

개인용 컴퓨터와 고속 이더넷을 이용한 대기 다모선 전력 시스템 실시간 시뮬레이터 개발에 관한 연구

論 文

58-1-11

Development of an Real-time Multi-machine Power System Simulator using Personal Computers and Fast Ethernet

金 重 文[†]
(Joong-Moon Kim)

Abstract - As the complexity of the power system becomes higher, tests of the new devices, such as exciter and PCS (Power Conversion System) of the distributed generation sources, in the real operating condition are more important. However tests of the unverified devices in the real power system may cause hazardous malfunction of the system. In order to avoid this problem, power devices may be tested with the real-time simulators instead of the real power system.

This paper presents an real-time multi machine power system simulator using PCs(Personal Computer) and Fast Ethernet. Developed real-time simulator performs the electro-mechanical dynamic simulation of multi-machine power system by the network distributed computing technique. Because the simulator consists of usual PCs and Fast Ethernet, it is possible to make up a simulation system very cheaper than the conventional real-time simulator which consists of dedicated expensive hardware devices. The performance of the developed simulator is tested and verified with the scaled model excitation system. The test which adjust the control parameters of the exciter is performed with the well-known New England 10 generator 39 bus sample power system.

Key Words : Real-time simulator, Personal computer, Fast ethernet, Excitation system, Controller parameter tuning

1. 서 론

현대의 전력 기기들은 수많은 비선형 소자로 이루어져 있고, 계통의 운전 조건에 따라 그 동작 환경도 크게 달라진다. 따라서 새로운 기기의 테스트 및 제어 파라미터 설정은 실제 계통에 기기를 직접 연결하여 수행하는 것이 가장 이상적이지만, 이 방법은 기기의 안정성을 보장할 수 없기 때문에 자칫 계통의 안정도를 해칠 가능성이 있어서 비현실적이다. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위하여 실시간 시뮬레이터를 이용하여 기기의 설정 및 시험을 수행하는 방법에 관한 다양한 연구가 진행되었다[1,2,3,4].

하지만 복잡한 전력시스템의 동적 특성을 실시간으로 모의하기 위해서는 엄청난 계산 량이 필요하기 때문에 기존의 일반적인 단일 컴퓨터 시스템으로 이를 구현하는 것은 현실적으로 불가능하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 주변 계통을 매우 간단히 축약하여 모의하거나 사전에 모의된 결과의 출력 파형만을 실시간으로 재현하는 등의 제한적인 방법을 사용하여 테스트를 수행하는 방법이 제안되었으나, 실제 계통 환경과의 큰 차이 및 실시간 상호 작용 불가 등 많은 제약이 따르게 된다. 다른 방법으로 많은 량의 데이터 연산을 고속의 전용 프로세서에 분산하여 병렬로 계산함으로써 문제를 해결하는 RTDS (Real Time Digital Simulator)

가 개발되어 활용되고 있다[5]. 그러나 RTDS 시스템은 매우 고가의 고성능 전용 하드웨어를 사용하여 개발되었기 때문에 적은 규모의 전력 시스템을 모의하기 위해서도 많은 설치비용이 드는 문제점이 있고 시뮬레이터를 구성하는 대부분의 하드웨어나 프로세서가 시뮬레이션 목적만을 위한 전용 장비들이기 때문에 고가의 고성능 시스템을 다른 목적에 사용하기가 사실상 불가능하여 장비의 활용 효율이 떨어지게 된다. 이러한 이유로 RTDS는 고가의 설치비용을 감당할 수 있는 일부 전문적인 기관에서만 제한적으로 활용되고 있다.

