

슬라이딩 모드 제어를 이용한 직류(DC)배전용 3상 AC/DC컨버터의 소프트 스타트 운전기법

박현우*, 신수철*, 엄주경***, 이택기**, 이경호****, 원충연*
성균관대학교*, 한경대학교**, 인텍FA***, 삼성물산****

Soft-Start Method of Three Phase AC/DC converter for DC Distribution System Using Sliding Mode Controller.

Hyeon Woo Park*, Soo Cheol Shin*, Ju Kyoung Eom***, Taek Kie Lee**, Kyung Ho Lee****,
Chung Yuen Won*

Sungkyunkwan Univ.*, Hankyong National Univ.** , IntechFA*** , Samsung C&T****

ABSTRACT

최근 직류 출력을 갖는 분산전원 시스템의 증가와 높은 에너지 변환효율을 갖는 직류(DC) 배전 시스템에 대한 관심이 증가하고 있다. 직류(DC) 배전을 빌딩에 적용하기 위해서는 계통연계형 AC/DC 컨버터가 필수적이다.

빌딩용 직류(DC)배전 시스템에서는 다양한 부하들이 상시 대용량의 AC/DC 컨버터에 연결되어 있기 때문에 컨버터의 기동시 과도상태를 최소화한 안정적인 DC전압 확보가 필수적이다.

본 논문에서는 외부 파라미터 변화나 외란에 대한 강인한 성능을 가지는 슬라이딩 모드 제어를 사용하여 3상 AC/DC 컨버터의 초기 운전 시 발생할 수 있는 DC전압의 오버슈트 저감을 시뮬레이션에 의해 검증하였다.

1. 서론

신재생 에너지의 직류 출력과 배전시스템이 직류로 구성되면 보다 높은 효율을 기대 할 수 있다. 직류배전의 큰 장점은 안정적인 전원 공급과 역률개선 효과이다. 또한 현재 사용하는 교류 전압은 주파수에 따라서 에너지 저장의 어려움이 있으나 DC전원은 주파수 성분을 고려하지 않아도 되는 장점이 있다.

특히 빌딩은 업무시간에 전력사용량이 많고 주로 사용하는 조명기기, 사무기기 등 직류 전원을 사용하는 부하들이 많다. 기존의 교류배전시스템은 여러번의 전력변환을 통해 전원을 공급하게 되지만 직류배전시스템에서는 전력변환 시스템을 최소화하여 구성할 수 있다.

직류배전시스템에서 고효율 AC-DC 컨버터와 상시 부하가 연결되어 있고 여러대의 AC-DC 컨버터 병렬 운전이 용이하다. 컨버터는 안정적인 기동특성과 운전시 부하에 대한 동특성이 필수적이다. 기존에는 램프함수를 이용한 기동기법 또는 PI제어기와 IP 제어를 사용한 제어를 사용하였다.

본 논문에서는 슬라이딩 모드 제어를 적용하여 컨버터의 기동 운전시 발생 할 수 있는 오버슈트를 저감한다. [1][2] 슬라이딩 모드와 PI제어를 결합하여 안정적인 기동운전과 제어가 수행되는 것을 시뮬레이션으로 검증하였다.

2. DC 배전용 3상 PWM AC/DC 컨버터

2.1 3상 PWM AC/DC 컨버터

직류배전시스템에서는 고 신뢰성과 안정성을 갖추어야 하고 분산전원의 발전량이 증가하면 잉여전력을 계통으로 보내야 하는 역할을 하기 때문에 양방향 흐름을 갖는 컨버터의 선정이 필수적이다. 3상 AC/DC 부스트 컨버터는 스위치에 PWM을 통해 승압하는 컨버터이다. PWM 변조방식으로 전류의 크기와 위상을 제어하고, 전원전류를 정현파에 가깝게 하여 고조파성분을 제거하여 고 역률 운전이 되도록 한다. 출력단 전압 V_{dc} 가 일정하게 유지되도록 전원 전류 i_a, i_b, i_c 를 제어한다.

