

양수발전용 부하전류형 인버터의 회생 제동 제어 방법의 연구

안현성, 차한주
충남대학교

A Study of Regeneration Braking Control of Load Commutated Inverter for Pumped Storage

Hyunsung An, Hanju cha
Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문에서는 양수발전용 동기발전기의 기동 및 회생제어를 위한 부하전류형 인버터(LCI) 시스템을 Matlab/simulink를 이용하여 모델링하고 제어방법을 확인하였다. 부하전류형 인버터의 구성 및 동작모드에 대해 서술하였으며, 동기발전기의 안정성 확보를 위한 회생제어 모드에 적합한 제어 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 기존의 복잡한 제어구조와 달리 제어요소의 간략화로 제어의 강인성을 확보하였으며, 부하전류형 인버터 시스템의 기동제어 및 제안된 회생제어에 대한 성능은 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

1. 서론

양수발전소용 동기발전기를 정격 주파수로 운전하기 위해서는 별도의 초기기동장치를 갖추어야 하는데 주로 기동용 전동기 기동법, 기동 권선 기동법, 정지형 주파수 변환 장치(SFC : Static Frequency Converter) 등의 기동법이 있으며, SFC 시스템은 통상 대용량 시스템에 적합한 사이리스터를 활용한 부하전류형 인버터(LCI : Load Commutated Inverter) 시스템을 적용한다^[1]. 이중 다른 기동법에 비해 SFC 시스템의 경우 1대의 시스템으로 여러 대의 동기 발전기를 기동시킬 수 있다는 장점으로 많이 사용되고 있다. 양수발전은 크게 계통 주파수에 맞는 정격 속도까지의 기동제어, 계통 전원을 통한 운전 상태인 계통 병입, 동기발전기를 안정적으로 정지하기 위한 회생제어로 운전영역이 나누어진다. LCI시스템은 기동제어와 회생제어를 담당하여 양수발전용 동기발전기를 기동하거나 정지(회생)하는 동작을 수행한다. 회생제어를 적용하지 않고 자연적으로 정지상태로 가게 되면 발전기의 기계적인 손상을 불러오며, 정지상태까지 수 시간이 소요되는 등의 문제점을 수반한다.

본 논문에서는 양수 발전용 동기발전기용 기동장치에 대한 기동 원리 및 회생제어에 대해 설명하며, 기존의 회생제어에 대한 문제점을 극복할 수 있는 제어기법을 제안한다. 또한, 부하전류형 인버터 시스템의 제어 알고리즘 연구에 기반되는 시뮬레이션을 모델링하였으며, 시뮬레이션을 통해 양수발전용 동기발전기의 기동운전 및 회생제어에 대한 성능을 확인한다.

2. 부하전류형 인버터

2.1 부하전류형 인버터의 구성

LCI 시스템은 그림 1과 같이 크게 전원측 사이리스터 컨버

터, 발전기측의 사이리스터 컨버터, 여자 시스템, 동기발전기로 구성된다. 전원 측 사이리스터는 발전기 측 컨버터가 필요로 하는 에너지를 공급하게 되며, 발전기 측 컨버터는 공급 받은 에너지를 발전기에 공급하기 위해 AC로 변환을 시키게 된다. 또한, 전원 측과 발전기 측의 사이리스터를 올바르게 턴 온 시키기 위한 제어부가 있다. 이러한 LCI시스템은 기동제어모드, 계통병입모드, 회생제어모드를 통해 운전한다.