본 논문은 주변에서 저렴하게 이용할 수 있는 다수의 범용 개인용 컴퓨터와 고속 이더넷을 이용하여 대규모 전력 시스템의 동적 특성을 실시간으로 모의하고, A/D와 D/A 변환기를 통해 실제 기기와 연결하여 안전하게 시험할 수 있는 경제성과 유연성을 갖춘 실시간 시뮬레이터를 소개하였다. 제안된 시뮬레이터는 동특성 모의에 필요한 대량의 연산을 고속 이더넷을 통해 여러 대의 개인용 컴퓨터에 분산하여 처리하는 네트워크 분산 처리 기법을 통해 실시간으로 처리할 수 있도록 하였다. 또한 일반 업무 및 연구 등에 널리 사용되는 범용 개인용 컴퓨터와 사실상 LAN (Local Area Network)의 표준으로 자리 잡은 고속 이더넷을 이용하기 때문에 경제적이며 설치 장소의 제약이 적어 기기의 테스트 및 파라미터 설정, 엔지니어 트레이닝 및 학생 교육 등 다양한 목적으로 활용할 수 있다.

본 논문에서는 개발된 실시간 시뮬레이터의 성능을 확인하기 위해서 축소 모형 여자제어기를 제작하고 이를 개발된 실시간 시뮬레이터와 연결하여 여자제어기의 제어 파라미터

[†] 교신저자, 正會員 : LS産電 技術戰略팀 責任研究員 · E.博

E-mail : yeinsdad@naver.com

接受日字 : 2008年 11月 24日

最終完了 : 2008年 12月 4日

를 설정하는 작업을 보였다.

2. 전력 시스템 모의 방법

전력 시스템은 다양한 동특성을 가진 수많은 기기들과 이들을 연결하는 선로 네트워크의 집합으로 이루어져 있다. 따라서 이러한 전력 시스템의 동특성을 시뮬레이션 하는 문제는 아래의 수식과 같이 여러 기기들의 동특성을 나타내는 다수의 미분 방정식과 선로 네트워크의 정적 특성을 나타내는 대수 방정식으로 이루어진 방정식을 푸는 문제로 정의된다.

$$\dot{y} = f(y, x) \tag{1}$$

$$0 = g(y, x) \tag{2}$$

본 논문에서는 실시간 시뮬레이션에 중요한 요소인 항상 일정한 계산 시간을 보장하는데 유리한 분할 해석 방법(partitioned method)을 통하여 위의 상태 방정식을 모의하였다. 즉, 각 스텝마다 수치 적분 방법을 이용하여 식 (1)의 상태 방정식을 풀고, 이 결과를 이용하여 식 (2)의 대수방정식을 푸는 형태로 미분 방정식과 대수 방정식을 분리하여 계산을 수행하는 방법을 사용하였다[1,6,7].

3. 실시간 시뮬레이터의 구성

호스트 컴퓨터, 클라이언트 컴퓨터, A/D, D/A 변환기 및 실험 대상 외부 전력 기기로 구성된 전체 시스템의 구성은 아래 그림 1과 같다.

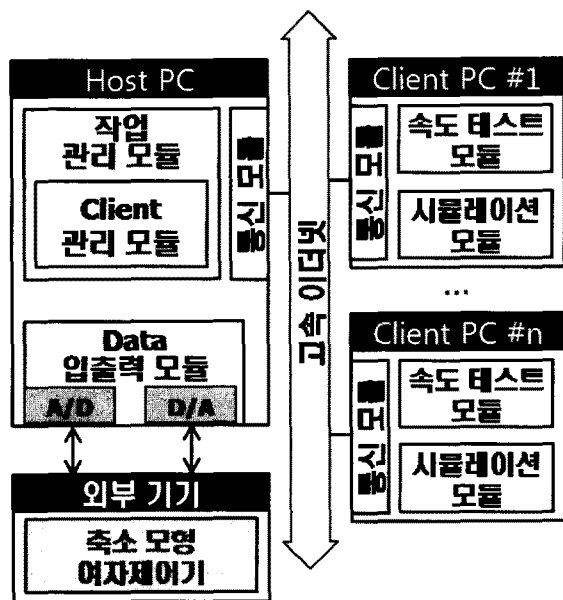


그림 1 시뮬레이터의 블록도
Fig. 1 Block diagram of the simulator

호스트 컴퓨터와 클라이언트 컴퓨터는 고속 이더넷을 이용하는 네트워크 인터페이스 카드(NIC)를 직접 제어하여 초고속 통신을 수행하는 통신 모듈을 가지고 있어서, 시뮬레이션에 필요한 입력 데이터와 시뮬레이션 결과를 상호간에 교환할 수 있다.

