

K-EMS 발전계획 응용프로그램 개발

■ 오태규, 이정호, 이상호, 민상원, 김태현, 송성환, 김기운 / 한국전기연구원
 ■ 이효상, 이진수 / 한국전력거래소

1. 서 론

K-EMS 발전계획 응용프로그램은 모듈별로 자동발전제어(AGC; Automatic Generation Control), 경제급전(ED; Economic Dispatch), 최적조류계산(OPF; Optimal Power Flow), 발전기 기동정지계획(UC; Unit Commitment), 안전도 제약 경제급전(SCED; Security Constrained Economic Dispatch), 안전도 향상(SEN; Security Enhancement), 최적화 발전계획(DOS; Dis-

patch Optimal Scheduling), 수요예측(LF; Load Forecasting), 전력시장연계시스템(MIS; Market Interface System) 등으로 구성된다. (그림 1. 참조)

발전계획 응용프로그램 개발을 위해 기존 EMS 실태 조사·분석 내용과 전력계통 운영자의 기술적 요구사항을 반영한 기술규격서를 개발하고, 기술규격서에 따른 소프트웨어 기능 요구사항 명세서 및 기본설계서를 작성하였다. 이를 근거로 기능별 데이터 입출력 조사, 데이터베이스 구조 분석 및 설계, 기능간 입출력 상호

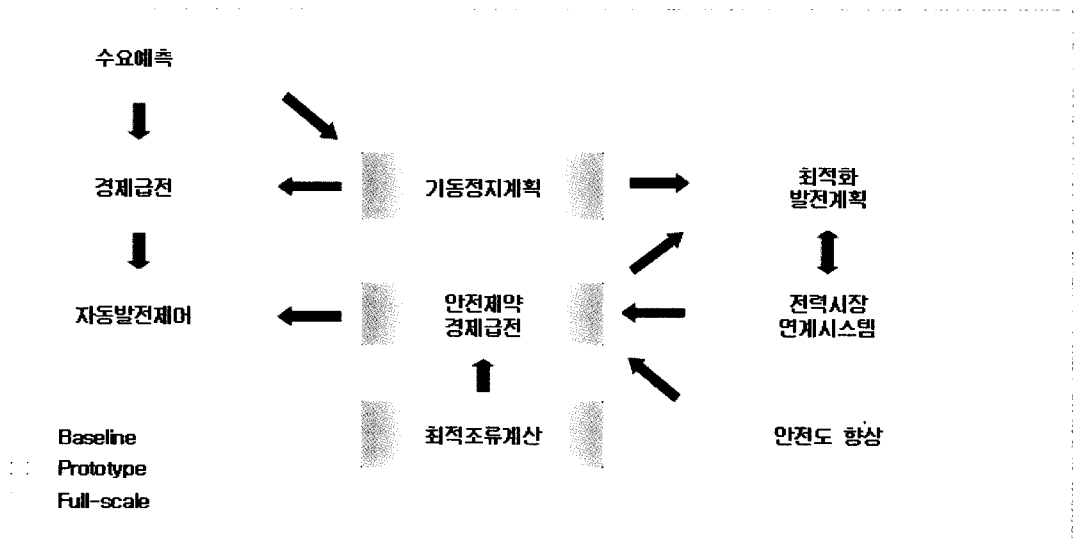


그림 1 발전계획 응용프로그램 구성도

관계 정립, 발전계획 응용프로그램 종합 데이터베이스 분석 및 타 응용프로그램 간의 인터페이스 고려사항 등을 분석한 후 세부 프로그램의 상세설계를 수행하였으며, 이를 토대로 알고리즘을 설계하고 프로그램 엔진, 그래픽 디스플레이, 데이터베이스 등을 개발한다.

개발 프로그램의 신뢰성을 검증하기 위해 단위시험, 통합시험, 실증시험을 시행한다. 단위시험에서는 프로그램의 기능을 구현하는 알고리즘을 검증하고, 통합시험에서는 모듈 프로그램과 데이터베이스간의 연계, 알람 및 그래픽 디스플레이 간의 유기적 동작 여부를 검증한다. 실증시험은 Test Bed에서 실계통 연계 운전을 통해 개발된 프로그램의 기능과 성능을 검증한다.

본 고에서는 K-EMS 발전계획 응용프로그램의 알고리즘 등 이론적 측면보다 응용프로그램의 범위와 요구되는 기능들에 대해 기술하였다.

