

# 실시간 대규모

# 전력계통 해석기술(II)

SPECIAL-3  
논단 & 특집

한전 전력연구원 전력계통해석센터 - 차승태, 신정훈, 김태균, 추진부

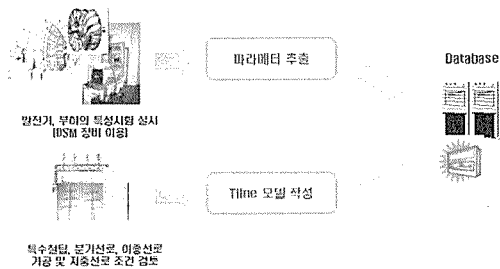
동 내용은 8월호 이어 연재하는 것임.



## 5. 주요 기술 분류

### ○ 실시간 해석용 전력 데이터베이스

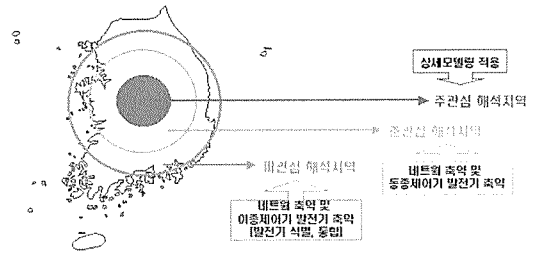
신뢰성 있는 해석과 과도현상을 모의하기 위해서는 적절한 모델과 이에 상응하는 정확한 모델정수가 요구된다. 특히, 대규모 전력계통의 안정도 해석용 모델과 정수는 안정된 전력계통 계획과 운용에 있어서 그 정확성을 더욱 요구하고 있다. 따라서, 발전기, 송전선 및 부하를 대상으로 현장 특성시험을 통한 데이터 취득 및 파라미터 추출기술 등이 해당된다.



실시간 해석용 데이터베이스 구축

### ○ 시스템 축약 기술

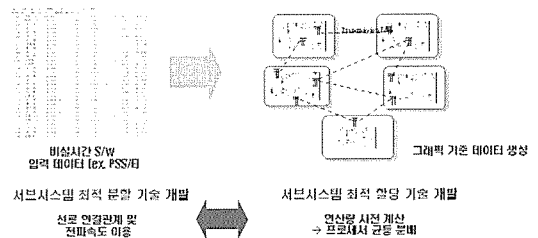
전력계통은 발전설비, 송/변전설비, 부하 등으로 구성된 대규모 시스템이므로, 이를 전력계통 축약 없이 실시간 시뮬레이터를 활용하여 해석하는 것은 현실적으로 불가능하다. 또한 현재의 전력계통을 축약과정 없이 그대로 해석할 수 있는 시뮬레이터를 확보할 지라도 전력계통은 지속적으로 확장되므로, 시뮬레이터를 추가적으로 확보하기 보다는 적절한 전력계통 축약기술을 개발하는 것이 보다 경제적이다. 시스템 축약 기술은 시스템의 정적/동적 축약을 위하여 네트워크 축약기술과 동/이종 제어기를 갖는 발전기의 식별기술을 포함하며 대규모 전력계통을 주관심 지역 및 준관심, 비관심 해석지역으로 구분하여 주관심 해석지역의 경우 계통설비의 상세모델을 사용하고 기타 지역의 경우 정적 혹은 동적 축약을 수행하는 기능이 해당된다.



시스템 축약 기술

### ○ 데이터 변환 기술

일반적으로 계통해석에 사용되는 입력데이터 형식은 아스키(ASCII) 코드로 되어 있으므로, 시뮬레이터를 이용하기 위해서는 이를 그래픽 기준의 계통도면으로 변환해야 한다. 해석 대상계통의 규모가 클수록 작성해야 하는 계통도면의 수가 많아짐으로 계통도면 작성에 많은 시간을 할애해야 하며, 동시에 파라미터 입력에 따른 인적오류를 피할 수 없게 된다. 데이터 변환 기술은 아스키 코드 형식(e.g PSS/E 데이터 형식)의 입력데이터를 그래픽 기준(KEPS Draft)의 계통도면으로 자동 변환하고, 동시에 파라미터를 자동으로 입력하는 S/W 기술이다.