각 클라이언트 컴퓨터는 속도 테스트 모듈을 가지고 있어서 모의를 수행할 수 있는 성능 한계를 자동으로 시험한 후 호스트 컴퓨터에 알리게 된다. 호스트 컴퓨터는 이를 토대로 작업 관리 모듈을 통해 자동으로 각 클라이언트의 처리 능력에 맞게 전체 작업량을 배분하고, 각 클라이언트와의 데이터 입출력을 관리한다. 이러한 자동 작업 관리 기능을 통해 모의에 사용하는 클라이언트 컴퓨터의 성능 제약 및 시뮬레이션 동기화를 위한 복잡한 설정이 필요 없어짐으로써 시뮬레이터 활용의 융통성을 높일 수 있다.

또한 호스트 컴퓨터에는 A/D 및 D/A 변환기로 구성된 데이터 입출력 모듈이 구현되어 있어서 외부 기기와의 상호작용이 필요할 경우 이를 통하여 외부 기기와의 연결을 관리한다. 일반적으로 테스트에 사용되는 전력기기의 전압 레벨은 호스트 컴퓨터에 장착된 A/D 및 D/A 변환기보다 매우 높기 때문에, 실제 전력 기기와 시뮬레이터의 연결을 위해서는 power amplifier나 전압, 전류 센서 등이 사용된다[3].

4. 고속 이더넷을 이용한 네트워크 병렬 처리 기법

본 논문에서 개발한 시뮬레이터는 네트워크 병렬 처리 방식을 이용하여 실시간 모의를 수행하게 된다. 이러한 방식으로 실시간 모의를 수행하기 위해서는 매우 빠른 속도로 많은 양의 데이터를 각 워크스테이션 사이의 네트워크를 통해 교환해야 하는데, 이를 위해 본 논문에서는 사실상 인터넷과 LAN(Local Area Network)의 표준으로 자리 잡은 고속 이더넷을 이용하여 각 워크스테이션간의 통신을 구현하였다. 고속 이더넷은 스위칭 허브와 함께 사용되어 I/O 작업을 수행할 경우 그 통신 속도나 성능이 예측 가능(predictable)하고 주고받는 메시지의 크기에 따라 통신소요 시간이 결정적(deterministic)이라는 것이 증명되었다[8]. 즉, 스위칭 허브와 함께 고속 이더넷을 사용할 경우 전체 밴드 위스의 50% 부하(6,000 kBytes/sec)까지 통신에 소요되는 시간을 예측할 수 있고, 그 소요 시간이 항상 일정하기 때문에 이를 이용한 실시간 제어 및 실시간 시뮬레이션이 가능하게 된다.