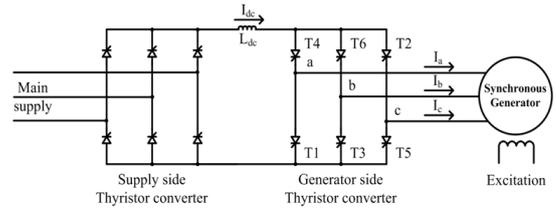


그림 1 부하전류형 인버터 시스템 구성
Fig. 1 Structure of LCI system

2.2 부하전류형 인버터의 운전모드

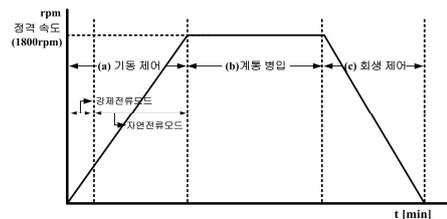


그림 2 LCI 시스템의 운전 곡선
Fig. 2 Operating curve of LCI system

부하전류형 인버터 시스템은 기동시 사이리스터의 턴 오프 특성을 고려하여 강제전류모드(정격속도 10%이내)와 자연전류모드로 나누어 기동하게 된다. 저속에서는 동기 발전기의 역기전력이 작아 발전기측 컨버터 사이리스터에 턴 오프에 필요한 역전압을 인가하기에 부족하여 스위치 모드 전환 시 임의로 직류(Idc)측 전류를 0A로 만들게 된다. 이후 속도에서는 유도된 역기전압이 충분하므로 전류실패(commutation failure)를 고려하여 자연전류 모드를 통해 동작한다. 부하전류형 인버터에 의해 동기발전기가 정격속도가 되고, 발전기의 주파수와 계통측의 주파수가 일치하게 되면 동기발전기가 계통에 병입하게 된다. 동기발전기가 계통에 연계되어 운전하게 되면 부하전류형 인버터를 거치지 않고 계통주파수로 운전하게 된다. 안정된 계통연계를 하기 위해서는 두 위상을 비교할 수 있는 알고리즘을 추가하여 발전기에 대한 위상과 계통 위상을 비교해야하며, 두

위상이 일치하여 동상이 되면 발전기가 계통에 병입하게 된다. 계통운전이 끝나고 동기발전기를 정지시키기 위해서는 회생제어를 통해 정지하게 된다. 회생제어는 부하전류형 인버터를 통해 남은 에너지를 계통 측으로 소비시켜 발전기를 빠르고 안정되게 정지시키게 된다.

3. 회생제어 알고리즘

회생제어의 주목적은 동기발전기를 기계적 또는 전기적으로 안정되게 그리고 최대한 빠르게 정지시키는 것이다. 사이리스터를 사용한 LCI시스템의 경우 전류의 방향이 단방향으로 전류의 흐름은 같은 방향을 유지하면서 전압을 역방향으로 인가하여 전력흐름을 역으로 하여 발전기를 정지 시키게 된다. 회생제어는 속도 변화에 따라 전원측 컨버터의 점호각을 속도 제어기와 전류제어기를 통해 일정 전류를 제어하게 되며, 발전기측 컨버터는 일정한 직류측 전류를 받아 일정 전류 출력을 위한 점호각 제어를 한다.

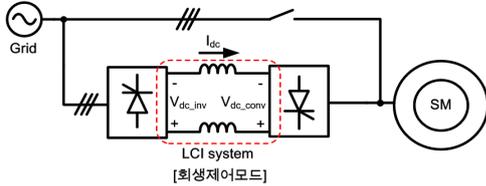


그림 3 회생제어모드의 전력흐름
Fig. 3 Power flow of regeneration control mode

3.1 기존의 회생제어

회생제어시 발전기측 컨버터는 발전기의 전압을 전원전압으로 동작하는 컨버터로 동작을 하게 되며, 기동시와 달리 직류측에서 바라본 출력 직류 전압이 역이 된다. 그러므로 발전기의 컨버터를 정격 전류제어를 위한 전류제어기를 적용시킨다. 전원측 컨버터의 경우 LCI시스템의 전류 흐름이 연속될 수 있도록 하는 것으로써 전원측 컨버터의 직류전압이 더 낮을 수 있도록 조건을 위한 별도의 제어를 하게 된다.

3.2 제안된 회생제어

그림 4는 제안된 회생제어모드에 대한 구조를 보여준다. 기동시와 제어 구조가 동일하기 새로운 제어기 설계에 대한 어려움이 없으며, 전원측 컨버터 점호각을 제어하기 위한 제어 상수들이 불필요하게 되었다. 또한, 전원측 컨버터의 경우 기동시와 동일하게 전원측으로 전력을 보내기위한 일정 점호각 제어를 수행하게 된다.

