

멀티코어 DSP를 이용한 선박 전력 시스템의 실시간 시뮬레이터 구현

고상기, 김소연, 설승기
서울대학교

Implementation of Real-Time Simulator with Multi-Core DSP for Ship Power System

Sanggi Ko, So-Yeon Kim, Seung-Ki Sul
Seoul National University

ABSTRACT

전력 시스템과 관련된 연구에서 시뮬레이터는 과도 상태 해석을 위해 필수적이다. 보편적인 디지털 시뮬레이터는 오랜 수행 시간과 저장 메모리의 한계 때문에 대규모 시스템 해석에 부적합하다. 따라서 최근 출시되고 있는 고성능 멀티코어 DSP를 이용하여 실시간 디지털 시뮬레이터를 구현하였다. 구현된 시뮬레이터를 사용하여 선박 통합 전력 시스템을 모의하여 과도 및 정상 상태 해석을 수행하였다.

1. 서론

전력 시스템에서 과도 상태 해석은 시스템 운용 및 설계에 있어서 매우 중요하다. 이를 위해서 일반적으로 아날로그 시뮬레이터나 디지털 시뮬레이터가 사용되어 왔다. 아날로그 시뮬레이터는 실시간으로 동작하지만 회로 구현이 복잡하여 그 응용이 제한적이다. 반면에 디지털 시뮬레이터는 회로 구현은 간단하지만, 수행 시간이 길고 메모리가 제한되어 대규모 시스템 해석에 부적합하다.

디지털 시뮬레이터의 이러한 한계를 극복하기 위해 개발된 것이 바로 실시간 시뮬레이터이다. 실시간 시뮬레이터는 고성능 프로세서를 이용해 디지털 시뮬레이션을 실시간으로 처리한다. 뿐만 아니라, 실시간 시뮬레이터의 실시간이라는 특성으로 때문에, 전력 시스템에 필요한 제어를 실시간으로 테스트하기 위해 사용될 수도 있다.

본 논문에서는 T사의 멀티코어 DSP인 TMS320C6678을 이용하여 실시간 시뮬레이터를 구현하였다. TMS320C6678은 8개의 코어를 가지고 있으며, 각각의 코어는 20GFLOPS의 연산 능력을 가진다. 복잡한 전력 시스템의 회로를 여러 개의 코어를 이용해 병렬로 연산을 수행하기 위해서는 회로를 분할 하는 것이 필요하다. 분할된 회로를 기존의 MATLAB/Simulink 모델로 구현하고 Embedded Coder와 PLECS Coder의 자동 코드 생성 기술을 통해 DSP 구동용 코드를 작성하였다.

구현한 실시간 시뮬레이터를 이용해 선박 통합 전력 시스템을 모의 실험하였다. 모의 실험이 실시간으로 수행되며, 모의 실험의 결과가 기존 디지털 시뮬레이터에서 수행한 결과와 동일한 것을 확인함으로써, 구현된 실시간 시뮬레이터의 유효성을 검증하였다.

2. 선박 통합 전력 시스템

본 논문에서 구현할 전력 시스템은 다음과 같다. 전기 추진 선박에서 추진용 전력 시스템과 일반 부하용 전력 시스템을 하나의 시스템으로 합쳐 운영하는 것을 통합 전력 시스템이라 한다. 본 논문에서 모의 시험할 선박 전력 시스템은 4대의 디젤 발전기가 전원 접속점(PCC, Point of Common Coupling)에 연결되어 전력을 공급하고, 추진 부하를 위한 2개의 능동형 정류기(AFE, Active Front End)와 2개의 RL부하가 전원 접속점에 연결되어 전력을 공급받는 구조이다. 각각의 발전기는 발전 전압의 주파수와 크기를 제어할 조속기 (Governor)와 자동전압조정기(AVR, Automatic Voltage Regulator)가 포함되어 있고 능동형 정류기는 이를 제어하는 제어기를 포함한다.

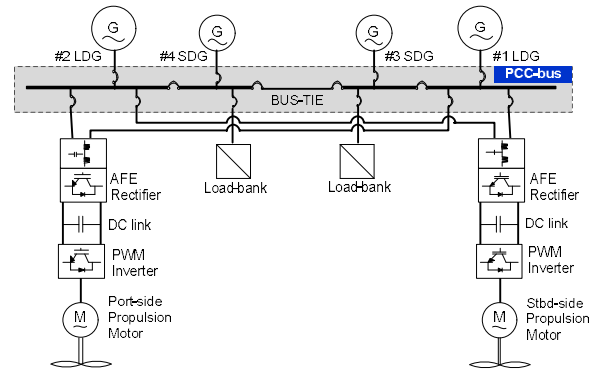


그림 1 선박 통합 전력 시스템의 블록도

Fig. 1 Block diagram of a ship integrated power system

3. 시뮬레이터 구현

3.1 전력 시스템 회로의 분할

전력 시스템을 실시간으로 모의 실험하기 위해서는 복잡한 회로를 DSP의 각 코어에 분할하여 구현해야 한다. 그림 1에 표현된 것 같이, 선박 통합 전력 시스템은 전원 접속점에 발전기들과 부하들이 병렬로 연결된 것으로 볼 수 있다. 전원 접속점의 전압이

