점들을 가지고 있다. [1]은 초기 동작에 필요한 전압을 공급하는 배터리가 필요하고, [2]는 초기 동작 전압을 생성하는 기계적인 진동 스위치가 필요하다. [3]은 칩 제작에 SOI(silicon on insulator) 공정이 필요하다. [4]와 [5]는 초기 동작에 필요한 전압을 만들기 위한 공진 회로에 외부 인덕터들과 트랜스포머를 사용한다. 최근에 칩 외부에 특별 소자를 사용하지 않고 CMOS 공정으로 구현한 부스트 컨버터 회로들도 제안되었다. 그러나, [6]와 [7]의 최소 입력전압이 1V와 0.55V로 여전히 높은 단점이 있다.

본 논문에서는 250mV의 입력전압으로 DC-DC 부스트 컨버터를 시동할 수 있도록, 저전압 스타트업 전압 발생기를 제안하였다. 제안된 회로는 250mV의 입력전압에서 522mV의 스타트업 전압을 발생시켜, 부스트 컨버터의 시동을 돕는다. 제안된 스타트업 전압 발생기 회로를 사용함으로써, 기존의 부스트 컨버터의 최소 입력전압을 250mV 까지 낮출 수 있다.

## II. 본 론

그림 1(a)는 기존 DC-DC 부스트 컨버터(boost converter)의 구조이다. 스위칭 트랜지스터( $M_1$ )가 켜지면 인덕터(L)에 전류를 저장하고 스위칭 트랜지스터가 꺼지면 인덕터에 저장된 전류를 다이오드( $D_1$ )를 통하여 출력단의 커패시터( $C_1$ )에 공급함으로써, 낮은 입력

전압( $V_{IN}$ )을 높은 출력전압( $V_{OUT}$ )으로 변환한다. 제어 회로(control circuit)에서 출력전압에 따라 공급하는 전류량을 스위칭 트랜지스터가 켜지고 꺼지는 비율로 조절함으로써, 입력전압이 변해도 출력전압은 일정하게 유지된다.

그러나, DC-DC 부스트 컨버터의 제어회로에 필요한 최소 동작 전원전압( $V_{DD}$ ) 이하로 입력전압( $V_{IN}$ )이 감소하는 경우, 회로 동작은 멈추게 된다. 특히, 스위칭 트랜지스터( $M_1$ )의 온/오프(on/off) 동작을 위해서는 게이트 전압이 트랜지스터 문턱전압 보다 높아야 한다. 문턱전압이 0.4V인 경우, 스위칭 트랜지스터가 동작하기 위해서는 최소 0.5V 이상의 입력전압이 필요하다. 따라서, 부스트 컨버터가 동작 가능한 입력전압은 0.5V 이상으로 제한된다.

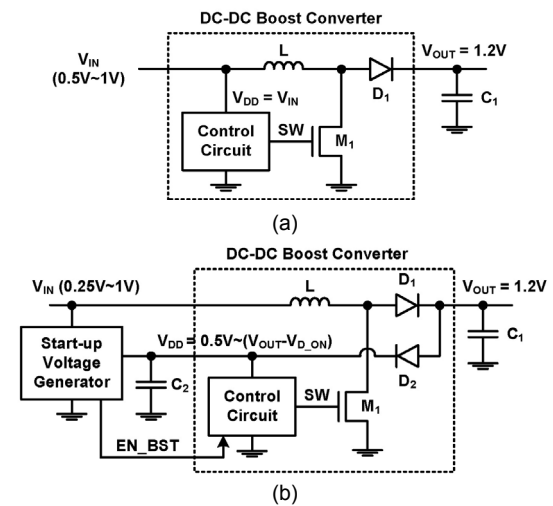


그림 1. (a) 기존의 DC-DC 부스트 컨버터 (b) 스타트업 전압 발생기를 가진 제안된 DC-DC 부스트 컨버터

Fig. 1 (a) Conventional DC-DC boost converter (b) Proposed DC-DC boost converter with the start-up voltage generator