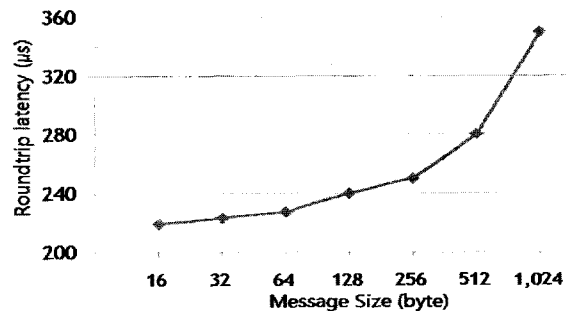


그림 2 고속 이더넷의 통신 왕복 대기 시간
Fig. 2 Roundtrip latency of the Fast Ethernet

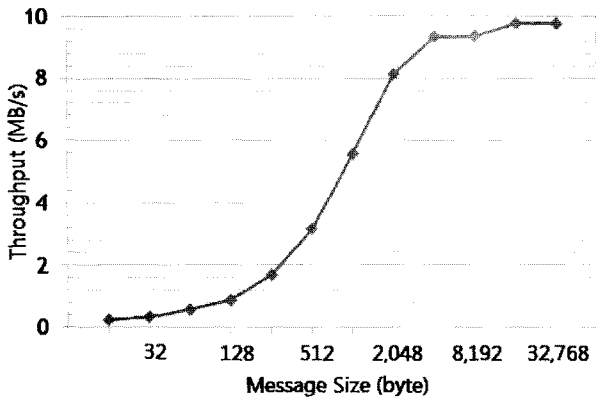


그림 3 고속 이더넷의 데이터 전송 능력
Fig. 3 Data throughput of the Fast Ethernet

위의 그림 2와 그림 3은 각각 고속 이더넷을 이용한 통신 시의 메시지 크기에 대한 통신 왕복대기 시간과 전송능력을 나타낸 것이다[9]. 이러한 특징을 이용하여 고속 이더넷을 이용하여 구성할 수 있는 시뮬레이터의 규모를 가늠해 볼 수 있다. 즉, 시뮬레이션 한 스텝을 모의하는데 소요되는 총 시간은 아래의 식 (3) ~ 식 (5)와 같다.

$$T_{all} = \frac{T_{comm}}{5} + T_{sim} + T_{host} \quad (3)$$

$$T_{comm} = T_{rtt} \times N \quad (4)$$

$$T_{host} = T_{network} + T_{etc} \quad (5)$$

식 (3)에서 T_{all} 은 시뮬레이션 한 스텝을 모의하는데 소요되는 총 소요 시간을 뜻하며, T_{sim} 은 여러 클라이언트 중에서 가장 긴 시뮬레이션 시간을 갖는 클라이언트의 시뮬레이션 시간, $T_{network}$ 은 여러 클라이언트에서 연산된 미분 방정식의 결과를 이용하여 네트워크의 다음 스텝 값을 계산하기 위한 대수 방정식을 푸는 시간, 그리고 T_{etc} 는 통신 관리 및 대기 시간, 클라이언트 관리에 필요한 시간 및 여유 등을 포함한 기타 시간을 나타낸다. 식 (4)에서 T_{comm} 은 통신에 소요되는 시간을 나타내며 이는 호스트와 한대의 클라이언트 사이에 메시지를 한 번 주고받는데 드는 통신 왕복대기 시간과 총 클라이언트의 곱으로 표현된다. 여기서 T_{comm} 을 5로 나눈 값을 사용하였는데, 이는 스위칭 허브를 사용할 경우 보통의 더미 허브를 사용한 경우에 비해 그 통신 성능이 5배가량 향상되기 때문이다 [9].

Intel Pentium 4 3.0GHz급의 CPU를 사용하는 컴퓨터로 클라이언트를 구성할 경우의 시뮬레이션 성능은 아래의 식 (6)과 같이 구할 수 있다. 모의 간격 1ms로 모의하는 경우 모델의 복잡도에 따라 다르지만 차과도 모델 동기 발전기 여자제어기, PSS, 거버너, 터빈, 매스 모델로 구성된 발전기 터미널을 전부 모의하는 경우에 Pentium 4 컴퓨터 1대에서 이론적으로 약 29대 이상의 계산을 처리할 수 있다. 하지만 너무 많은 발전기 터미널을 처리할 경우 통신 데이터 사이즈가 커져서 통신 시간이 증가하기 때문에 모의 발전기 수

와 통신 데이터의 사이즈 사이에 적절한 타협이 필요하다. 클라이언트 1대에서 10대의 발전기 터미널을 모의하는 경우에 통신 왕복대기 시간은 약 $350\mu s$ 정도이다. 또한 약 40개의 bus로 구성된 계통을 모의하는데 소요되는 시간은 50% 여유를 가정해도 $50\mu s$ 를 넘지 않는다.

$$N < \frac{(1000\mu s - 339.1\mu s - 50\mu s - 50\mu s) \times 5}{350\mu s} = 8.01 \quad (6)$$

