전기선박의 직류배전 시스템 모델링

정윤철, 배철주, 이동춘
영남대학교 전기공학과

Modeling of Electric Shipboard DC Distribution System

Yoon cheul Jeung, Cheol Ju Bea, Dong choon Lee
Dept. of Electrical Eng., Yeungnam University

ABSTRACT

본 논문에서는 터빈 발전기를 비롯한 에너지 저장장치, 추진 시스템, 펄스부하 등으로 구성되는 전기 선박의 직류 배전 시스템의 모델링을 제시하고 시뮬레이션을 통해 시스템의 응답을 고찰한다.

1. 서론

선박의 전기시스템은 발전, 전력변환, 배전, 추진과 같은 모든 전력계통을 통합하여 운용하는 시스템으로 그 패러다임이 이동하고 있다. 최근에는 선박의 중량 감소 및 전력 변환의 용이성 등 여러 가지 장점을 가진 직류배전 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 2010년, 중전압 직류배전 선박의 전력 시스템에 대한 IEEE 표준이 제안되었고, 2013년 ABB에서 최초로 직류배전 선박을 개발하였다.

본 논문에서는 IEEE 표준에서 제시하는 전기 선박의 직류배전 시스템의 구성을 소개하고 직류배전 시스템의 모델을 정의한 후, 시뮬레이션을 통해 정상상태 및 과도상태를 분석하고자 한다.

2. 시스템 구성

선박의 직류배전 시스템은 IEEE 표준 1709 2010를 참고하여 구성한다[1]. 그림 1의 배전시스템은 링 형식의 계통으로 구성되고, 발전, 배전, 전력변환, 추진, 운용 부로 나뉜다. 시스템의 구성을 위해 통합전력 시스템에 대한 기존의 연구 및 선박에 적용되는 발전 시스템을 참고하여 선박 전력 시스템의 사양을 결정한다[2 3]. 총 4개로 구성되는 발전시스템의 용량은 80MVA이다. 본 연구에서 다루는 전기 선박의 직류배전 시스템의 구성요소별 정격 용량을 표 1에 보인다.

3. 시스템 모델링

본 장에서는 시스템의 구성을 위한 각 요소들의 모델링에 대해 논한다.

3.1 가스터빈 및 디젤 엔진모델

그림 2와 같이 속도제어를 고려한 시지연 시스템으로 가스터빈과 디젤엔진 시스템을 채택한다. 시스템은 연료 밸브, 연료 지연, 폭발 및 속도와 연료의 함수를 가지는 토크 출력 부분으로 구성된다. 시스템은 동기발전기와 직접적으로 연결되며 회전속도를 피드백하여 속도제어를 수행한다.

3.2 동기발전기 및 여자 시스템

대용량의 발전기는 대개 외부 여자형 동기발전기를 사용하

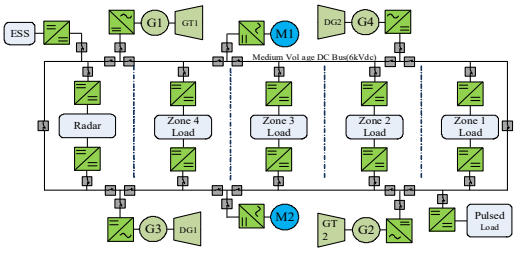

그림 1 전기선박의 직류배전 시스템의 개념도

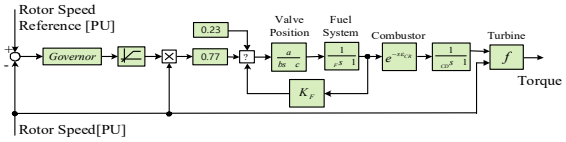

그림 2 가스 터빈 / 디젤 엔진 속도제어 모델

표 1 제안하는 전기선박의 직류배전 시스템의 정격 용량

발전 용량	80 MVA
직류 버스 전압	6 kV
가스 터빈 (GT1, 2)	40 MW
디젤 엔진 (DG1, 2)	4 MW
동기 발전기(G1, G2)	40 MVA
동기발전기 (G3, G4)	4 MVA
추진 부하 (M1, M2)	36 MW
서비스 부하	4 MW
펄스 부하	3.3 MW/1sec
에너지 저장 장치	100 MJ
전선의 임피던스	0.02 Ω / 0.2 mH

며, 소용량 발전기는 영구자석형 동기발전기를 사용한다. 본 연구에서는 외부 여자형 동기발전기를 채택한다.

