

단일 연료전지 셀을 위한 저입력 전압 승압 컨버터의 설계

임 정 규, 박 진 주, 정 세 교
경상대학교 제어계측공학과

Design of Low-Input-Voltage Step-Up Converter for Single Fuel Cell

Jeong-Gyu Lim, Jin-ju Park, Se-Kyo Chung
Dept. of Control and Instrumentation Engineering, Gyeongsang National University

ABSTRACT

This paper presents the design of a low-input-voltage step-up converter. Such circuits can be useful for single fuel cell to generate less than 0.7V. Important issues to design it are physical volume, efficiency and start-up method. In this paper, we propose a step-up converter with a simple start-up circuit. The operation of proposed circuit is presented and the experimental results are provided to verify the feasibility of the proposed technique.

1. 서 론

생체 에너지를 이용한 단일 연료전지 셀의 경우 그림 1의 V-I 특성곡선에 나타난 바와 같이 출력 전압은 0.7V 이하이며 mW-μW의 매우 낮은 전력을 발생시킨다. 이러한 저전압, 저전력의 에너지원을 이용하기 위해서는 출력을 승압시킬 수 있는 적절한 전력변환장치가 요구된다.

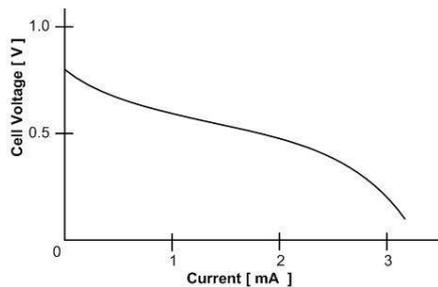


그림 1. 단일 연료전지 셀의 V-I 특성
Fig. 1. V-I characteristic of a single biological fuel cell

대부분의 반도체 스위치 소자는 0.7[V] 이하의 저 전압에서는 구동이 불가능하다. 따라서 낮은 입력을 갖는 승압 컨버터의 정상 동작을 위한 반도체 스위치의 게이트 인가 전압과 제어용 전원은 입력에 비해 높은 전압을 갖는 출력단 전압을 사용해야 한다.^{[1][2]} 그리고 초기 구동 시 전력을 공급할 수 있는 별도의 회로가 요구된다. 이러한 장치가 심장 박동기 등과 같은 인체 이식용으로 사용될 경우 체적을 최소화 할 수 있게 설계되어야 하며, 발생하는 전력 또한 매우 낮으므로 회로 손실을 최소화하여야 한다.

본 논문에서는 단일 연료전지 셀의 낮은 출력 전압을 승압하기 위한 컨버터 회로의 설계에 대해 기술하였다. 제안하는 회로의 동작과 특성에 대해 분석하였으며, 설계 방법을 제시하였다.

그리고 실제 제작된 회로를 통하여 타당성을 검증하였다.

2. 저입력 전압 승압 컨버터

2.1 회로 구성

저입력 전압 승압 컨버터의 회로 구성은 그림 2에 나타난 바와 같으며, 입력 전압을 승압시키기 위한 동기 승압 컨버터와 Start-up 회로로 구성되어 있다. 회로의 초기 동작을 위한 Start-up 회로는 초기 구동에 필요한 에너지 저장을 위한 인덕터 L_{start} 와 전류 제한을 위한 저항 R_{start} 그리고 다이오드 D_{start} 와 스위치 S_{start} 로 구성되어 있다.