이상의 결과를 종합할 때 시뮬레이션의 모의 간격을 1ms로 하여 Intel Pentium 4 3.0GHz급 클라이언트 컴퓨터로 시뮬레이터를 구성하여 고속 이더넷을 통한 실시간 모의를 수행할 경우, 실시간 모의가 가능한 최대 접속 클라이언트의 수는 8대이고 이는 동시에 80대의 동기 발전기로 구성된 대규모 전력 시스템을 실시간으로 모의할 수 있는 성능이다. 발전기 80대 규모의 전력 시스템을 모의할 수 있는 능력은 대부분의 경우에 충분할 것으로 예상되지만, 만약 더 큰 규모의 전력 시스템 모의가 필요한 경우에는 고속 이더넷 대신 기가비트 이더넷을 사용하여 네트워크를 구성하거나, 아래 그림 4와 같이 호스트 컴퓨터에 다수의 네트워크 인터페이스 카드를 확장하여 여러 개의 네트워크를 구성하면 훨씬 큰 규모의 대기 다모션 전력 시스템을 실시간으로 모의할 수 있다.

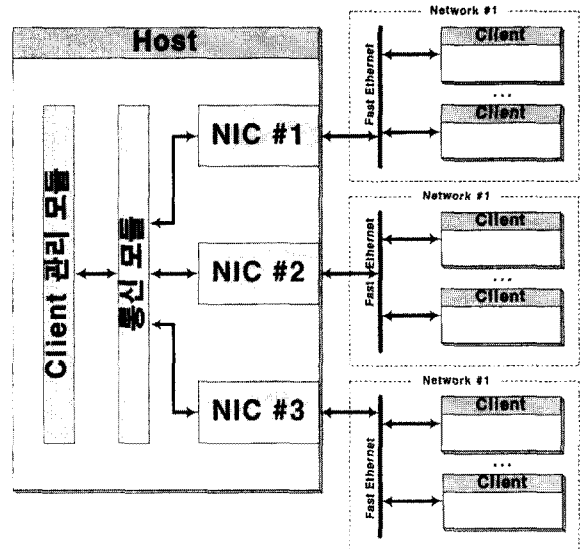


그림 4 다중 네트워크 카드를 이용한 성능 확장
Fig. 4 Expansion of the simulation capacity using multiple network adaptors

5. 개발된 시뮬레이터를 이용한 여자제어기의 제어 파라미터 설정

개발된 실시간 시뮬레이터의 성능을 시험하기 위하여 간단한 디지털 축소 모형 여자제어기를 제작하고 이를 A/D 및 D/A 변환기를 통해 시뮬레이터와 연결하여 최적의 제어 파라미터를 설정하는 작업을 수행하였다. 파라미터 설정에 사용된 모의 계통은 널리 알려진 New England 10기 39모

선 전력 시스템으로 그 구성은 아래의 그림 5와 같다.

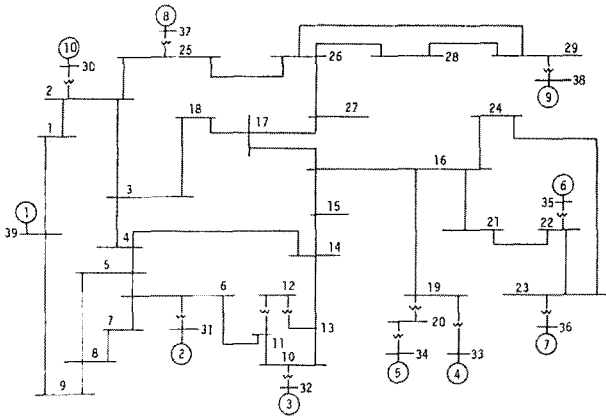


그림 5 New England 10기 39모선 전력 시스템
Fig. 5 New England Power System

본 논문에서는 제작된 축소 모형 여자제어기가 New England 시스템의 30번 모선에 연결된 10번 발전기에 설치된 것으로 가정하고 파라미터 설정을 수행하였다. 제어 파라미터 설정에 사용된 축소 모형 여자제어기는 IEEE type ST2A 여자제어기로서 그 구성은 아래 그림 6과 같다[10].