그림 1(b)는 낮은 입력전압에서도 동작 가능하도록 스타트업 전압 발생기(start-up voltage generator) 회로를 포함한 DC-DC 부스트 컨버터의 구조이다. 기존의 부스트 컨버터는 제어회로의 전원전압( $V_{DD}$ )이 입력전압( $V_{IN}$ )과 동일하여, 0.5V 이하의 입력전압에서는 동작할 수 없었다. 또한, 입력전압이 0.5V 이상인 경우에도, 스위칭 트랜지스터( $M_1$ )의 게이트에 낮은 입력전압이 인가되면 스위칭 트랜지스터의 온-저항(on-resistance)

이 증가하여 부스트 컨버터의 전력변환 효율이 매우 낮아지는 문제가 있었다. 그러나, 제안된 부스트 컨버터에서는 제어회로의 전원전압을 스타트업 전압 발생기와 출력전압( $V_{OUT}$ )에서 높은 전압을 공급받는다. 제안된 스타트업 전압 발생기는 0.25V의 입력전압에서 0.5V 이상의 전압을 생성할 수 있다. 따라서, 0.25V 입력전압에서도 0.5V 이상의 전원전압을 공급함으로써, 부스트 컨버터가 동작 가능하도록 하였다. 부스트 컨버터가 정상적으로 동작하여 출력전압이 상승하면, 부스트 컨버터의 전원전압을 출력전압으로부터 다이오드  $D_2$ 를 통하여 공급받게 된다. 결과적으로, 부스트 컨버터의 전원전압은 입력전압 보다 높게 유지된다. 따라서, 낮은 입력전압에서도 스위칭 트랜지스터의 게이트에 높은 전압이 공급되어, 스위칭 트랜지스터의 온-저항 값은 작아지고 높은 전력변환 효율을 얻을 수 있다.

제안된 DC-DC 부스트 컨버터의 동작은 다음과 같다. 초기에, 출력단 커패시터( $C_1$ )와 전원전압 커패시터( $C_2$ )는 0V로 방전되어 있다. 그림 2의 스타트업 전압 발생기는 디슨 차지펌프(Dickson charge-pump)를 사용하여 입력전압을 승압시킨 후 커패시터  $C_2$ 에 충전한다. 커패시터  $C_2$ 에 충전된 전원전압( $V_{DD}$ )이 부스트 컨버터의 시동에 필요한 전압 이상으로 상승하면, 스타트업 전압 발생기의 동작은 멈추고 EN\_BST(boost enable) 신호가 '1'이 되어 부스트 컨버터가 동작하기 시작한다. 출력단 커패시터  $C_1$ 에 전류를 공급하여 출력전압( $V_{OUT}$ )은 목표 전압까지 상승하고, 출력전압은 다이오드  $D_2$ 를 통하여 부스트 컨버터의 전원전압에 공급된다. 결과적으로,  $V_{D\_ON}$ 이 쇼트키 다이오드(schottky diode)  $D_2$ 의 포워드 바이어스(forward bias) 전압인 경우, 전원전압( $V_{DD}$ )은  $V_{OUT}-V_{D\_ON}$  까지 상승한다.

그림 2(a)의 스타트업 전압발생기는 스타트업 전압 제어기(start-up voltage controller: SUV controller)와 디슨 차지펌프, 커패시터  $C_2$ 로 구성되어 있다. 디슨 차지펌프는 0.15V 문턱전압 쇼트키 다이오드 5개와 100pF 커패시터 4개로 구성하였고, 커패시터  $C_2$ 에는 10nF를 사용하였다. 스타트업 전압 제어기 칩은 0.18 $\mu$ m CMOS 공정으로 제작하였다.

스타트업 전압 제어기 칩에서는 입력전압( $V_{IN}$ )으로 두 클럭 신호 CLK와 CLKb를 발생시키면, 디슨 차지펌프는 커패시터  $C_2$ 의 전압( $V_{DD}$ )을 상승시킨다. 클럭 신호의 스윙(swing) 전압이  $V_{IN}$ 이고, 쇼트키 다이오드의

포워드 바이어스 전압이  $V_{D\_ON}$  일 때, 전원전압( $V_{DD}$ )은  $5 \times (V_{IN}-V_{D\_ON})$  까지 충전된다.

