

가스터빈용 동기발전기를 위한 LCI 시스템 모델링 및 실험

안현성, 류호선, 김경서*, 차한주
충남대학교, 상명대학교*

Modeling and Experiment of LCI system for Gas Turbine Synchronous Generator

Hyunsung An, Hoseon Ryu, Kyung seo Kim*, Hanju Cha
Chungnam National University, Sangmyung University*

ABSTRACT

본 논문에서는 LCI (Load Commutated Inverter) 시스템의 구동 원리와 제어 방식에 대해서 서술하였으며, 알고리즘 검증을 위한 모델링을 매트랩/시뮬링크를 사용하여 진행하였으며, 5kW급 프로토타입을 통해 제어 알고리즘의 성능을 확인하였다. 시스템 속도에 따라 달리하는 구동방식인 강제전류 모드와 자연전류 모드는 동기발전기의 정격속도 10%인 180rpm에서 모드 전환이 이루어지며, 과도상태 및 정격속도까지 안정적인 동작을 확인하였다.

1. 서론

대용량 가스터빈 발전소의 동기발전기는 기동 초기에 자체 연소를 할 수 있는 일정 속도까지 승속 시켜주는 구동 시스템이 필요하다. 일반적으로 가스터빈 발전기의 경우 정격 속도의 60%까지 승속이 되었을 때 자체 연소가 가능 한 것으로 알려져 있다. 기존에는 대용량의 기동시스템을 초기 구동하기 위하여 DC 전동기나 권선형 유도전동기를 많이 사용하였으나, 유지 보수의 어려움과 축 진동에 의한 문제 등으로 1990년대 이후에 정지형 SFC(Static Frequency Converter)가 보급되어 사용되고 있다. 가스터빈 동기발전기의 초기기동을 위한 SFC 시스템은 현재 싸이리스터 전력용 반도체 소자를 활용한 부하 전류형 인버터 시스템(Load Commutated Inverter)이 많이 연구되어 사용하고 있다^{[1] [2]}. 본 논문에서는 싸이리스터 사용에 따른 구동 원리를 설명하고, 가스터빈 동기 발전기를 승속하기 위한 부하 전류형 인버터 시스템의 제어 알고리즘 연구에 기반되어지는 시뮬레이션 모델링을 구현하였으며, 5kW급 LCI 시스템의 프로토타입을 통해 제어 알고리즘 성능을 확인하였다.

2. 부하전류형(LCI) 인버터 시스템

2.1 LCI 시스템 구성

LCI 시스템은 그림 1과 같이 크게 전원측 사이리스터 컨버터, 발전기측의 사이리스터 컨버터, 여자 시스템, 발전기와 제어부로 구성된다. 전원측 컨버터와 발전기측 컨버터 사이에는 전류형 시스템에 맞춰 리액터(L_{dc})가 위치하고 있다. 전원측 사이리스터는 발전기측 컨버터가 필요로 하는 에너지를 dc 전류로 공급하게 되며, 발전기측 컨버터는 공급받은 에너지를 발전기에 공급하기 위해 AC로 변환을 시키게 된다.

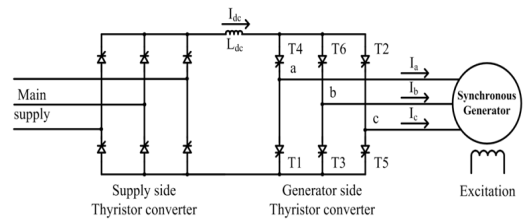


그림 1 LCI 시스템 구조
Fig 1 Configuration of LCI system

2.2 시스템 구동 방식

LCI 시스템은 정격 속도의 5~10% 정도에서 구동하는 강제 전류 모드(forced commutation mode)와 그 이후 속도에서 정격속도까지 동작하는 자연전류(natural commutation mode) 모드로 나누어진다. 저속에서는 동기 발전기의 역기전력이 작아 발전기측 컨버터 사이리스터에 턴 오프에 필요한 역전압을 인가하기 부족하여 이 구간에서는 스위치 모드 전환 시 임의의 직류(I_{dc})측 전류를 0A로 만들어서 전환이 될 사이리스터를 턴 오프 시킨다. 이를 강제전류 운전 모드라 한다. 이후 속도에서는 역기전압이 발전기측 컨버터의 사이리스터를 턴 오프하기에 충분하기에 자연전류 모드로 동작한다. 자연전류 모드에서는 전류(commutation) 전압의 극성 변화 이전에 전류 동작을 완성해야하므로 발전기는 진상역률(leading factor)로 동작을 해야한다. 그림 2은 속도에 따른 이상적인 모드별 전류 파형을 보여준다.