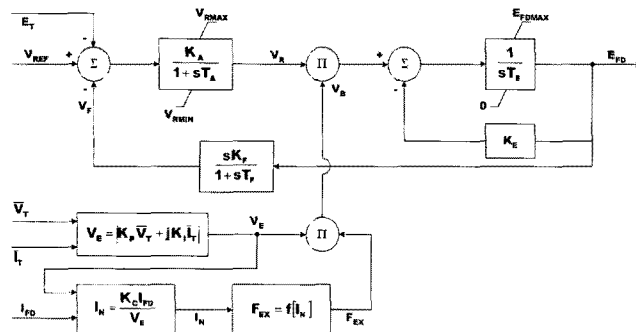


그림 6 IEEE type ST2A 여자제어기의 블록선도
Fig. 6 Block diagram of IEEE type ST2A Exciter

발전기 여자제어기는 여자제어시스템(Excitation Control System)과 전력계통의 동적 특성 및 안정도에 많은 영향을 미치는 장치로써, 여자제어기의 적절한 제어 파라미터 설정은 전력시스템의 안정적인 운용을 위해 매우 중요한 요소이다. 기존에 사용된 여자제어기의 파라미터 설정법은 주로 특정 동작점에서 구해진 여자제어시스템의 수학적 선형 모델과 그 주파수 응답 특성을 이용하여 발전기 터미널 전압의 응답이 안정적인 제동 특성을 가지도록 하는 방법이 사용되었다[10,11]. 하지만 본 논문에서 파라미터 설정에 사용된 IEEE type ST2A 여자제어기는 여자제어기 및 발전기의 보호를 위해 여자제어기의 출력을 제한하는 제한기 회로가 존재한다. 또한 이 여자제어기는 동기 발전기가 연결된 모선의 전압뿐만 아니라 정류회로부터도 여자 전원을 얻기 위해 복합 전원 정류회로(Compound Source Rectifier)를 사용하는데, 이 때문에 동기 발전기 단자 전원과 여자기 출력 전원

사이의 관계가 매우 복잡한 비선형성을 갖는다. ST2A 여자제어기와 같이 현대의 여자제어기는 이러한 수많은 비선형적 특성을 갖기 때문에 기존의 수학적 선형 모델을 이용하여 파라미터를 설정하기가 쉽지 않다[11].

시험에 사용된 ST2A 여자제어기의 주요 파라미터의 값과 의미, 기존의 수학적 선형 모델을 이용하여 설정한 제어 파라미터 K_A 와 K_F 는 아래의 표 1과 같다[10]. 또한 모의에 사용된 10번 발전기의 출력과 선로의 조건은 표 2와 같다. 여기서 P_T 와 Q_T 는 각각 10번 발전기 출력의 유효값[MW]과 무효값[MVar]을 나타내고, R_E 와 X_E 는 각각 10번 발전기와 계통 사이의 선로의 저항과 리액턴스값[pu]을 나타낸다.

표 1 IEEE ST2A 여자제어기의 파라미터
Table 1 Parameters of the IEEE ST2A Exciter

K_A	120	조정기 이득
K_F	0.067	여자제어기 안정화 회로 이득
T_A	0.15	여자기 시정수 [초]
T_F	1.0	여자제어기 안정화 회로 시정수 [초]
K_E	1.0	self-excited field와 관련된 여자기 상수
T_E	0.5	여자기 시정수 [초]
K_P	1.19	페이저 조합 회로의 이득 정수
K_C	0.5	정류 리액턴스와 비례되는 정류기 부하 인자
K_I	2.5	페이저 조합 회로의 이득 정수
$V_{R,max}$	1.2	여자제어기 조정기의 출력 상한 값
$V_{R,min}$	-1.2	여자제어기 조정기의 출력 하한 값
$E_{FD,max}$	4.5	여자제어기 출력 제한 값

표 2 10번 발전기의 운전 조건

Table 2 Operating condition of the generator #10

P_T	Q_T	R_E	X_E
250 [MW]	20.9 [MVar]	0.0087 [pu]	0.1 [pu]

현대의 전력 계통은 매우 빠르게 증가하는 전력 수요에 비해 더딘 설비 증설로 인해 계통의 안정도 마진이 열악해지는 상황이다. 이러한 문제점을 보상하기 위해서는 여자제어시스템이 보다 빠른 응답 속도를 보이면서 충분한 제동 토크를 갖도록 제어 파라미터를 설정하여야 한다[6,10,11]. 이러한 관점에서 표 2의 운전 조건에서 ST2A 여자제어기를 개발된 실시간 시뮬레이터와 연결하여 상호 동작시키면서 최적의 제어 파라미터를 설정하였다. 시험을 통해 얻어진 새로운 제어 파라미터는 아래 표 3과 같고, 파라미터 튜닝 전, 후의 여자제어시스템의 동적 특성을 비교하기 위하여 여자제어기의 기준 전압 V_{ref} 를 step으로 증가시킨 경우의 10번 발전기의 동적 응답 특성은 그림 7, 그림 8과 같다.