그림 2(b)의 스타트업 전압 제어기는 바디전압 발생기(body-voltage generator), 저전압 클럭 드라이버(clock driver), 모드 제어기(mode selector)로 구성된다. 바디전압 발생기는 클럭 드라이버의 트랜지스터의 성능을 향상시키기 위해 입력 전원전압( $V_{IN}$ )에 따른 PMOS 및 NMOS 트랜지스터의 바디전압( $V_{B\_PMOS}$ 와  $V_{B\_NMOS}$ )을 발생시킨다. 저전압 클럭 드라이버는 디슨 차지펌프에서 사용 될 눈오버랩(non-overlap) 클럭 신호를 발생시킨다. 모드 제어기(mode selector) 회로는 커패시터  $C_2$ 에 충전된 전원전압이 부스트 컨버터 시동에 필요한 전압 이상으로 상승한 경우 EN\_BST(boost enable) 신호를 '1'로 만들어 스타트업 전압 발생기의 동작은 멈추고 부스트 컨버터가 동작하도록 제어한다.

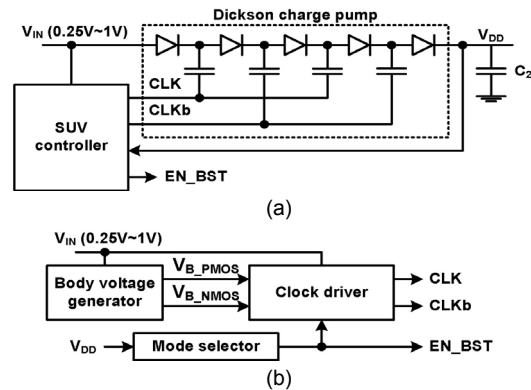


그림 2. (a) 스타트업 전압 발생기 (b) 스타트업 전압 제어기  
Fig. 2 (a) Start-up voltage generator (b) Start-up voltage controller

그림 3은 저전압 클럭 드라이버의 회로도이다. 클럭 드라이버에 공급되는 입력전압  $V_{IN}$ 이 낮은 경우, PMOS와 NMOS 트랜지스터의 바디(body)에 포워드 바이스 전압이 형성되도록 PMOS와 NMOS 트랜지스터의 바디전압인  $V_{B\_PMOS}$ 와  $V_{B\_NMOS}$ 을 만든다. 트랜지스터의 바디에 포워드 바이스 전압을 공급하면, 트랜지스터들의 문턱전압이 낮아져서 트랜지스터의 전류 구동 능력이 향상된다. 따라서, 클럭 드라이버 안에 있는 링-오실레이터(ring oscillator)의 클럭 주파수는 높아지고 클럭 드라이버에서 출력되는 전류량은 증가하여, 큰 커패시터들이 연결된 클럭 신호 CLK와 CLKb 노드의

전압이 빠르게 변하게 된다. 결과적으로, 디스 차지 펄프가 더 낮은 전압에서 더 빠르게 동작하게 함으로써, 스타트업 전압 발생기가 동작 가능한 입력전압( $V_{IN}$ )은 더 낮아지고, 커패시터  $C_2$ 의 전원전압( $V_{DD}$ )의 충전 시간은 단축된다. 그림 4는  $V_{IN}=250mV$ 에서 발생한 클럭 신호들의 시뮬레이션 파형이다. 두 클럭 신호 CLK와 CLKb는 32.9KHz 주기로 발생하고 있다. 그림 5는 스타트업 전압 발생기에서 커패시터  $C_2$ 의 전압  $V_{DD}$ 가 상승하는 시뮬레이션 파형이다.  $V_{IN}=250mV$ ,  $C_2=10nF$ 에서  $V_{DD}$  전압이 33ms에 520mV 까지 상승하였고, 최종적으로 550mV 까지 상승하였다.