2. 본 론

2.1 개요

K-EMS 발전계획 응용프로그램 개발은 Baseline,

Prototype, Full-scale의 3단계로 구분되며, Baseline 단계에서는 경제급전, 자동발전제어, 수요예측 등의 프로그램을, Prototype 단계에서는 최적조류계산, 발전기 기동정지계획, 안전도제약 경제급전 프로그램을. 그리고 Full-scale 단계에서는 최적화 발전계획, 안전도 향상, 전력시장연계시스템을 개발한다. K-EMS 특징 중의 하나는 전력시장에서 요구되는 선행급전계획 및 실시간 급전계획기능을 포함하고 있으며, 이는 최적화 발전계획 기능으로 구현된다.

2.1.1 자동발전제어(AGC, Automatic Generation Control)

자동발전제어는 계통주파수를 목표주파수로, 연계선조류를 목표조류로 제어하기 위해 지역제어오차(ACE; Area Control Error)가 0이 되도록 각 발전기 출력력을 2초~10초주기로 자동조정하는 실시간 제어기능이다. 자동발전제어는 부하추종 주파수 제어(LFC; Load Frequency Control) 기능과 경제급전 주기 중 매 2초마다 실행하는 추종급전(TED; Tracking ED)으로 구성된다. LFC는 주파수 측정에 의한 ACE 계산 처리, 매2초주기 AGC 계산, 실행 및 처리, LFC Performance Monitor, Unit Performance Monitor, 자동발전제어 운영지원(ON/OFF/Monitor/초기화), 발전계획모드(con-