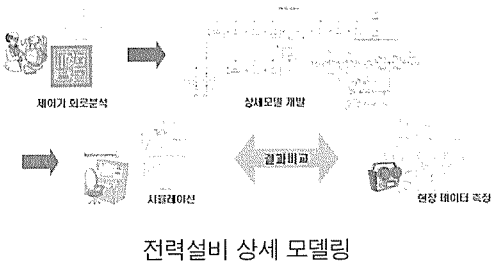


데이터 변환 기술

### ○ 전력설비 상세 모델링 기술

전력계통 해석 결과의 정확성 여부는 1차적으로 사용 모델의 정밀도에 있다. 본 기술분야에서는 한전 실계통에서 사용하고 있는 다양한 발전기 제어계의 모델, 터빈-조속기, 전력계통안정화장치(Power System Stabilizer),

UPFC(Unified Power Flow Controller) 제어기 모델들에 대하여 실시간 전력계통 해석이 가능토록 보다 정밀하게 모델링 하는 기술이다.



### 6. KEPS를 이용한 실시간 모의 응용사례

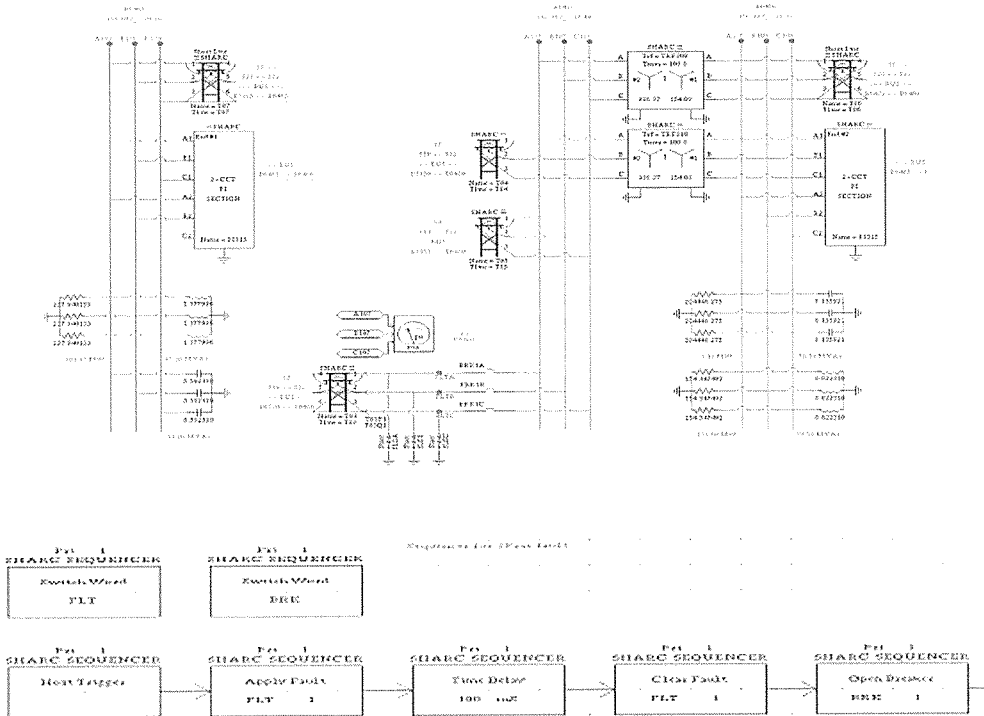
본 절에서는 KEPS를 이용한 실시간 시뮬레이션 사례

로써 대규모 한전계통의 과도 안정도 해석 결과와 전력계통 안정화장치(Power System Stabilizer, PSS)의 현장설치 전 성능시험, 계전기 응동시험 등의 외부기기 성능시험 방법 및 모의 결과를 소개한다.

#### ○ 대규모 한전 계통의 실시간 해석

본 시험의 대상계통은 대규모 한전계통으로써 원계통이 모선 수 779, 발전기 177기, 변압기 326대, 총 발전량 38,359MW로 PSS/E 입력데이터를 근간으로 구성된 계통이다.