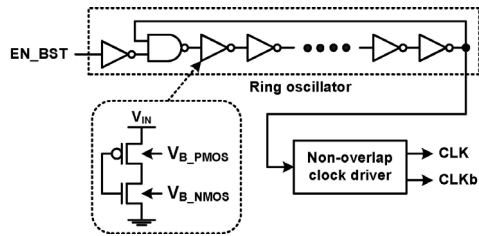


그림 3. 저전압 클럭 드라이버  
Fig. 3 Low-voltage clock driver

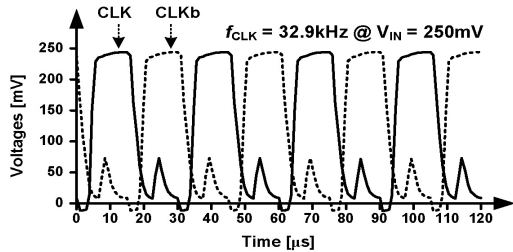


그림 4. 클럭 드라이버의 클럭 신호들의 시뮬레이션 파형  
Fig. 4 Simulated waveforms of the clock signals in clock driver

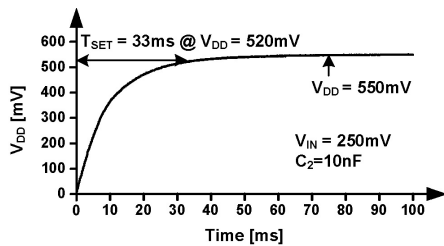


그림 5. 스타트업 전압 발생기의  $V_{DD}$ 의 시뮬레이션 파형  
Fig. 5 Simulated waveforms of  $V_{DD}$  in start-up voltage generator

그림 6은 바디전압 발생기 회로이고, 그림 7은  $V_{IN}$ 에 따른 바디전압( $V_{B\_PMOS}$ 와  $V_{B\_NMOS}$ )의 시뮬레이션 파형이다.  $V_{IN}$ 이 0.25V 보다 낮은 경우, PMOS 트랜지스터  $M_{P\_B}$ 와 NMOS 트랜지스터  $M_{N\_B}$ 이 켜지지 않도록 저항  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ 를 조절 하였다. 따라서, 클럭 드라이버의 PMOS와 NMOS 트랜지스터의 바디전압  $V_{B\_PMOS}$ 와  $V_{B\_NMOS}$ 가 0V와  $V_{IN}$ 이 된다. 트랜지스터의 바디에 포워드 바이어스 전압이 형성되어, 트랜지스터의 문턱전압을 낮추는 효과를 얻을 수 있다. 반대로,  $V_{IN}$ 이 0.7V 보다 높은 경우, 트랜지스터의 바디(body)와 소스(source) 사이에 포워드 바이어스 전압이 형성되면, 바디와 소스 사이의 형성된 PN 접합 다이오드가 켜져서 큰 누설 전류가 발생하게 된다. 따라서,  $V_{IN}$ 의 전압이 0.25V에서 증감함에 따라 트랜지스터  $M_{P\_B}$ 와  $M_{N\_B}$ 이 켜지도록 저항  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ 를 조절하여, 그림 7과 같이  $V_{B\_PMOS}$ 는 0V에서  $V_{IN}$ 로 변하고  $V_{B\_NMOS}$ 은  $V_{IN}$ 에서 0V로 변화하도록 하였다. 그림 7에서는 공정 파라미터 변화(TT, FF, FS, SF, SS)에서 트랜지스터의 바디와 소스의 전압 차이가 0.5V가 넘지 않도록 설계하였고, 트랜지스터  $M_{P\_B}$ 와  $M_{N\_B}$ 가 켜진 경우에도 100nA이하의 작은 전류가 흐르도록 저항 값을 조절하였다.

