

3상 승압형 정류기에서 과도상태 응답특성의 향상을 위한 슬라이딩 모드 제어기

김주혜, 주성탁, 최대근, 이교범
아주대학교

A Sliding-Mode Controller for Enhancement of Fast Dynamic Characteristic in Three-Phase Boost Rectifiers

Ju hye Kim, Sung Tak Jou, Dae Keun Choi, and Kyo Beum Lee
Ajou University

ABSTRACT

본 논문에서는 3상 승압형 정류기를 위한 슬라이딩모드 기반의 센서리스 직접전력제어방법을 제안한다. 공간벡터변조방식을 이용한 직접전력제어기법은 히스테리시스 제어기를 사용한 방법에 비해 스위칭 주파수가 일정하게 유지되어 시스템 안정성은 향상되지만, 응답속도가 떨어지는 단점이 있다. 제안하는 방법은 센서리스 기법을 이용하여 전압 센서를 제거하였고, 슬라이딩모드 제어기를 이용하여 시스템의 응답속도를 개선하였다. 3상 승압형 정류기의 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 제어기법의 타당성을 검증한다

1. 서 론

최근 계통의 3상 전원으로부터 직류출력을 얻거나 태양광, 풍력발전인 신재생 에너지의 발전전원을 전력계통에 연계하기 위해 3상 승압형 정류기가 폭넓게 이용되고 있다^[1].

일반적으로 히스테리시스 제어를 이용한 직접전력제어는 빠른 응답속도를 갖는 장점을 가지고 있지만, 스위칭 주파수의 변동 현상으로 불안정하다는 문제점도 가지고 있다. 따라서 이 문제점을 보완하기 위해서 공간벡터변조(SVM) 방법을 함께 사용한다. 공간벡터변조(SVM) 방법은 유효전력과 무효전력의 응답속도를 저하시키는 단점이 있기 때문에 이를 보완하기 위해서 슬라이딩모드 제어방식을 적용한다. 본 논문에서는 전압 센서를 사용하지 않고 제어가 가능한 직접전력제어 방법을 제안한다. 제안된 알고리즘은 3상 승압형 정류기에서의 시뮬레이션을 통해 그 우수성과 타당성을 검증한다.

2. 센서리스 제어의 성능개선 및 슬라이딩모드 제어기의 설계

그림 1은 3상 승압형 정류기의 제어 시스템을 보여준다. 계통의 3상의 전압을 직류단 전압으로 변환하게 하는 전력변환기로 구성되어 있으며, 추정된 자속과 전류를 이용해서 유효전력과 무효전력을 추정할 수 있게 된다. 각각의 전력을 슬라이딩 모드 제어기를 통해 제어하고 그 출력으로 나온 지령전압을 통해 공간벡터변조(SVM) 방법으로 스위칭 한다.

2.1 센서리스 전압

전압 센서를 받지 않고 전압을 추정하는 방법에는 식 (1)과

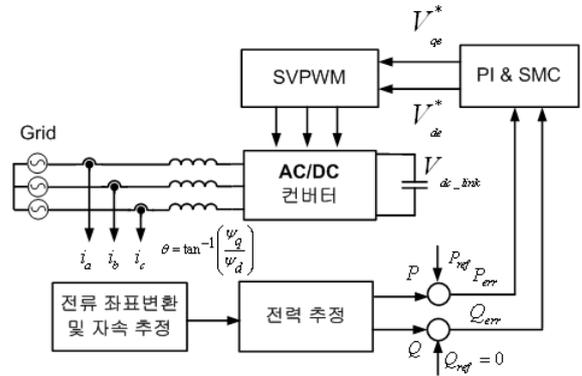


그림 1 3상 승압형 정류기의 제어블록도

Fig. 1 The control block of three-phase boost rectifier

같은 전압 방정식을 이용한다.

$$E_s = L \frac{di_s}{dt} + V_s \quad (1)$$

V_s 는 출력전압, i_s 는 정지좌표계의 d, q축 전류를 나타낸다.

출력전압은 직접전력제어의 출력으로 나오는 전압 지령으로 얻을 수 있다. 전압은 전류의 미분 값과 출력 전압의 합으로 되어 있다.

2.2 전력추정

전압과 자속과의 관계를 고려하여 식 (2)와 같이 자속을 구할 수 있다.

$$\lambda_s = \int E_s dt \quad (2)$$

전력을 계산하기 위해 필요한 전류를 만들기 위해서 d, q축 전류 변환 식을 적용하며 그 방법은 식 (3)과 같다^[2].

$$\begin{aligned} i_{ds} &= \frac{\sqrt{6}}{3} i_a - \frac{\sqrt{6}}{6} i_b - \frac{\sqrt{6}}{6} i_c \\ i_{qs} &= \frac{\sqrt{2}}{2} i_b - \frac{\sqrt{2}}{2} i_c \end{aligned} \quad (3)$$

추정하는 유효전력과 무효전력을 자속과 전류 표현으로 간략화 할 수 있다.

$$P = \omega (\lambda_{df} i_{qs} - \lambda_{qf} i_{ds})$$

$$Q = \omega (\lambda_{df} i_{ds} + \lambda_{qf} i_{qs})$$
(4)