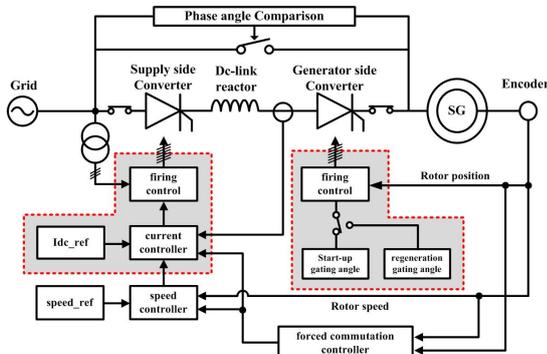


그림 4 제안된 부하전류형 인버터 회생제어 구조
Fig. 4 Proposed regeneration control structure of LCI system

4. 모델링 및 시뮬레이션 결과

그림 5는 양수발전용 LCI 시스템의 모델링을 보여준다. 시뮬레이션은 크게 전원측 컨버터, 발전기측 컨버터, 동기기 모델로 구성되며, 컨버터 제어를 위한 제어부와 점호 시스템이 추가되었다. 본 연구에서는 제안된 회생제어 및 기동제어를 시뮬레이션을 통해 그 성능을 검증하였다.

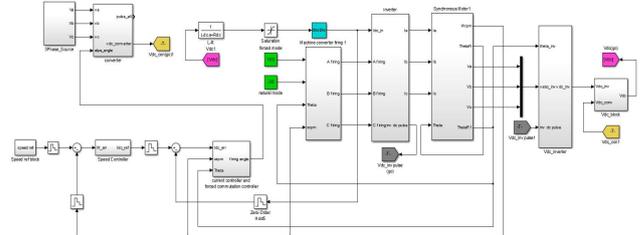
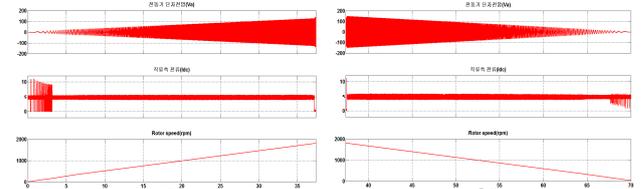


그림 5 부하전류형 인버터 시스템의 모델링
Fig. 5 Modeling of LCI system

그림 6 (a)는 정지상태부터 정격속도인 1800rpm까지 기동하는 것을 보여주고 있으며, 정지상태부터 1800rpm까지 올바르게 승속하는 것을 볼 수 있으며, 승속하는 동안 발전기의 단자전압이 증가하는 것을 볼 수 있다. 그림 6 (b)는 1800rpm부터 정지할 때까지 제안된 알고리즘을 통해 회생제어모드의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 정격운전 이후 회전자 회생제어를 통해 감속하는 것을 볼 수 있으며, 이에 따라 발전기의 전압이 속도와 같이 감소하는 것을 볼 수 있으며, 안정적으로 0rpm으로 정지하는 것을 볼 수 있다.



(a) 기동제어모드 (b) 회생제어모드
그림 6 기동 및 회생제어 시뮬레이션 결과
Fig. 6 simulation results of start-up and regeneration

5. 결론

본 논문에서는 양수발전용 동기발전기의 정격속도까지 승속하는 기동운전과 안정적인 감속에 필요한 회생운전을 수행하는 부하전류형 인버터(LCI) 시스템을 Matlab/simulink를 이용하여 모델링하였다. 부하전류형 인버터의 운전모드에 대해 서술하였으며, 회생제어모드의 제어구조를 서술하였다. 또한, 사이리스터 특성에 따라 달라지는 기동방식인 강제전류 모드와 자연전류 모드를 모델링하였으며, 시뮬레이션을 통해 올바르게 양수발전용 동기발전기가 기동 후 회생제어하는 것을 확인하였다.

참고 문헌

[1] Wang Eeshun, Zhang Lichun, Yang Bo, Li Guanjun, Tao Yibin, Fu Jianzhong, Li Jianfeng, Ji Liantao, "Developing and simulation research of the control model and control strategy of static frequency converter", Intelligent System Design and Engineering Application(ISDEA), 2012, pp. 1032-1035.