표 3 새로운 제어 파라미터

Table 3 New control parameters of the ST2A Exciter

K_A	999	K_F	0.042
-------	-----	-------	-------

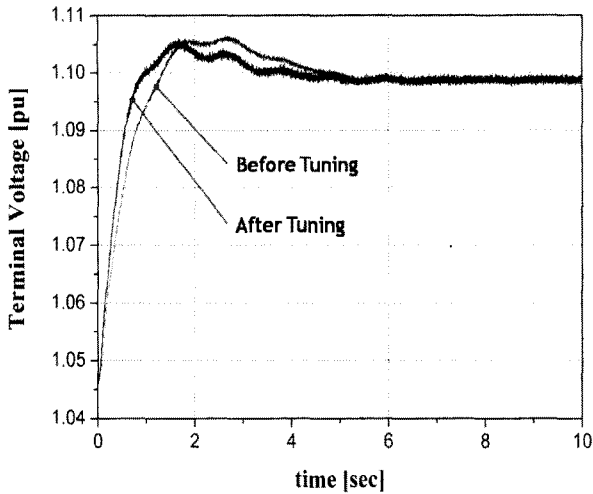


그림 7 튜닝 전,후 여자제어시스템의 응답 비교 - 발전기 단자전압

Fig. 7 Comparison of the excitation system response between before and after tuning - terminal voltage

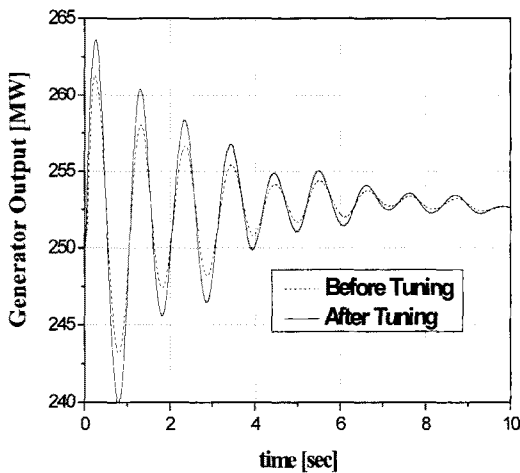


그림 8 튜닝 전,후 여자제어시스템의 응답 비교 - 발전기 출력

Fig. 8 Comparison of the excitation system response between before and after tuning - generator output power

그림 7에서 볼 수 있듯이 기존의 수학적 등가 모형을 이용하여 구해진 파라미터를 사용한 여자제어시스템은 0.755초의 상승 시간을 보이며 안정적인 제동 특성을 보이는 것을 알 수 있다. 그리고 계통의 안정도 마진을 향상 시킬 목적으로 튜닝을 수행한 결과 얻어진 제어파라미터에 의한 여자제어시스템의 상승 시간은 0.525초로서 튜닝 전의 응답에

비해 0.23초 빠른 응답을 보이고, 그림 8과 같이 여전히 충분히 안정적인 제동 토크를 제공하고 있음을 볼 수 있다.