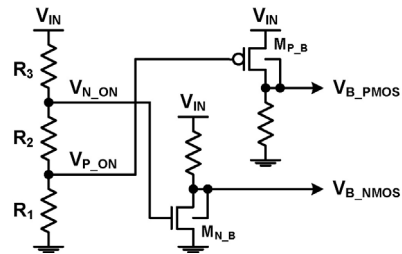


그림 6. 바디전압 발생기  
Fig. 6 Body-voltage generator

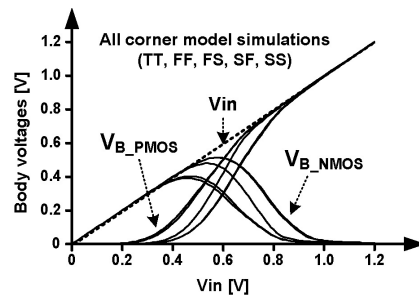


그림 7.  $V_{IN}$ 에 따른 바디전압  
Fig. 7 Body-voltages according to  $V_{IN}$

그림 8은 모드 제어기 회로이다. 그림 1(b)의 커패시터  $C_2$ 에 충전된 전원전압( $V_{DD}$ )이 부스트 컨버터를 시동시킬 수 있는 전압 이상으로 상승하면, EN\_BST 신호가 '1'이 되어 스타트업 전압 발생기의 동작은 멈추고 부스트 컨버터가 동작하기 시작한다. 저항  $R_4, R_5, R_6$ 의 크기를 조절하여 스타트업 전압 발생기가 생성하는  $V_{DD}$  전압 값을 조절할 수 있다. 저항 열에서 발생한  $V_{P,H}$ 와  $V_{P,L}$ 의 전압에 따라, EN 신호와 EN\_b 신호가 '1'이 되는  $V_{DD}$  전압이 다르게 된다. 그림 9는 모드 제어기에서  $V_{DD}$  변화에 따른 동작의 시뮬레이션 파형이다.  $V_{DD}$ 가 520mV 이상이 되면,  $V_{DD}$ 와  $V_{P,H}$ 의 전압차가 증가하여 트랜지스터  $M_{P,H}$ 가 켜지고 EN 신호는 '1'로 변한다. 이때, EN 신호는 SR-latch (set-reset latch)를 set 시켜 EN\_BST=1이 된다. 반대로,  $V_{DD}$ 가 450mV 이하가 되면,  $V_{DD}$ 와  $V_{P,L}$ 의 전압차가 감소하여 트랜지스터  $M_{P,L}$ 이 꺼지고 EN\_b 신호는 '0'으로 변한다. 이때, EN\_b 신호는 SR-latch를 reset 시켜 EN\_BST=0으로 돌아온다.