2.3 슬라이딩모드 제어기

슬라이딩 평면은 다음 식 (5)와 같이 라플라스 변환식으로 표현할 수 있다^[3].

$$S_{P_s} = e_{P_s} + k_a s e_{P_s}$$

$$S_{Q_s} = e_{Q_s} + k_b s e_{Q_s}$$
(5)

여기서 $e_{P_s} = P_s^* - P_s$, $e_{Q_s} = Q_s^* - Q_s$ 이며, $k_{a,b}$ 는 슬라이딩 평면 상수이다. 슬라이딩모드를 이용한 제어입력을 가지고 다음과 같이 전압지령을 결정할 수 있다.

$$V_{qe} = (K_{Pq} + \frac{K_{Iq}}{s}) \{e_{P_s} + K_{VSP} \text{sgn}(e_{P_s} S_{P_s})\}$$

$$V_{de} = (K_{Pd} + \frac{K_{Id}}{s}) \{e_{Q_s} + K_{VSQ} \text{sgn}(e_{Q_s} S_{Q_s})\}$$
(6)

여기서 K_{VSP} , K_{VSQ} 는 가변구조제어의 이득을 나타내며, 속성을 향상시키기 위해 함수에 오차 값을 곱해서 제어입력을 결정한다. 시스템의 안정한 이득값을 결정하기 위해서 Lyapunov 함수를 사용한다.

4. 시뮬레이션 및 결과

제안된 알고리즘을 검증하기 위해 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 The parameters of simulation

파라미터	값
스위칭 주파수	5 [kHz]
샘플링 주기	100 [μ s]
계통측 인덕턴스	4 [mH]
계통측 저항	0.01 [Ω]
직류단 전압	700 [V]

그림 3, 4는 전압센서 없이 제어한 파형이다. 그림 3은 비례적분 제어기를 이용한 직접전력제어의 시뮬레이션 파형이고, 그림4는 슬라이딩모드 제어기를 이용한 파형이다. 슬라이딩 모드 제어기를 사용했을 때의 파형을 통해 빠른 응답특성을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 3상 승압형 정류기에서 직접전력제어를 전압센서를 이용하지 않고 제어가 가능한 방법을 제안하였다. 제어기의 성능을 개선하기 위해 슬라이딩모드 제어기법을 적용하였으며 기존 제어기보다 빠른 응답속도를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 앞서 설명한 알고리즘은 시뮬레이션을 통하여 제안하는 방법의 우수성과 타당성을 검증하였다.

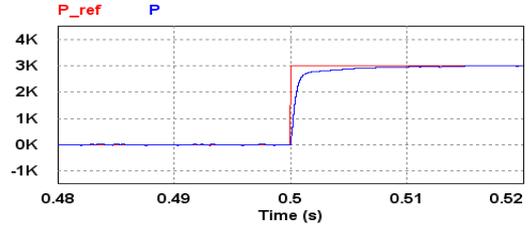
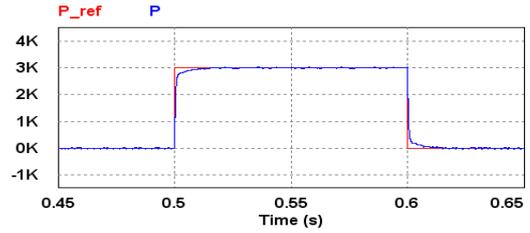


그림 2 비례적분제어기를 이용한 센서리스 직접전력제어 (a)유효전력제어 (b)확대파형
Fig. 2 Power control using a PI-Controller

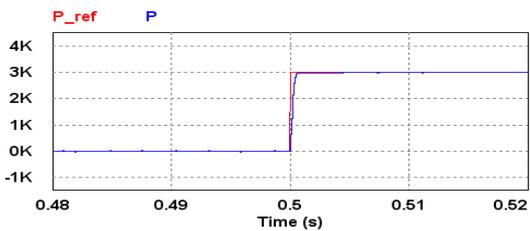
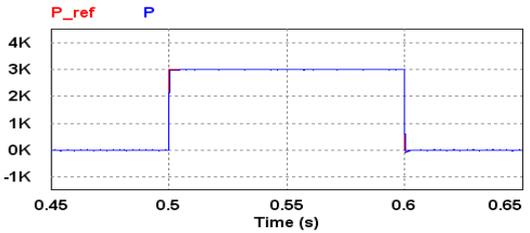


그림 3 슬라이딩모드 제어기를 이용한 센서리스 직접전력제어 (a)유효전력제어 (b)확대파형
Fig. 3 Power control using a sliding mode

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 연구 재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 20120002247).

참 고 문 헌

- [1] S. K. Sul "Control of Electric Machine Drive Systems" Wiley Book. 2010.
- [2] M. Malinowski, M. P. Kazmierkowski, S. Hansen, F. Blaabjerg, and G.D Marques, "Virtual flux based direct power control of three phase PWM rectifiers," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 37, pp. 1019 1027, July/Aug. 2001.
- [3] 이병섭, 이준석, 이교범, "슬라이딩 모드 기반의 가변이득을 가지는 직접전력제어를 이용한 계통연계형 인버터의 성능 개선" 전력전자학회논문지, 제17권, 제1호, pp.57 66, 2012. 2.