6. 결 론

본 논문은 범용 개인용 컴퓨터와 고속 이더넷을 기반으로 네트워크 분산 처리 기법을 이용하여 엄청난 연산량이 필요한 다기 다모선 대규모 전력시스템의 동적 특성을 실시간으로 모의할 수 있는 경제적이고 다양한 활용이 가능한 시뮬레이터의 개발에 대하여 소개하였다. 개발된 시뮬레이터는 가격이 저렴하고 대중화 되어 있는 범용 개인용 컴퓨터와 고속 이더넷을 기반으로 개발되었기 때문에 DSP나 고가의 전용 컴퓨터를 이용한 기존의 시뮬레이터에 비해 가격이 저렴하고 이식성이 뛰어나기 뿐만 아니라 시뮬레이터를 구성하는 하드웨어를 연구나 일반 업무에도 활용할 수 있어 그 활용도가 매우 크다. 개발된 시뮬레이터는 다기 다모선 전력시스템의 동적 특성을 실시간으로 모의할 수 있고 A/D 및 D/A 변환기를 통해 실제의 전력기기와 연결하여 상호 작용을 수행할 수 있기 때문에 실제 계통에 대한 안정도를 해결 위험 없이 전력기기를 실제 계통 상황과 유사한 조건에서 자유롭게 시험할 수 있다. 또한 제안된 시뮬레이터는 전력기기의 시험 외에도 현장 엔지니어의 훈련 및 학생들의 교육 목적 등 전력 시스템 동특성 모의가 요구되는 다양한 분야에 활용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히 기반 플랫폼으로 사용된 개인용 컴퓨터나 고속 이더넷기술의 비약적인 발전에 따라 그 성능이 자연스럽게 향상되는 부수적인 효과를 기대할 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 축소 모형 여자제어기를 제작하여 실시간 시뮬레이터와 연결하고, 여자제어기가 New England 10기 39모선 테스트 시스템에 연결된 상황에서 계통의 안정도 마진을 향상시키기 위한 파라미터 설정을 하는 사례 연구를 통해 개발된 실시간 시뮬레이터의 성능을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] Seung-Il Moon, Kook-Hun Kim, Jong-Bo Ahn, Seog-Joo Kim, Jong-Moo Lee, So-Hyung Kim, Il-Do Yoo and Jung-mun Kim, "Development of a new on-line Synchronous Generator Simulator using Personal Computer for Excitation System Studies", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 13, No. 3, pp.762-767, Aug. 1998.
- [2] Tae-Kyun Kim, Yong-Hak Kim, Jeong-Hoon Shin, Jin-Boo Choo, "The Overview of a Digital Power System Simulator for Large Power System Analysis", KIEE International Transactions on Power Engineering, Vol. 3, No. 2, pp.93-99, 2003.
- [3] Jin-Hong Jeon, Seul-Ki Kim, Chang-Hee Cho, Jong-Bo Ahn, Eung-Sang Kim, "Development of Simulator System for Microgrids with Renewable Energy Sources", Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. 1 No. 4, pp.409-413, Dec. 2006.
- [4] 박철원, 신명철, 안태풍, "디지털 보호계전기의 시험을

위한 시뮬레이터에 관한 연구”, Trans. KIEE, Vol. 55P, No. 4, pp.183-189, Dec. 2006.

[5] R. Kuffel, J. Giesbrecht, T. Maguire, R.P. Wierckx, P. McLaren, "RTDS-A fully digital power system simulator operating in real time", International Conference on Energy Management and Power Delivery, Vol.2, pp. 21-23, Nov. 1995.

[6] P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, New York, 1994.

[7] W. D. Humpage, K. P. Wong and Y. W. Lee, "Numerical integraton algorithms in power-system dynamic analysis", IEE Proceedings, Vol. 121, pp. 467-473, June 1974.

[8] Swales, Andy, "Industrial Internets: Enabling Transparent Factories", National Manufacturing Week, 1998.

[9] Koen Langendoen, Rutger Hofman, Henri Bal, "Challenging Applications on Fast Networks", Proceedings of High-Performance Computer Architecture, 1998. 1998 Fourth International Symposium, Feb 1998.

[10] IEEE Std. 421.2-1990, IEEE Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems.

[11] Rodolfo J. Koessler, "Techniques for tuning excitation system parameter", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 3, No. 4, pp. 785-791, December 1988.

저 자 소 개



김 중 문 (金 重 文)

1971년 11월 30일생. 1996년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 서울대학교 전기컴퓨터 공학부 졸업(공학박). 2003년~현재 LS산전 중앙연구소 책임연구원.

Tel : 031-450-7289

Fax : 031-453-6263

E-mail : yeinsdad@naver.com