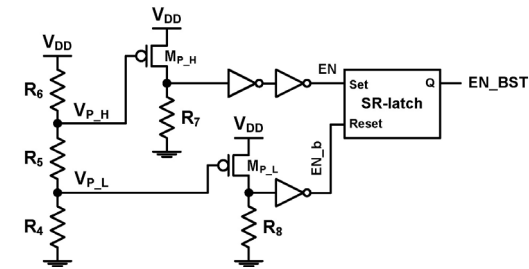


그림 8. 모드 제어기  
Fig. 8 Mode selector

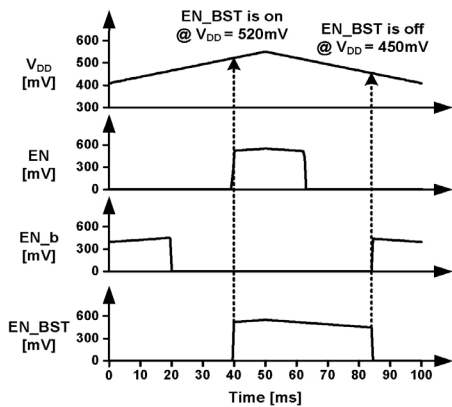


그림 9. 모드 제어기의 시뮬레이션 파형  
Fig. 9 Simulated waveforms of the mode selector

제한된 모드 제어기에서는  $V_{DD}$  전압이 520mV 이상일 때 부스트 컨버터를 동작시킨 후 450mV 이하로 떨어지기 전까지는 지속적으로 동작하도록, EN\_BST 신호가  $V_{DD}$  전압에 따른 히스테리시스(hysteresis)를 갖도록 설계하였다. 이런 히스테리시스가 필요한 이유는 부스트 컨버터가 동작하면서 커패시터  $C_2$ 에 저장된 전하를 소모하여  $V_{DD}$  전압이 감소하기 때문이다. 부스트 컨버터가 동작하여 그림 1(b)의 커패시터  $C_1$ 의  $V_{OUT}$ 의 전압이 상승하면 커패시터  $C_2$ 의  $V_{DD}$  전압도 다이오드  $D_2$ 를 통하여 함께 상승하게 된다.  $V_{OUT}$  전압으로부터 커패시터  $C_2$ 가 전류를 공급받기 전까지는 커패시터  $C_2$ 에 저장된 전하로 부스트 컨버터의 전원을 공급해야 한다. 따라서, 부스트 컨버터의 시동에 필요한 전하 용량을 고려하여 커패시터  $C_2$ 의 크기를 결정해야 한다. 본 논문에서는  $C_2=10nF$ 으로 구현하였다.

### III. 실험

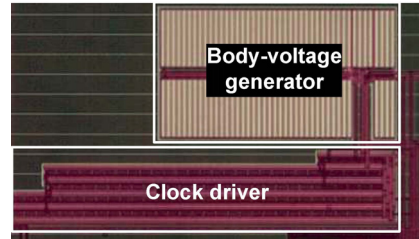


그림 10. 스타트업 전압 발생기의 칩 사진  
Fig. 10 Microphotograph of the start-up voltage generator chip

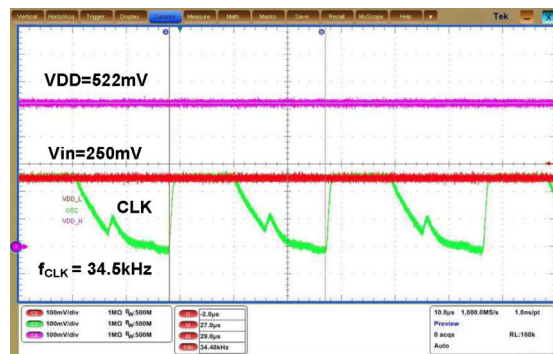


그림 11. 스타트업 전압 발생기 칩의 측정된 파형  
Fig. 11 Measured waveforms of the start-up voltage generator chip

제안된 스타트업 전압 발생기는 0.18 $\mu$ m CMOS 공정으로 제작되었다. 그림 10과 11은 칩 사진과 측정된 파형이다. 표 1에는 제작된 스타트업 전압 발생기 칩 성능을 요약하였다.  $V_{IN}=250$ mV 일 때, 클럭 주파수( $f_{CLK}$ )는 34.5kHz 였고, 출력전압( $V_{DD}$ )은 522mV 였다. 제작된 칩의 소모 전력은  $V_{IN}=250$ mV에서 2.45 $\mu$ W 였고, 면적은 16,766 $\mu$ m<sup>2</sup>이다.

표 1. 스타트업 전압 발생기 칩의 성능 요약

Table. 1 Features of the start-up voltage generator chip

공정	0.18 $\mu$ m CMOS process
딕슨 차지펌프 구성	$V_T=200$ mV 쇼트키 다이오드 5개 100pF 차지펌프 커패시터 4개 $V_{DD}$ 용 10nF 커패시터 ( $C_2$ ) 1개
출력전압	$V_{DD}=522$ mV @ $V_{IN}=250$ mV
클럭 주파수	$f_{CLK}=34.5$ KHz @ $V_{IN}=250$ mV
칩 소모 전력	2.45 $\mu$ W @ $V_{IN}=250$ mV
칩 면적	16,766 $\mu$ m <sup>2</sup>