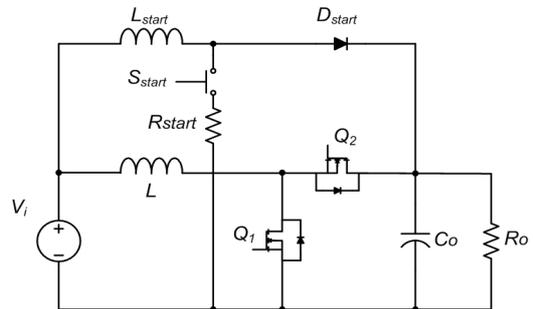


그림 2. 저입력 전압 승압 컨버터 회로 구성
Fig. 1. Configuration of low-input-voltage step-up converter

2.2 Start-up 회로

대부분의 반도체 스위치 소자와 제어 회로는 0.5[V]의 낮은 전압에서 구동이 불가능하다. 따라서 낮은 입력을 갖는 승압 회로는 회로를 동작시키기 위한 전원을 입력이 아닌 높은 전압을 갖는 출력측을 사용해야 한다. 그러나 출력 전압을 이용하기 위해서는 초기 출력을 회로 구동에 필요한 전압까지 상승시키기 위한 회로가 요구된다. 그림 1의 상단 회로는 초기 구동을 위한 Start-up 회로를 나타내고 있으며, 회로의 동작은 스위치 S_{start} 의 ON/OFF 상태에 따라 다음과 같이 이루어진다.

스위치 S_{start} 가 ON상태가 되면 인덕터 L_{start} 에 에너지가 저장되며 이때 전류는 저항 R_{start} 에 의해 제한된다. 스위치 S_{start} 는 인덕터 L_{start} 에 에너지가 충분히 저장될 수 있는 시간동안 켜져 있어야 하며, 저장되는 에너지는 다음식과 같다.

$$W = \frac{1}{2} L_{start} \left(\frac{V_i}{R_{start}} \right)^2$$

(1)

스위치 S_{start} 가 개방상태가 되면 저항 R_{start} 로 흐르던 전류는 다이오드 D_{start} 를 통해 커패시터를 충전시키게 되며, 이때 생성된 전압을 이용하여 승압 컨버터 회로의 초기 동작이 이루어진다.

2.3 파라미터 선정

Start-up 회로와 관련된 파라미터는 L_{start} 와 R_{start} 이며, 이러한 파라미터는 승압 컨버터의 동작에 영향을 미치지 않는다. L_{start} 는 앞서 언급하였듯이 초기 구동을 위한 에너지를 저장하는 역할을 한다. 승압 컨버터의 동작을 위해 사용된 L 을 Start-up 회로에 이용할 수 있으나 인덕터 용량의 증가로 인해 회로의 체적이 커지게 된다. S_{start} 와 L_{start} 는 이 회로가 적용된 응용 시스템의 외부 스위치와 함께 구성될 수 있으므로 실제 회로의 체적에 영향을 없을 것이다. 에너지 손실이 없다고 가정한다면 인덕터 L_{start} 에 저장된 에너지는 출력 커패시터로 모두 전달될 것이다. 따라서 R_{start} 의 값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{start} = \sqrt{\frac{L}{C}} \frac{V_i}{V_o} \quad (2)$$

실제 회로에서 입력 전력이 매우 낮을 경우 이 값은 인덕터의 등가저항과 회로 패턴의 등가저항 등으로 대체될 수 있다.

3. 실험결과

그림 3은 제작된 Start-up회로를 갖는 저입력 승압 컨버터를 나타내고 있다. 단일 연료전지 셀의 낮은 입력으로부터 승압된 전압을 이용하여 배터리에 충전하는 회로 구성이며, 그림 1의 연료전지 특성은 시뮬레이터를 이용하여 구현하였다. 승압 컨버터의 제어를 위해 사용된 칩은 Linear사의 LTC3526L를 사용하였으며, 실험 파라미터는 표 1에 나타내었다.

