

DC - DC 컨버터 구동을 위한 강인제어기 설계

김태우*, 김민찬*, 윤성식*, 김현우*, 김태규* 안호균*
 창원대학교 전기공학과*

Design of Robust Controller for DC to DC Converter

Tae-Woo Kim*, Min-Chan Kim*, Seong-Sik Yoon*, Hyeon-Woo Kim*, Tae-Kyu Kim*, Ho-Kyun Ahn*
 Department of Electrical Engineering, Changwon National University*

Abstract - This paper presents a sliding mode control method for step up DC-DC converter. For high performance control of converter, it requires the robustness between the input current and the output voltage. As a result, in spite of disturbance and parameter uncertainty, the proposed controller has the robustness to control the output voltage.

1. 서 론

승압형 DC-DC 컨버터는 입력전압보다 높은 전압을 출력하는 전원을 말한다. 이러한 승압형 컨버터는 주로 AC전원에서 DC 전원을 얻을 시 발생하는 백동전류를 보상하는 역률보상회로(PFC)회로에 응용하거나, 12V 또는 5V의 버스 전원에서 아날로그 회로용 전원의 필요시나 1.2V에서 1.5V사이의 건전지 1개에서 3.3V나 5V의 출력 전원을 얻는 곳에 사용되어진다.

위의 사실에서 전원 공급 시 그 특성을 좌우하는 중요한 고려 사항은 외란에 강한 일정한 전압을 공급하는 것이다.

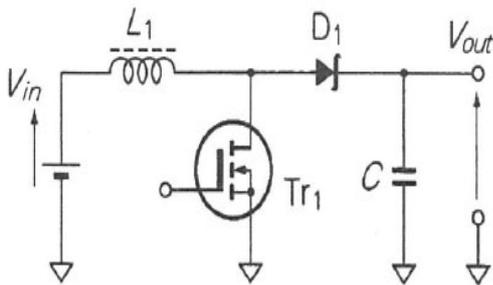
일반적으로 외란에 강한 강인제어기 중 하나인 슬라이딩모드제어 이론은 불확실성을 포함하는 계에 대한 우수한 강인성과 제어계 설계의 간편함으로 비선형 강인제어 설계 기법이다[1]. 이러한 슬라이딩 모드 제어기를 이용하여 파라미터 불확실성이 존재하는 DC-DC 컨버터에 적용하면 파라미터 변동과는 관계없이 안정한 전원 공급이 가능해진다.

그러므로 본 논문에서는 파라미터 불확실성을 갖는 승압형 컨버터에 슬라이딩 모드 제어기를 적용하여 컴퓨터 시뮬레이션과 실험 결과를 통해 그 성능과 유효함을 입증 하고자 한다.

2. 승압형 컨버터의 문제 설정과 모델링

2.1 승압형 컨버터의 개요

본 논문에서 고려된 승압형 컨버터는 다음 그림과 같다.



〈그림 1〉 승압형 컨버터 회로도

승압형 컨버터는 주 스위치 통동일 때 인덕터 전류에 의해서 인덕터에 에너지가 축적되고 다이오드는 차단된다. 이 때 출력 측에서는 출력 필터인 캐패시터 전하가 부하저항을 통하여 방전되는 것이다. 다음 주 스위치 차단 시에 인덕터에 저장되었던 에너지는 환류 다이오드를 통해 출력측으로 방출된다. 이러한 모드별 동작을 통해 다음과 같은 입력전압과 출력 전압의 관계식을 유도할 수 있다.

$$V_{out} = \frac{1}{1-D} V_{in} \quad (1)$$

식(1)에서 듀티 $D(0 \leq D \leq 1)$ 에 따라 입력전압보다 높은 전압이 출력 전압으로 나온다.

하지만 컨버터의 출력전압이 듀티에 의존하지만 이 값을 피드백 받아 제어를 해 주어야지만 원하는 출력값을 정확히 유지할 수 있다. 또한 외부 환경에 의해서 컨버터에 존재하게 되는 외란과 불확실성을 최소화하는 방법도 제시되어야 한다.

2.2 승압형 컨버터 모델링

승압형 컨버터의 상태방정식을 외란과 파라미터 불확실성을 고려하면 식 2와 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -(1-u)\frac{1}{L}x_2 + \frac{E+w}{L} \\ \dot{x}_2 &= (1-u)\frac{1}{C}x_1 - \frac{1}{(R+\Delta R)C}x_2 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 x_1 과 x_2 는 각각 인덕터 입력 전류와 커패시터 출력 전압이다. w 값은 외란값이며, ΔR 은 파라미터 불확실성에 관한 값이다.