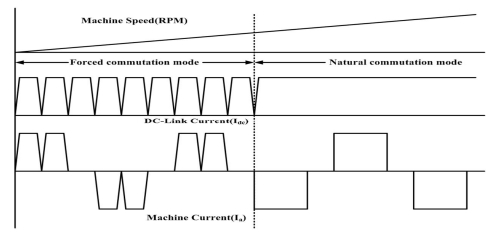


그림 2 저속에서의 발전기 이상적인 전류
Fig 2 synchronous generator ideal current at low speed

2.3 전류제어

부하 전류형 인버터는 전원측 컨버터에서 발전기측 컨버터로 흐르는 직류측 전류를 제어함으로써 dc 전압을 제어하게 된다. 이는 PI제어를 기반으로 하는 속도제어기와 전류제어기를 통해서 제어하게 되며, 제어기 블록은 그림 3을 통해 확인할 수 있다. 속도제어기는 dc 전류 지령치를 만들어주게 되며,

전류 지령치는 전류제어기의 입력으로 사용한다. dc 전류 오차는 제어기를 통해서 dc 전압의 지령치를 만들어주게 되며 최종적으로 아크코사인을 통해 전원측 컨버터에 필요한 점호각을 만들어준다.

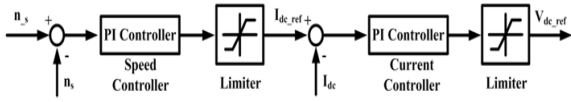


그림 3 전류 제어 블록도
Fig 3 schematic of current control

3. LCI 시스템 모델링 및 실험

3.1 LCI 시스템 모델링

시뮬레이션 모델링은 크게 전원측 사이리스터 컨버터, 발전기측 사이리스터 컨버터, 사이리스터의 점호각을 제어하기 위한 제어부 그리고 발전기 부분으로 구성되어진다. 본 논문에서의 회전자 위치의 기준점은 선간전압 V_{ac} 이며, 이 기준점을 통해서 발전기의 회전자 위치에 맞는 사이리스터를 턴 온 시키게 된다. 발전기 모델링은 d q 전압방정식을 기본으로 구현하였으며, 그림 4는 시뮬링크로 구성된 LCI 시스템의 전체 모델링을 나타낸다.

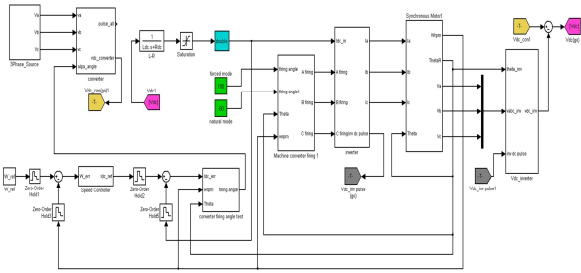


그림 4 LCI 시스템 모델링
Fig 4 LCI system modeling

3.2 실험 결과

LCI 시스템은 5kW급 프로토타입을 통해서 LCI 시스템의 속도 영역에 따른 강제전류 모드와 자연전류 모드에 대한 실험과 시스템의 제어기 성능을 확인하였으며, 표 1은 발전기의 파라미터를 나타낸다. 그림 5와 6은 각각 강제전류 모드와 자연전류 모드의 직류측 전압, 전류 그리고 발전기측의 단자전압과 전류를 보여주고 있으며, 강제전류는 발전기 정격속도의 10%인 180rpm까지 수행한다. 그림 5는 사이리스터를 강제로 턴 오프하기 위해서 60°간격으로 전류가 0A로 감소하는 것을 보여주며, 그림 6은 자연전류 모드를 나타낸다. 그림 7은 속도 지령치에 따른 속도제어 실험결과를 나타내며, 강제전류와 자연전류 모드에 따라 발전기가 승속하고, 지령치 900rpm에 도달하면 일정하게 900rpm을 유지하며 회전에 필요한 최소한의 유지토크를 위한 전류가 흐르게 된다.