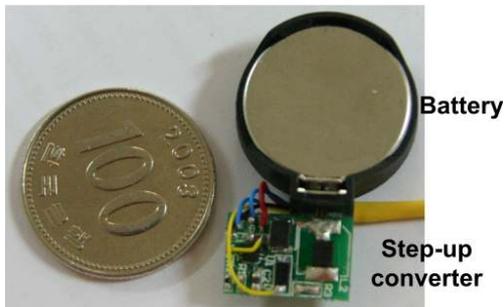


그림 3. 제작된 저입력 전압 승압 컨버터
Fig. 3. Photograph of low-input step-up converter

표 1 실험 파라미터
Table 1 Experimental parameters

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input voltage	V_i	0.5	V
Output voltage	V_o	2	V
Power	-	10	mW
Inductance	L	4.7	μH
Output capacitance	C_o	2.2	μF
Start-up resistance	R_{start}	0.5	Ω
Start-up inductance	L_{start}	10	μH

그림 4는 승압 컨버터의 초기 구동 시 출력 전압과 전류 파형을 나타낸다. 스위치 S_{start} 가 닫혔을 때 모든 입력은 L_{start} 와

R_{start} 로 흐르므로 출력 전압과 전류는 0이다. 스위치 S_{start} 가 열렸을 때 LTC3526L 칩 내부에 설정된 약 500us의 Soft-starting 시간을 거쳐 정상 출력 전압 2V를 나타내고 있다. 초기 구동을 위해 스위치가 닫혀있어야 하는 최소 시간은 L_{start} 와 R_{start} 시정수의 3~4배 시간으로 설정하였다. 그림 5는 승압 컨버터의 정상 상태의 출력 전압과 전류 그리고 스위치 Q1의 양 단전압을 나타내고 있다.

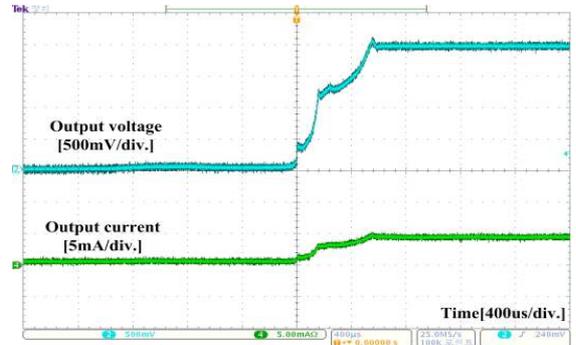


그림 4. 초기 구동 시 출력 전압과 전류
Fig. 4. Output voltage and current at start-up mode

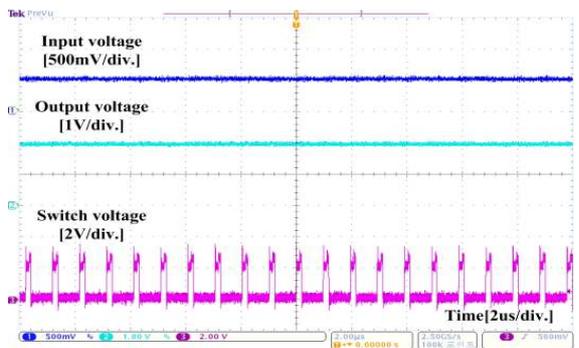


그림 5. 정상상태 출력 전압과 전류
Fig. 5. Output voltage and current at steady-state

4. 결론

본 논문에서는 단일 연료전지 셀을 위한 저입력 전압 승압 컨버터의 설계에 관해 기술하였다. 회로의 초기 구동을 위해 Start-up회로를 제안하였으며, 파라미터 설계 방법을 제시하였다. Start-up회로에 사용된 스위치와 인덕터는 응용회로의 외부 스위치와 구성될 수 있으므로 회로의 체적을 증가시키지 않는다. 실제 회로의 제작을 통해 실험을 수행하였으며, 실험 결과는 그 타당성을 보여준다.

This work was supported by Pioneer Research Center for Nano-morphic Biological Energy Conversion and Storage.

참고 문헌

- [1] J. W. Kimball, T. L. Flowers, P. L. Chapman, "Issues with Low-Input-Voltage Boost Converter Design", *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 2004, vol. 3, pp. 2152-2156.
- [2] Ngok-Man Sze, Wing-Hung Ki, Chi-Ying Tsui, "Threshold voltage start-up boost converter for sub-mA applications", *IEEE DELTA 4th International Symposium on*, 2008, pp. 338-341.