위의 식에서 승압형 컨버터는 외란과 파라미터 변화에 대해 영향을 받는다. 그러므로 본 논문에서는 외란과 파라미터의 영향을 최소화 할 수 있는 강인제어 설계기법 중 하나인 슬라이딩 모드 제어를 도입한다.

3. 슬라이딩 모드 제어

3.1 전형적인 슬라이딩 모드 제어

n 차 시스템에 대하여 전형적인 슬라이딩 평면은 다음과 같이 정의된다.

$$s(x) = c_n x_n(t) + c_{n-1} x_{n-1}(t) + \dots + c_2 x_2(t) + c_1 x_1(t) \quad (3)$$

여기서 $C = [c_1 \ c_2 \ \dots \ c_n]$, $X = [x_1(t) \ x_2(t) \ \dots \ x_n(t)]^T$ 이며 C 는 슬라이딩 모드의 동특성이 안정되도록 선정되어야 한다.

시스템의 상태들이 슬라이딩 평면에 머물러 있으려면 다음과 같은 도달 조건을 만족해야 한다.

$$s(x)\dot{s}(x) < 0 \quad (4)$$

식(11)을 만족하는 제어입력을 설계하면 외란과 파라미터 불확실성을 최소화 할 수 있다[2].

3.2 승압형 컨버터에 슬라이딩모드 제어를 적용

승압형 컨버터에서 전류 동작루프가 출력동작의 동작루프보다 빠르기 때문에 내부 전류 루프와 외부 전압 루프 종속제어를 통해 제어가능하다.

전류지령값 x_1^* 의 경우 외부 전압루프를 통해 다음과 같이 구해진다.

$$x_1^* = V_d^2 / RE \quad (5)$$

여기서 V_d 는 커패시터 전압 지령값이다.

슬라이딩 평면은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} s &= x_1 - x_1^* \\ s &= x_1 - V_d^2 / RE \end{aligned} \quad (6)$$

전류 값이 전류 지령치를 추종하고 식(4)를 만족하는 슬라이딩 모드 제어입력은 다음과 같이 설계된다.

$$u = \frac{1}{2}(1 - \text{sign}(s)) \quad (7)$$

위의 사실로부터 승압형 컨버터 시스템을 슬라이딩 제어를 통한 입력으로 구동하게 되면 외란과 파라미터 불확실성이 존재하더라도 강인한 출력전압을 얻을 수 있다[3].

4. 컴퓨터 시뮬레이션

본 논문에서 설계된 승압형 컨버터의 성능과 유효성을 검증하기 위한 승압형 컨버터의 설계사양은 다음과 같다.

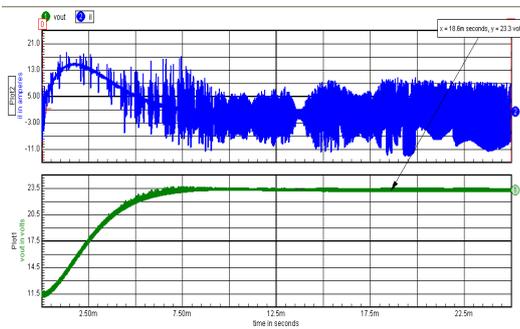
〈표 1〉 설계사양

입력전압	12V
출력전압	24V
스위칭 주파수	20kHz
출력 전압 리플	24mV

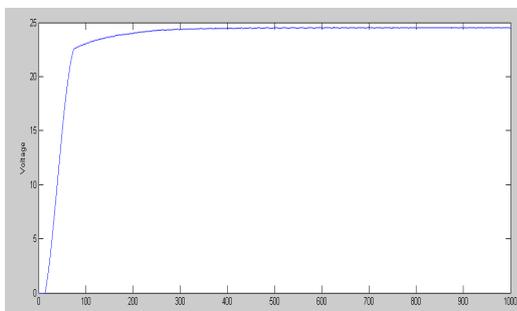
또한 승압형 컨버터 설계 방법에 따라 인덕터 값과 커패시터 주 스위치와 환류다이오드를 각각 선정한다[4].

컴퓨터 시뮬레이션의 결과는 다음과 같다. 그림 2는 입력전압에서 두배의 출력전압을 얻기 위해 듀티를 50%로 준 경우의 출력파형이다

이 결과는 특별한 제어방식을 사용하지 않고 온 듀티만을 주어 특성을 살펴 본 것으로 부하변동 시 출력이 변동을 가지는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 3은 슬라이딩 모드 제어기를 적용한 출력전압 파형이다. 그림에서 보듯이 외란과 불확실성이 존재하더라도 기준값을 만족하는 안정한 출력파형이 나오는 것을 알 수 있다.