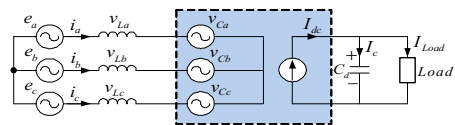


그림 1. 3상 AC/DC 컨버터 등가회로

그림 1은 3상 AC/DC 컨버터의 등가회로이다. 각 상의 전압은 다음 식을 만족하며 입력전류 i_{abc} 와 교류 입력측 리액터에 걸리는 전압 V_{Labc} 과는 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$e_{abc} = v_{Labc} + v_{Cabc} \quad (1)$$

$$v_{Labc} = j\omega L_i i_{abc} \quad (2)$$

v_{Labc} 를 증대시키면, 교류입력측 전류 i 가 증가하게 되며, 역으로 v_{Labc} 의 값이 음의 값으로 되면 i 의 방향이 반전되어 전력이 직류부하에서 교류전원측으로 흐르는 회생동작을 하게 된다.

2.2 제안한 슬라이딩 모드 운전기법

그림 2는 3상 PWM 컨버터에 소프트 스타트 운전기법을 위한 제어 블록도 이다. 직류배전 시스템에 적용하는 컨버터는 3상 PWM 컨버터와 양방향 DC/DC 컨버터를 결합한 형태이다.

3상 PWM 컨버터의 소프트 기동을 위해 i_{qc}^* 전류 지령치는 슬라이딩 모드와 PI제어를 사용하여 얻어진다.

그림 3는 3상 PWM 컨버터의 슬라이딩 모드 기동을 위한 슬라이딩 모드 궤적을 나타낸다. 컨버터의 궤적은 기동시에만 적용하여 한쪽 평면에서만 궤적을 나타내고 있다.

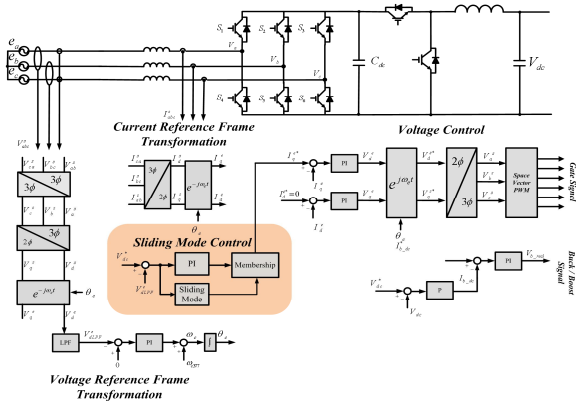


그림 2. 3상 PWM 컨버터의 제어블럭도

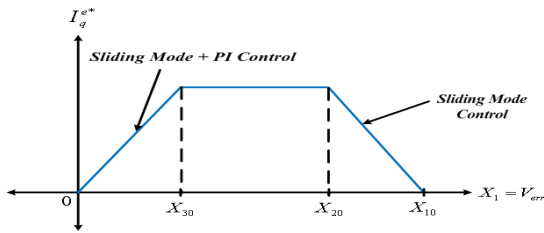


그림 3. 3상 PWM 컨버터의 기동을 위한 슬라이딩 모드 궤적

슬라이딩 모드 영역에서 X축은 전압오차 V_{err} 로 나타내고 Y축은 q축 전류 지령을 i_{qe}^* 로 나타낸다.

전압 지령치에 대해서 i_{qe}^* 를 설정하여 안정적인 기동을 할 수 있도록 한다.

$X_{30} \sim X_{10}$ 구간에서 슬라이딩 모드 제어하고 $X_{10} \sim 0$ 구간에서는 슬라이딩 모드 제어기와 PI 제어를 혼합하여 Membership Function으로 구성한다.

2.3 Membership Function

Membership Function은 전압오차에 따라 제어기의 적용 비율을 가변함으로써 제어한다. 슬라이딩 모드 제어는 0점을 기준으로 한다.