결정되면 발전기나 부하에 흐르는 전류를 계산할 수 있다. 따라서 전원 접속점 전압을 결정하는 하나의 회로와 전원 접속점의 전압을 이용해 흐르는 전류를 계산하는 회로들로 전체 회로를 분할할 수 있다. 전원 접속점의 전압을 결정하는 회로에 흐르는 전류는 나머지 회로들에 흐르는 전류의 합으로 구할 수 있고 이를 통해 전원 접속점의 전압이 결정된다. 전원 접속점의 전압을 결정하는 회로는 전원 접속점이 가변 전류원으로 보이고 이 때 전류의 크기는 나머지 회로들에서 계산된 전류의 합과 같다. 나머지 회로는 전원 접속점이 가변 전압원으로 보이고 이 때 전압의 크기는 전원 접속점의 전압을 결정하는 회로에서 가변 전류원 양단에 걸리는 전압의 크기와 같다. 이를 통해 선박 통합 전력 시스템을 여러 개의 회로로 나눌 수 있었다. 모의 실험을 통해 분할된 회로가 원래의 회로와 동일하다는 것을 검증하였다.

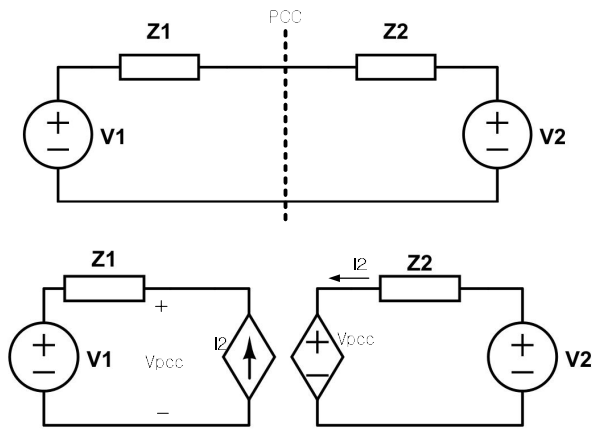


그림 2 회로 분할 예시
Fig. 2 An example of circuit partitioning

3.2 자동 코드 생성

구현할 통합 전력 시스템 모델은 PLECS를 이용하여 회로도를 구성하였고 MATLAB/Simulink를 이용해 발전기의 조속기 및 자동전압제어기 그리고 능동형 정류기의 제어기를 구현하였다. 이를 DSP에서 실행하기 위해서는 해당 모델을 C 코드로 변환해야 한다. MATLAB/Simulink의 블록도는 Embedded Coder를 이용하면 자동으로 C 코드를 생성할 수 있다. 그리고 PLECS 역시 PLECS Coder를 이용하면 PLECS로 구성된 회로를 C코드로 생성할 수 있다.

4. 모의 실험 결과

구현된 시뮬레이터를 이용해 선박 통합 전력 시스템을 모의 실험하였다. 모의 실험의 단위 시간 간격은 20us로 설정하였다. 따라서 실시간으로 모의 하기 위해서는 모든 연산이 20us 이내에 수행되어야 한다. 구현한 시뮬레이터는 약 11~12us 이내에 모든 연산을 수행하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 모의 실험 결과 역시 PC상에서 수행한 모의 실험 결과와 유사한 것을 확인하였다.

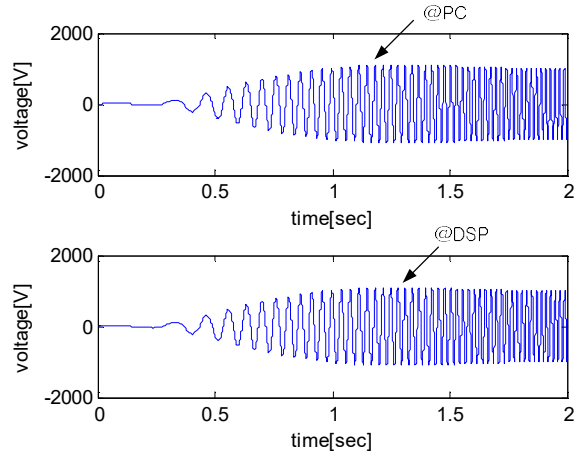


그림 3 모의 실험 결과(전원 접속점 전압 파형, 위, PC에서 수행한 결과, 아래, 구현한 시뮬레이터에서 수행한 결과)
Fig. 2 Simulation result(Waveform of PCC voltage, above, result from PC, below, result from implemented simulator)

5. 결론

멀티코어 DSP를 이용해 실시간 시뮬레이터를 구현하였다. 일반적인 디지털 시뮬레이터인 MATLAB/Simulink를 통해 수행되던 모의 실험이 구현한 시뮬레이터에서 실시간으로 수행되는 것을 확인하였다. 본 논문에서 구현한 실시간 시뮬레이터를 사용하면 향후 전력 시스템 개발 과정에서 모의 실험의 시간적 제약을 극복하고, 실제로 구현될 제어기의 성능을 검증할 수 있는 시험 모델을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Fabian M. Uriarte and Robert Hebner, "Development of a multicore power system simulator for ship systems", Electric Ship Technologies Symposium, 2011
- [2] Qinghua Huang, Jian Wu, Jimena L. Bastos and Noel N. Schulz, "Distributed simulation applied to shipboard power systems", Electric Ship Technologies Symposium, 2007