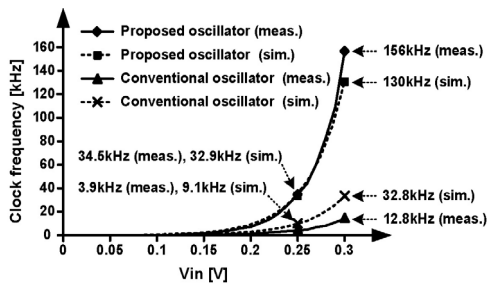


그림 12.  $V_{IN}$ 에 따른 클럭 주파수

Fig. 12 Clock frequencies according to  $V_{IN}$

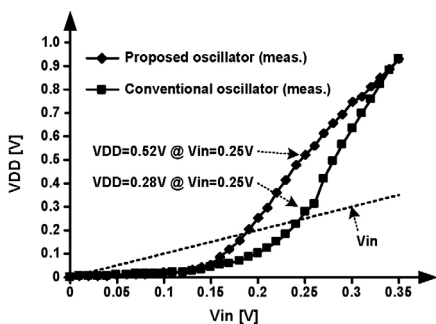


그림 13.  $V_{IN}$ 에 따른 출력전압 ( $V_{DD}$ )

Fig. 13 Output voltage ( $V_{DD}$ ) according to  $V_{IN}$

그림 12는  $V_{IN}$ 에 따른 클럭 주파수의 시뮬레이션 및 측정 결과이다. 바디전압을 조절하지 않는 기존의 오실레이터(conventional oscillator)를 사용한 경우, 측정된 주파수는  $V_{IN}=250$ mV에서 3.9kHz 였다. 그러나, 제안된 오실레이터(proposed oscillator)를 사용한 경우, 측정된 주파수는  $V_{IN}=250$ mV에서 34.5kHz로 8.8배 성능이 향상 되었다. 그림 13은  $V_{IN}$ 에 따른 출력전압( $V_{DD}$ )의 측정 결과이다. 기존의 오실레이터를 사용한 경우  $V_{IN}=0.25$ V에서 측정된 출력전압은 0.28V 였지만, 제안된 오실레이터를 사용한 경우 측정된 출력전압은 0.52V로 증가하였다.

표 2는 스타트업 기법을 적용한 부스트 컨버터들과의 비교 결과이다. [1]와 [2]는 각각 초기 동작을 위해 0.65V 배터리와 기계적 진동 스위치가 필요하여 일반적인 사용하기는 어려운 단점이 있다. [3]은 SOI 공정, [4]는 대용량 인덕터들, [5]는 트랜스포머가 필요하기 때문에, 비용을 크게 증가시키는 단점을 가지고 있다. 제안된 스타트업 전압 발생기도 딕슨차지펌프 구성을 위한 외부 쇼트키 다이오드와 커패시터를 사용하여 추가적인 면적과 비용이 필요하지만, 대용량 인덕터와 트랜스포머에 비하여 작은 면적과 비용으로 구현 가능하다. 또한, 쇼트키 공정에서는 딕슨차지펌프를 칩 내부에서 구현할 수 있게 되어, 칩 외부의 추가적인 면적과 비용이 필요하지 않게 된다. [6]와 [7]는 표준 CMOS 공정으로 구현 가능하지만, 에너지 하베스팅(energy harvesting) 기술을 이용한 전원 공급 장치에 사용하기에는 최소 입력전압이 1V와 0.55V로 높은 단점이 있다. 그러나, 제안된 스타트업 전압 발생기를 이용하면, 기존 부스트 컨버터의 입력전압을 0.25V까지 낮출 수 있다.

표 2. 스타트업 기법을 적용한 부스트 컨버터 비교

Table. 2 Comparison of Boost converters applying startup mechanism

참고 문헌	공정	최소 입력전압	출력 전압	단점
[1]	0.13 $\mu$ m CMOS	0.02V	1V	외부 전원 배터리
[2]	0.13 $\mu$ m CMOS	0.02V	1.8V	기계적 진동 스위치
[3]	0.13 $\mu$ m SOI BCD	0.36V	3.6V	SOI 공정
[4]	0.18 $\mu$ m CMOS	0.2V	1.2V	33 $\mu$ H 인덕터 2개
[5]	0.13 $\mu$ m CMOS	0.04V	2V	트랜스포머
[6]	0.6 $\mu$ m CMOS	1V	1.5V	-
[7]	0.35 $\mu$ m CMOS	0.55V	1.32V	-
This work	0.18 $\mu$ m CMOS	0.25V	0.52V	외부 딕슨차지펌프