〈그림 2〉 입력전류와 출력전압 파형



〈그림 3〉 시뮬레이션 결과파형

5. 실험 및 고찰

설계에 이용된 컨버터에 필요한 소자들은 테스트를 거쳐 PCB로 제작한 뒤 전체 시스템을 구성하였다.

또한 상용전원을 이용하여 공급 전원 12V 와 5V를 시스템에 공급하기 위해 별도의 파워 서플라이 소자를 구성하였고, 특별한 제어모드를 이용하지 않고 가변저항을 이용하여 듀티를 조절하는 모드와 원하는 전압을 슬라이딩 모드 제어 기법을 이용하여 출력하는 모드 두 가지로 동작하도록 하였다.

실제 시스템 구성 결과 출력 파형이 ATmega에서 슬라이딩 모드 적용 시 제어 루프 속도를 높게 하지 못해 리플이 많이 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 이 결과는 컴퓨터 시뮬레이션에서도 스위칭 주파수와 낮으면 같은 특성을 보이는 것으로 스위칭 제어 루프 속도만 높일 수 있다면 해결할 수 있는 문제로 보여 대체로 좋은 특성을 얻을 수 있다. 그리고 외란에 대한 강인성은 사용된 전류제어에서 전류값 자체가 설정 시 파라미터 값에 영향을 받아 고려되기 힘들지만 일단 슬라이딩 모드로 동작 후에 파라미터 변동에 관해서는 강인한 특성을 가지는 것

을 확인할 수 있다.

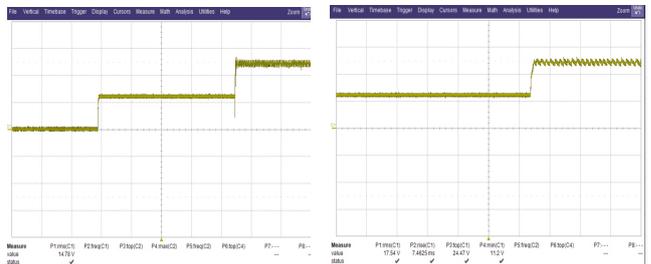
이상의 조건으로 제작된 승압형 컨버터 시스템은 다음 그림과 같다.



〈그림 4〉 제작된 승압형 컨버터 시스템

시스템을 구동시킨 후 컨버터를 동작시키지 않는다면 주 스위치를 오프 상태로 두면 입력전압이 출력전압으로 나타나게 된다.

또한 가변저항을 이용하여 듀티를 조절하여 출력을 조정하는 모드와 실제 슬라이딩 모드를 적용한 모드를 이용 할 수 있도록 시스템을 구성한 후 그 결과파형은 그림 5와 같이 원하는 출력전압을 얻을 수 있다.



〈그림 5〉 컨버터 출력 전압파형

초기 입력 전압을 인가하게 되면 12V의 입력전압을 가지고 있게 되고, 제어 모드를 실행시키면 전압이 24V로 상승한다. 그림 5에 시뮬레이션 결과 파형과 실제 컨버터 특성은 대체로 비슷한 특성을 보이는 것으로 확인된다.

슬라이딩 모드를 적용한 결과 빠른 응답특성(스위칭 속도가 빠를 시)을 보이는 것과 강인한 특성을 확인할 수 있었으며 안정상태가 되기 전 전류값이 불안정한 것도 확인할 수 있었다 그리고 계속적인 입력스위칭 상태가 변하여 이것이 스위치 속도가 느릴 경우 리플을 발생하는 것을 실험을 통해 확인 할 수 있었다.

6. 결 론

승압형 컨버터를 제어할 때 성능을 좌우하는 것이 안정된 출력전압을 얻는 것이다. 하지만 외란이나 파라미터 불확실성이 존재하면 이를 얻는 것이 쉽지 않다. 그러므로 본 논문에서는 슬라이딩 모드 제어기법을 이용하여 외란이나 파라미터 불확실성에 강인한 출력전압을 얻을 수 있게 한다. 또한 제안된 제어기법의 성능과 유효성을 검토하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 시행하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] V. I. Utkin, Sliding modes and their application in variavle structure systems, Moscow, Mir Publishers, 1978.
- [2] Roh, Y. and J. Oh, "Sliding mode control with uncertainty input-delay systems", Proc. ACC, pp. 636~640,2000.
- [3] Escobar, G. Ortega, R. Sira-Ramirez, H. Vilain,J.-P. Zein, I. "An experimental comparison of several nonlinear controllers for powerconverters" IEEE on Control Systems. Vol.19,no.1, pp.66~82, 1999
- [4] 김희준, "스위칭 전원의 기본설계", pp36~39, 2002