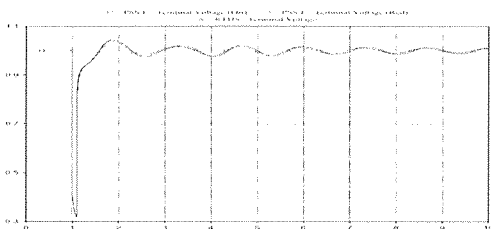
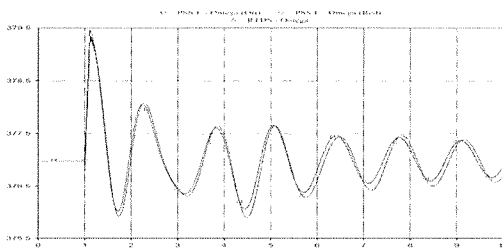
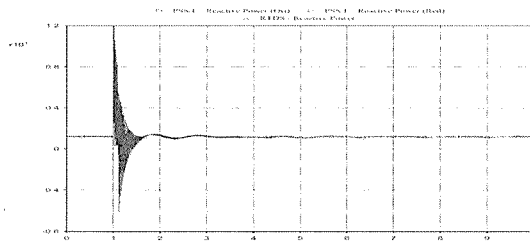
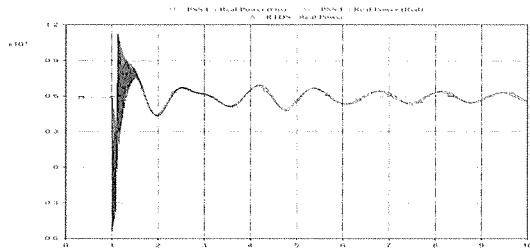
앞에서 제시한 시스템 축약 프로그램을 이용하여 원계통의 동 특성을 충분히 반영하여 축약된 계통은 모선수 295, 발전기 88대, 변압기 202대 이며 총 발전량은 원계통과 동일하다.



변환된 드래프트 파일(고장 시퀀스 포함)

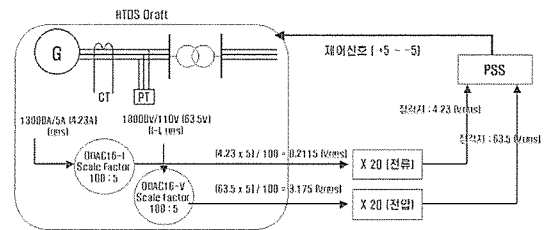


축약계통은 3PC로 구성된 시뮬레이터에서 총 26락을 사용하여, 계통 행렬 실시간 연산을 위한 모선수 제약을 두배로 늘이는 2개의 네트워크 솔루션을 이용하여 구성되었으며 시뮬레이션 타임스텝은 68  $\mu$ s로 정확한 해석 결과를 도출하였다. 상기그림은 축약계통이 변환된 시뮬레이터 드래프트 파일이며 과도 안정도 해석을 위한 고장 시퀀스가 포함되어 있다.



## ○ 전력계통 안정화 장치(PSS)의 실계통 설치전 성능시험

본 시험은 전력 증폭기를 사용하여 PSS입력 신호인 전압 110V, 전류 5A 크기(현장의 CT, PT 신호레벨)를 그대로 재생함으로써 현장과 동일한 시험환경을 제공한다. PSS 성능시험을 위한 결선은 다음 그림과 같으며, PSS 페루프 시험을 위한 결선도에 나타난 바와 같이, 실시간 시뮬레이터의 단위 큐비클에 장착된 D/A 변환기를 이용하여 시뮬레이터 내부에서 계산된 디지털 신호를 5V 크기의 아날로그 신호로 내 보낸 후, 전력 증폭기를 이용하여 실제 크기를 재생, PSS로 입력되고 이 신호에 의해 발생하는 PSS 출력 제어신호가 다시 단위 큐비클에 부착된 A/D 변환기를 거쳐 구성된 모의계통으로 다시 피드백(feedback)되는 페루프(Closed-Loop) 제어 시험이다.