발전기의 여자 시스템은 IEEE 표준 421.5 2005에서 볼 수 있듯이 여러 모델을 적용할 수 있는데 본 연구에서는 강압형 DC/DC 컨버터로 여자 시스템(Exciter)을 구성한다. 그림 3에 보이는 바와 같이 여자 시스템의 제어를 위해 PID제어를 적용하였으며, 시스템의 안정화를 위해 댐핑 성분 및 무효전력 성분을 피드백하여 보상한다.

3.3 에너지 저장장치

에너지 저장장치는 정격전압 1kV의 배터리로 선형적인 특성을 고려한 직렬 등가 저항 성분과 RC 병렬 회로로 구성된 테브난 등가회로로 모델링한다. ESS 시스템은 4MW의 정격

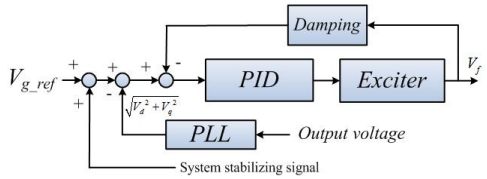

그림 3 동기발전기의 여자기 제어 블록 다이어그램

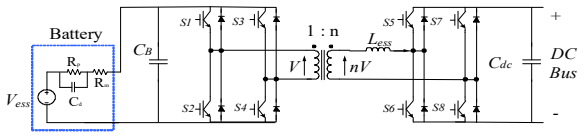

그림 4 에너지 저장 장치

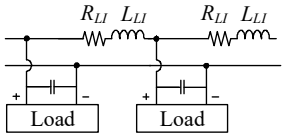

그림 5 전선의 임피던스 모델

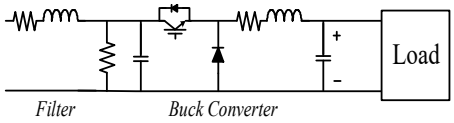

그림 6 레이더, 서비스 및 펄스부하모델

용량을 가지며, 그림 4에 보이는 양방향 DAB(dual active bridge) 컨버터를 사용하여 배터리를 충방전한다. DAB 컨버터는 PI제어기를 사용하여 제어한다.

3.4 전력선 임피던스

선박 배전 시스템의 보다 실제적인 시뮬레이션을 위해 그림 5에 보이는 바와 같이 전력선의 임피던스는 저항(0.02Ω)과 인덕터(0.2mH)로 가정한다.

3.5 AC/DC 및 DC/AC 컨버터

멀티레벨 컨버터를 이용하여 36MW 및 4MW의 전력변환 시스템을 구성한다. 발전기측의 AC/DC 컨버터는 직류 버스에 전력을 공급한다. 직류 드룹제어를 적용하여 병렬 운전되는 발전 시스템의 출력을 조절한다. 추진부에 사용되는 DC/AC 컨버터는 추진 모터인 유도전동기를 구동하며, V/f 제어를 적용한다.

3.6 펄스 부하, 서비스 부하 및 레이더

부하변동이 크지 않은 서비스 부하 및 레이더 부하는 그림 6에 보이는 바와 같이 강압형 컨버터 및 저항부하를 이용하여 모델링한다. 서비스 부하는 그림 1에서의 G1 혹은 G2 측의 계통 중 하나에 선택적으로 연결된다. 펄스 부하의 경우 단시간에 큰 용량의 전력을 소모하는데 강압형 DC/DC 컨버터를 이용하여 적용한다.