## IV. 결 론

본 논문에서는 DC-DC 부스트 컨버터의 최소 입력전압을 250mV 까지 낮출 수 있도록 하는 저전압 스타트업 전압 발생기를 제안 하였다. 제안된 스타트업 전압 발생기는 250mV의 입력전압을 500mV 이상으로 승압시켜 커패시터에 충전한 후, 커패시터에 저장된 전압으로 부스트 컨버터를 시동시킴으로써, 250mV의 낮은 입력 전압에서도 부스트 컨버터가 동작을 시작할 수 있도록 하였다. 낮은 입력전압에서 트랜지스터의 바디전압을 조절하여 트랜지스터의 문턱전압을 낮춤으로써, 입력전압을 승압시키는 디스 차지펌프에 높은 클럭 주파수와 큰 전류를 공급하도록 하였다. 제안된 스타트업 전압 발생기는 0.18 $\mu$ m CMOS 공정으로 제작되었으며, 250mV의 입력전압에서 생성된 클럭 주파수와 출력전압은 각각 34.5kHz와 522mV 였다.

### 감사의 글

이 논문은 2012년도 충북대학교 학술연구지원 사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

본 칩의 제작은 IDEC (IC Design Education Center)에 의해 지원되었습니다.

## REFERENCES

- [1] E. J. Carlson, K. Strunz and B. P. Otis, "A 20mV input boost converter with efficient digital control for thermoelectric energy harvesting," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 45, no. 4, pp. 741-750, Apr. 2010.
- [2] Y. K. Ramadass and A. P. Chandrakasan, "Batteryless Thermoelectric Energy-Harvesting Interface Circuit with 35mV Startup Voltage," *IEEE ISSCC Dig. Tech. Papers*, pp. 486-487, Feb. 2010.
- [3] S. Matsumoto, T. Shodai, and Y. Kanai, "A Novel Strategy of a Control IC for Boost Converter with Ultra Low Voltage Input and Maximum Power Point Tracking for Single Solar Cell Application," *International Symposium on Power Semiconductor Devices & IC*, pp. 180-183, June 2009.
- [4] A. Richelli, L. Colalongo, S. Tonoli, Z. M. Kovacs-Vajna, "A 0.2-1.2V DC/DC Boost Converter for Power Harvesting Applications," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 24, no. 6, pp. 1541-1546, June 2009.
- [5] J.P. Im, S.W. Wang, K.H. Lee, Y.J. Woo, Y.S. Yuk, et al., "A 40mV transformer-reuse self-startup boost converter with MPPT control for thermoelectric energy harvesting," *IEEE International Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers (ISSCC)*, 2012, pp. 104-106, 19-23 Feb. 2012.
- [6] C. Y. Leung, P. K. T. Mok, and K. N. Leung, "1-V Integrated Current-Mode Boost Converter in Standard 3.3/5-V CMOS technologies," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 40, no. 11, pp. 2265-2274, Nov. 2005.
- [7] Y.M Sun and X.B. Wu, "Subthreshold voltage startup module for stepup DC-DC converter," *Electronics Letters*, vol. 46, no. 5, pp. 373-374, Mar. 2010.



양병도(Byung-Do Yang)

1999년 한국과학기술원 전자전산학과 전기및전자공학전공 학사 졸업  
 2001년 한국과학기술원 전자전산학과 전기및전자공학전공 석사 졸업  
 2005년 한국과학기술원 전자전산학과 전기및전자공학전공 박사 졸업  
 2005년 ~ 2006년 삼성전자 반도체 사업부 책임 연구원  
 2006년 ~ 2007년 충북대학교 전자공학부 전임강사  
 2008년 ~ 2011년 충북대학교 전자공학부 조교수  
 2012년 ~ 현재 충북대학교 전자공학부 부교수

※관심분야 : 아날로그 IC 설계, 전력변환 IC 설계 메모리 설계