슬라이딩 모드는 목표점에는 전기적이 진동이 발생하고 초기 기동시 동특성이 느린 단점이 있다. 이를 극복하기 위해서 슬라이딩 모드와 PI 제어를 사용하여 i_{qe}^* 전류 진동을 최소화한다. 기동 후에는 PI 제어기만으로 전환하여 운전함으로써 부하에 대한 동특성을 개선하였다.

Membership Function의 적용비율은 식(3)과 같다.

$$\alpha_{SMC} = \frac{X_1}{X_{30}}, \alpha_{PI} = 1 - \frac{X_1}{X_{30}} \quad (3)$$

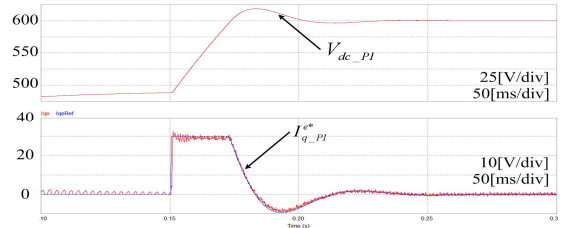
α_{SM} : 슬라이딩 모드 제어기, α_{PI} : PI제어기.

3. 시뮬레이션

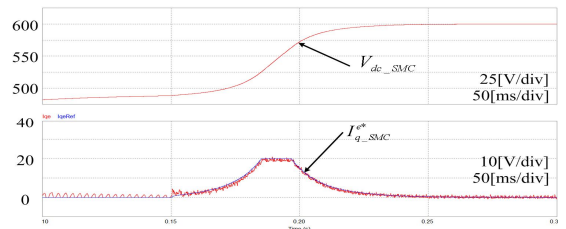
그림 4 Powersim사의 PSIM 6.0을 이용한 시뮬레이션 결과 파형을 나타낸다. 컨버터를 구동하기 위한 제어알고리즘은 C++을 이용하여 DLL(Dynamic linking library)로 결합하였다.

운전초기에 DC링크의 커패시터가 완전방전상태 이므로 들

입전류를 저감하기 위하여 저항을 통하여 DC전압을 충전한다. 실제 본 시뮬레이션에서는 시스템과 동일하게 시뮬레이션을 수행하였다.



(a)



(b)

그림 4. (a) PI제어기, (b) 슬라이딩모드 제어기 초기 기동시 전압 (V_{dc}), 지령전류(i_{qe}^*)

4. 결론

직류 배전용 AC/DC 컨버터는 상시 부하가 DC배전 계통에 연결되어 있기 때문에, AC/DC 컨버터의 초기 구동시 오버슈트를 최소화 하여야 한다. PI 제어기를 통한 V_{dc} 전압제어의 경우, PI 이득이 낮으면, 상시 연결되어 있는 부하 때문에 V_{dc} 전압을 충분히 확보하기 어렵고, PI 이득이 높으면, DC 전압의 오버슈트를 유발하여, 부하에 고장을 유발할 수 있는 단점이 있다. 본 논문에서 제안한 슬라이딩 모드를 이용한 AC/DC 컨버터는 PI 이득과 상관없이 독립적으로 운전 가능하고, V_{dc} 전압이 목표 전압에 도달하기 전부터, q축 전류를 감쇠하여, 오버슈트가 없이 안정적인 V_{dc} 전압의 확보가 가능한 것을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

이 논문은 삼성물산(주)의 연구비 지원으로 수행한 연구 결과입니다.

참고 문헌

[1] Kordkheili, R.A. Mehrasa, M. "Sliding mode control for three-phase ac/dc voltage-source boost converter," Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion (SPEEDAM), pp. 1213 - 1217, 2010.

[2] Daniel Salomonsson, Ambra Sannino "Low-Voltage DC Distribution System for Commercial Power Systems With Sensitive Electronic Loads," Proceedings of the IEEE transactions on power delivery, Vol. 22, No. 3, pp.1620 ~ 1627, Jul., 2007.