4. 시뮬레이션

선박의 직류배전 시스템 모델의 동작을 고찰하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 정상상태시 발전기의 출력 및 부하조건은 다음과 같다. 직류버스전압: 6000V, 발전기(G1,2): 10.8MW, 9.9MW, 발전기(G3,4): 2.5MW, 1.8MW, 추진부하(M1,2): 9MW, 6MW, 서비스 부하(zone1,2,3,4): 4MW, 레이더 부하: 2MW, 펄스부하: 3.3MW/1초.

그림 7은 정상상태 및 펄스부하 적용시의 직류버스 전압 및

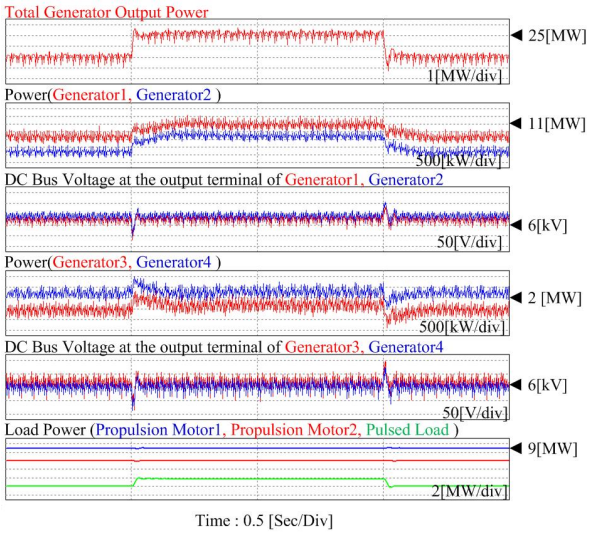

그림 7 선박의 직류배전 시스템 시뮬레이션 결과

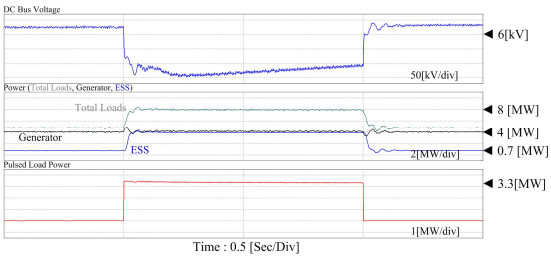

그림 8 에너지 저장장치의 응답

개별시스템의 응답(전력)을 보인다. 발전기의 출력은 부하 분담을 위해 전체 출력 대비 각 45% 40% 9% 6%로 적용하여 시스템을 제어한다. 추진부하가 각기 다른 전력을 소비하고 있으며, 1초동안 3MW의 펄스 부하를 적용한다. 직류버스의 전압은 6kV로 유지되며, 발전기 전력 또한 설정한 비율에 맞게 출력됨을 알 수 있다.

그림 8은에 보이는 시뮬레이션 결과를 통해 에너지 저장장치의 성능을 확인하고자 한다. 에너지 저장장치와 출력을 4MW로 제한한 1대의 발전기만을 운용한다. 1초동안 펄스부하를 적용한다. 발전기 출력은 일정하게 유지되고 있으며, 펄스부하에 소모되는 전력은 에너지 저장장치에서 공급함을 보인다. 발전 시스템 및 에너지 저장장치가 적절히 제어됨을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 80MW 용량의 선박의 직류배전 시스템을 구성하고 모델링하였다. PSIM을 이용한 시뮬레이션을 수행하여 서로 다른 크기의 전력을 소비하는 추진 부하, 레이더 및 서비스 부하, 펄스부하의 적용에 따른 시스템의 응답을 고찰하였다.

참 고 문 헌

[1] "IEEE Standard 1709." IEEE Recommended Practice for 1 to 35 kV Medium Voltage dc Power System on Ships, Nov. 2010

[2] Qi, L., et al. "Integrated power system modeling and simulation." Electric Ship Technologies Symposium (ESTS), 2011 IEEE. IEEE, 2011.

[3] Patel, Mukund R. Shipboard Electrical Power Systems. CRC Press, 2011.