표 1 동기발전기 파라미터
Table 1 Synchronous generator parameter

정격용량	5kVA	정격전압	3상 220V
계자전류	4.9A	계자전압	12.1V
Ld	22.6mH	Lq	11.3mH
극수	4극	정격속도	1800rpm

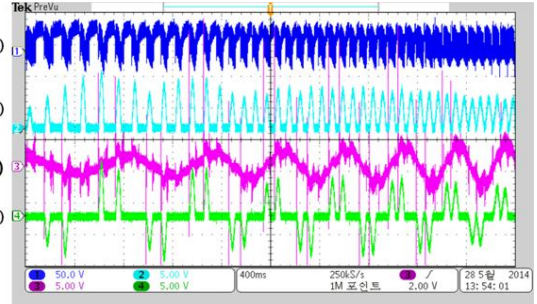


그림 5 강제모드 실험 (a) dc전압, (b) dc전류, (c) 발전기 단자 선간전압(ac), (d) a상전류
Fig 2 Forced commutation mode experiment (a) dc voltage, (b) dc current, (c) motor terminal line to line voltage(ac), (d) a phase current

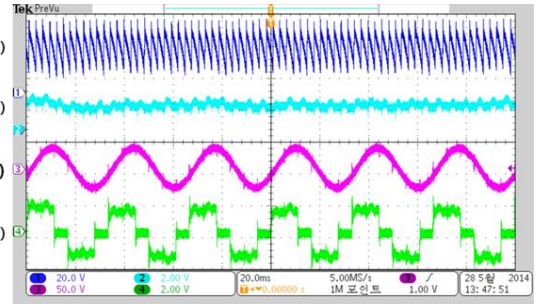


그림 6 자연모드 실험 (a) dc전압, (b) dc전류, (c) 발전기 단자 선간전압(ac), (d) a상전류
Fig 2 Natural commutation mode experiment (a) dc voltage, (b) dc current, (c) motor terminal line to line voltage(ac), (d) a phase current

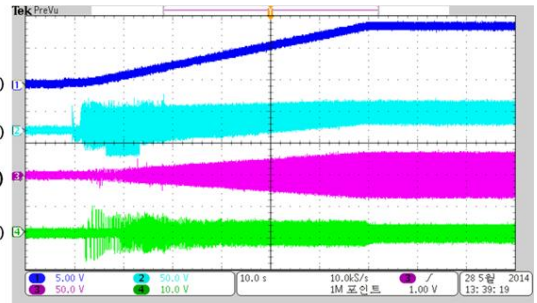


그림 7 LCI 시스템 속도제어 900rpm (a) 발전기 속도(rpm), (b) dc전압, (c) 발전기 단자 선간전압(ac), (d) a상전류
Fig 2 LCI system speed control 900rpm (a) dc voltage, (b) dc voltage, (c) motor terminal line to line voltage(ac), (d) a phase current

4. 결론

LCI 시스템 검증을 위해 매트랩/시뮬링크를 사용하여 모델링을 하고 시스템에 대한 검증을 하였다. 또한, 5kW급 프로토타입을 통해 dc 전류 제어를 위한 속도제어기와 전류제어기의 성능을 확인하였으며, 강제전류 모드와 자연전류 모드에서 시스템이 안정적으로 구동하는지 확인하였다.

참고 문헌

- [1] 류호선, 차한주, "183MW 대용량 구동 LCI 시스템 기동 운전 분석 및 시험", 전기학회 논문지, 62권 제 5호.
- [2] David Finney, "Variable frequency AC motor drive systems" peter Peregrinus, 1988..