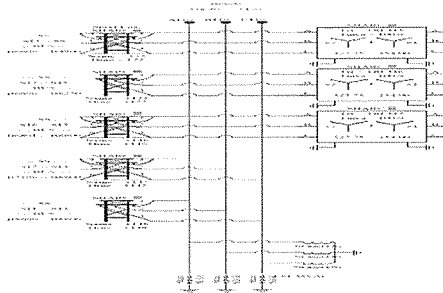
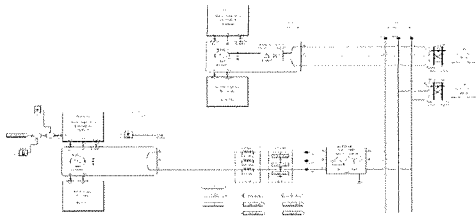


PSS 페루프 시험을 위한 결선도

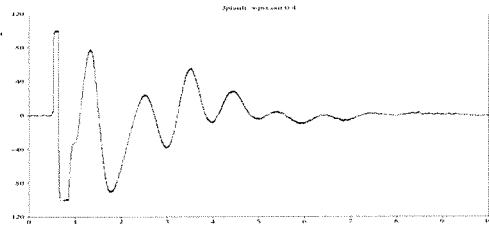
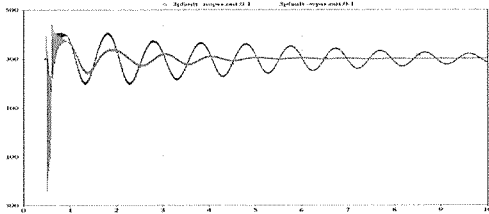
성능시험 결과 고장제거 후 PSS가 있을 때와 없을 때의 댐핑 특성이 현저히 차이가 있었으며, 이는 현장시험 결과와도 일치하였다.

아래의 그림은 PSS 페루프 제어시험을 위한 계통 구성과 무주양수 발전소 인근 모선(신옥천)에 3상 단락사고를 낸 후 제거하여 PSS의 응답 특성 및 효과를 보기 위한 계통도(드래프트)이다.

← 고리 #2 발전기의 응답 특성  
(유효전력, 무효전력, 단자전압, 위상각)



외부 PSS 신호의 연결도와 고장인가 위치



PSS 응답 특성 (발전기 출력, PSS 출력제어신호, 단자전압)

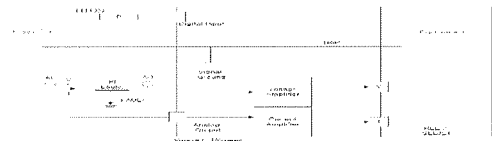
상기 그림은 대규모 계통의 동특성을 실시간으로 유지하면서, PSS의 성능을 입증한 시험결과이다. 고장 제거 후 PSS가 있을 때와 없을 때의 댐핑특성이 현저히 차이가 있었으며 이는 현장시험 결과와도 일치한다. 이미 알려진 바와 같이, PSS의 동작은 미소신

호 안정도를 향상시키면서 동시에 초기 단자전압을 미소하게 훼손시킨다는 것을 상기 그림의 3 번째 결과에서 알 수 있다.

### ○ 보호 계전기 성능시험

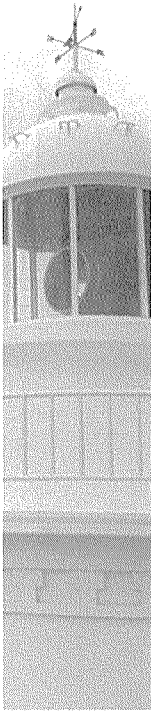
본 시험에서는 실시간 디지털 시뮬레이터(1백)를 사용하는 샘플계통을 이용하여 계전기의 페루프 응답 특성을 모의하도록 한다. 앞절에 제시한 페루프 시험은 피드백 되는 신호가 아날로그 신호인데 반하여 본 절에서의 시험은 계전기 접점을 On/Off 하는 디지털 신호가 피드백 신호로 사용된다. 이를 위해서는 큐비클에 부착된 디지털 신호 입출력 패널을 이용하여 이진 디지털 신호를 입력 받아야만 한다.

실시간 디지털 시뮬레이터를 이용한 보호 계전기의 폐회로 시험은 시뮬레이터로부터 출력되는 계통신호(대상선로의 전압, 전류신호)가 계전기로 입력되고 계전기의 출력신호(트립신호, 재폐로 신호)가 다시 폐회로로 구성된 계통으로 입력되는 양방향의 신호가 시뮬레이터에 요구된다. 폐회로 신호는 고장상태에 대한 계전기의 초기응답과 함께, 계전기의 동작상태에 따른 계통의 응답을 알 수가 있다. 또한, 여러 가지 장치들을 폐회로에 연결하여 보호계전 방법, 스킴(scheme)등을 시험할 수 있다.

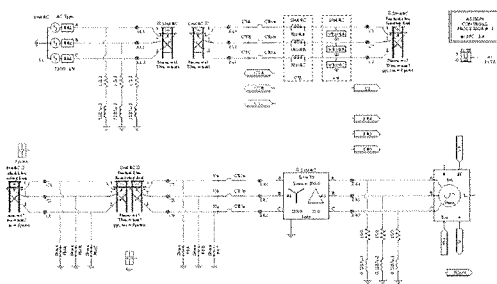


실시간 시뮬레이터와 계전기와의 연결을 위한 블럭도

계전기 신호를 계통으로 피드백 받기 위해서는 계통의 과도응답이 실시간으로 계속 발생되어야 한다. 전력계통의 알고리즘 연산이 실시간으로 계산되어야 함은 물론이고(실지 1분동안의 시간이 1분동안의 시뮬레이션 시간과 같아야 한다) 그 1분 동안의 모든 시간구간(time step, 50 μsec)에 대해 실시간 연산이

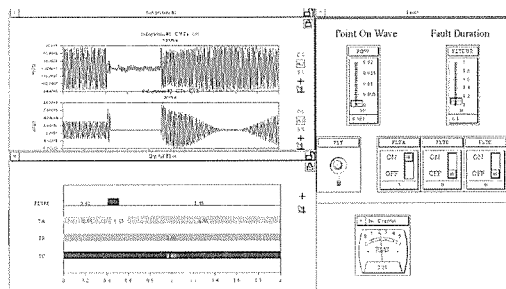


수행되어야 한다.(실지 50  $\mu$ sec와 동일하게)  
계전기 시험을 위한 해석대상 계통(드래프트)



본 시험에서 사용할 계전기 시험방법은 페루프 시험(closed-loop test)으로써 계전기의 출력신호(트립신호)를 시뮬레이터 입력으로 피드백 하여, 구성된 계통의 차단기를 동작시키게 된다. 이를 위해서는 계전기 출력 디지털 신호를 시뮬레이터 디지털 입력단자로 연결하여야 하며 이 때 디지털 입력 패널을 이용한다. 디지털 입력 패널로 입력된 신호를 구성한 계통에서 인식하기 위해서는 디지털 입력 포트를 이용하는데, 이 때 입력된 신호가 0,1의 값을 가진 디지털 데이터임에 주의한다.(입력 신호가 인가되었을 경우, 0V를 표시(0)하며 그렇지 않을 경우 5V(1)가 인가되어 진다) 본 시스템에서 사용하는 디지털 입력은 총 6개로 Ta, Tb, Tc,(Trip 접점 3개) Ra, Rb, Rc(리클로징 접점 3개)를 사용한다.해석 대상계통은 발전기 1대, 변압기 1대와 무한모선으로 구성된 계통으로 송전선로 모델(Tline)과 Faulted Line 모델을 이용, 사고 지점을 이동시켜 가며 시뮬레이션 할 수 있도록 하였으며 동시에, 고장시 발전기의 다이내믹 특성을 관찰 할 수 있도록 상기 그림과 같이 구성하였다. 또한, 제어블록을 이용하여 여러 가지 고장을 모의할 수 있도록 하였다. 본 절에서는 시스템의 응답 특성에 관한 구체적인 내용은 생략하기로 하고 고장시 계전기의 응답(입출력)이 어떻게 효과적으로 모니터링 되는지에 초점을 맞추기로 한다. 계전기의 입력이 되는 CT, CVT의 2차측 값이 ODAC16의 입력이 되게 구성하였으며, 고장인가시 C1 노드전압이 Zero-crossing 되는 시점에서 트리거 되게

하였다. 아래의 그림은 A상 고장인가시 디지털 입력을 이용하여 얻은 계전기의 트립신호를 이용, 차단기가 동작한 상황을 타임차트로 표시하고 있으며 보호계전기의 실 계통 동작상황을 효과적으로 재현하여 보호계전기의 성능을 검사할 수 있다.



계전기 동작 및 차단기동작상태 5 '터링

## 7. 향후 전망 및 맺음말

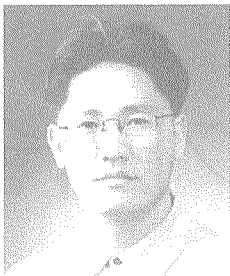
본 고에서는 한국형 실시간 대규모 디지털 시뮬레이터(KEPS)의 기술적 특성과 이를 이용하여 대규모 전력계통의 동적 시뮬레이션, 외부 제어기기의 페루프 제어시험 등 KEPS 응용사례에 대하여 살펴보았다. 실시간 대규모 디지털 시뮬레이터에는 많은 기술이 깃들여져 있으나, 시뮬레이터를 구성하는 주변 H/W 장치들을 자세하게 살펴보지 못하여 아쉬움이 있다. 한국형 실시간 대규모 디지털 시뮬레이터의 개발은 가전제품이나 자동차로 세계에 알려져 있는 우리의 기술이 전력계통분야에도 세계적인 수준에 도달하였음을 보여주는 결과이다. 전력산업은 100년의 긴 역사에도 불구하고 일부 낙후된 기술수준을 보이고 있었으나, 이제는 실시간 대규모 디지털 시뮬레이터 운용과 더불어 선진국인 미국보다 앞서 시뮬레이터 보유국이 되었으며, 우리 기술로 시뮬레이터의 세부 규격 설계 및 운용할 수 있는 기술 자립국에 도달함으로써, 이제는 우리나라의 실시간 대규모 전력계통 해석 기술을 세계에 선보일 시기가 다가오고 있음을 실감한

다. 한국형 실시간 대규모 디지털 시뮬레이터는 한전 전력연구원의 기 보유기술 및 캐나다 RTI사의 이전 기술을 바탕으로 시작하였으나, 앞에서 살펴본 바와 같이 많은 부분이 개선 발전되었으며, 꾸준한 연구개발을 통해 기술을 완성하면 국내외 전력산업에서 실시간 대규모 전력계통 해석기술 분야발전을 도모할 수 있을 것이다. 아울러, 우리나라의 전력산업기술도반도체 기술과 같이 선진 대열에서 기술을 이끌어 갈 수 있도록 참여하고 있는 연구진의 지속적인 노력과 정부·기업체·대학교 등의 연구에 대한 과감한 투자가 있어야 할 것이다.

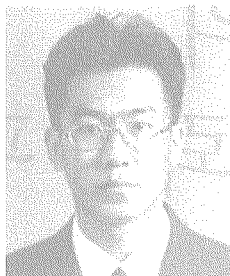


공공기능 수행 및 산·학·연 연구개발 거점

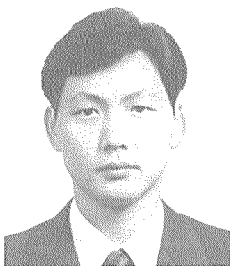
[저자 소개]



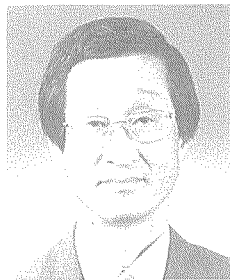
차승태 선임보



신정훈 선임



김태균 책임



추진부 센터장

[참 고 문 헌]

- [1] 전력계통 시뮬레이터 설치를 위한 기본계획 수립 연구, KRC-91S-J03, 1993.9, 한전기술연구원
- [2] 전력계통 해석용 시뮬레이터 개발 및 설치, '99 전력연-단 706, 1999.11, 한전전력연구원
- [3] 윤용범, 추진부, "한전의 전력계통 시뮬레이터 개발 및 해석센터 구축", 대한전기학회지, '00.3
- [4] 전력계통 시뮬레이터 교육보고(3), TM, 2000.12, 한전전력연구원
- [5] 발전기 제어계통 안정화장치(PSS) 개발 2차년도 중간보고서, TM, 2000.2, 한전전력연구원
- [6] Y.B.Yoon, G.S.Jang, S.T.Cha, J.Lee, Overview of the Development and Installation of KEPCO Enhanced Power System Simulator, Proceeding of the third International Conference on Digital Power System Simulators, May 1999
- [7] P.Kundur, Power System Stability and Control, Electric Power Research Institute(EPRI), Power System Series, McGraw Hill Inc., 1994
- [8] H.W. Dommel, Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single and Multiphase Networks, IEEE Transactions on Power Apparatus and systems, Vol. PAS-88, No.4, April 1969
- [9] PTI, Digital simulator PSS/E22, 1993