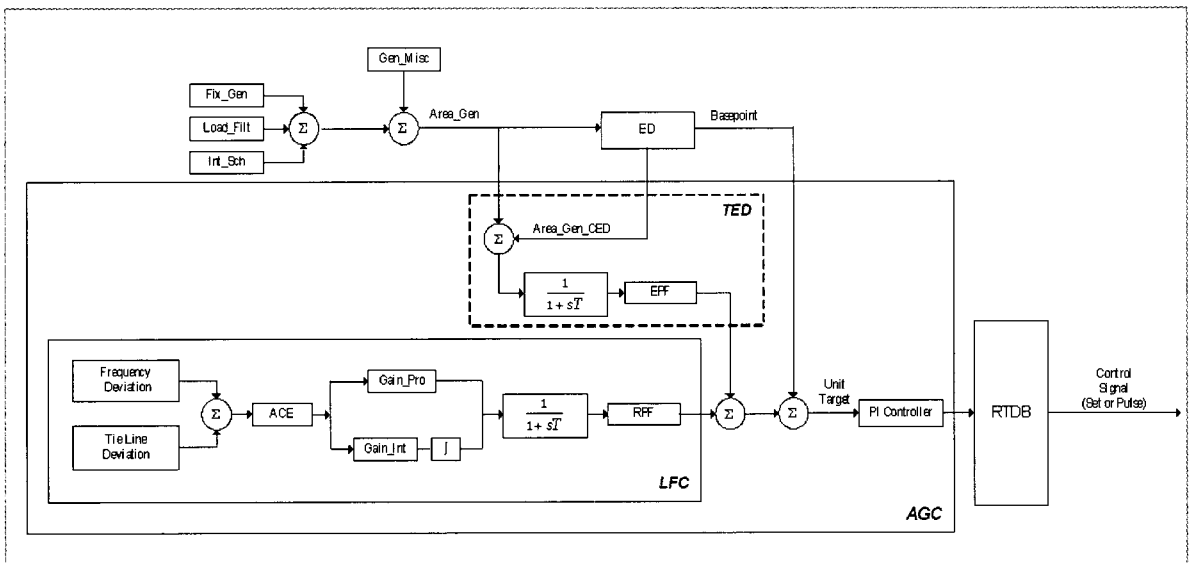


그림 2 자동발전제어 구성도

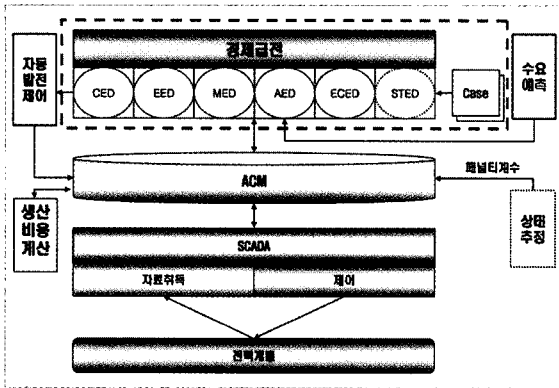


그림 3 경제급전 구성도

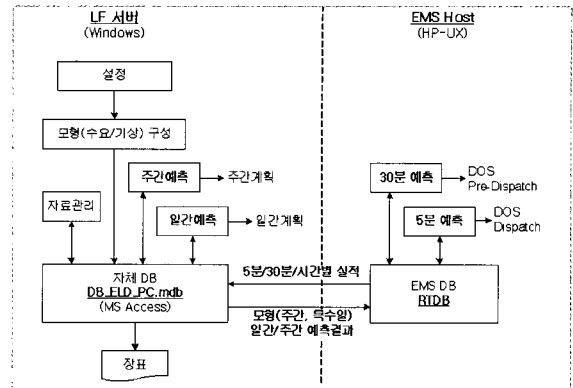


그림 4 수요예측 구성도

trol, 수동, 선행, 환경제약, study), 발전기별 제어방식 지원(현장, 주파수조정, 급전원조정, 자동제어 등) 선택제어, AGC Tuning Support 기능을 가지며, TED는 경제급전 실행 이후 부하 변동분(ΔMW)을 발전기별 경제급전 참여율에 따라 재배분하므로써 실시간 발전기의 부하 추종을 수행한다. 그림 2는 일반적인 자동발전제어 구성도이다.

2.1.2 경제급전(ED, Economic Dispatch)

경제급전은 발전비용 최소화를 목적으로 발전기별 증분비용 및 송전손실을 고려한 계통의 경제적 배분값 계산을 1분~5분주기로 수행한다. 경제급전 모드는 1분주기로 Basepoint를 계산하는 Control ED / 수동급전 목표값을 계산하기 위한 Expected ED / SOx, NOx, Cox 배출 감소를 위한 환경제약 경제급전 / 5분내지 60분 미래계통의 Advanced ED / Snapshot 데이터를 활용한 가상의 Study Mode ED / 경제급전 기능 이상에 대비한 수동급전용 Manual ED로 구성되며 다구간 선행 데이터로 구성된 incremental heat rate curve를 이용한 Lambda iteration 법으로 급전 대상 발전기의 경제급전 Basepoint값과 참여율을 계산한다. 그림 3은 K-EMS에서 경제급전 기능연관도이다.

2.1.3 단기수요예측(Short term Load Forecasting)

전력수요예측은 기상실적, 5분 수요실적, 시간별 수요

실적 등을 바탕으로 전력계통 부하의 순시(5분)예측, 30분예측, 일간예측, 주간예측을 수행한다.(그림 4 참조)

K-EMS에서는 예측의 정확도를 향상시키기 위하여 전력수요와 기상자료의 민감도를 구하여 데이터베이스 테이블로 구축하며, 이를 토대로 과거 수요실적과 기상변수의 관련성을 분석하고 월별, 요일별, 주별, 특수일별 수요-기상모형 테이블을 구축하여 수요예측에 반영함으로써 예측의 정확도를 향상시킨다.

2.1.4 최적조류계산(OPF, Optimal Power Flow)

EMS용 최적조류계산(OPF)은 조류방정식과 전압, 선로조류 등에 대한 제약조건을 만족하면서 사용자가 지정한 목적함수를 최적화하는 제어값을 계산하는 일반 OPF와 기능은 유사하나 정식화와 최적화 해법이 선형화 기반으로 이루어지는 점이 다르다. OPF는 30분 주기로 운영자의 요구에 의해 실행되며 발전력 배분 모듈에서 결정된 각 발전기들의 현재 출력 상태 또는 초기 출력 상태에서 사용자가 지정한 옵션에 따라 안전도 제약을 만족하도록 하는 최소의 제어 동작을 결정하거나 비용 최소화 또는 손실 최소화 등의 기능을 수행하거나 위의 여러 옵션의 조합으로 수행한다.

K-EMS 발전계획 응용프로그램에서 최적화 기능은 최적조류계산 프로그램뿐만 아니라 안전제약 경제급전(SCED), 안전도 제어 등의 프로그램과 연계되어 있다. K-EMS 발전계획 응용프로그램에서 최적화 기능이

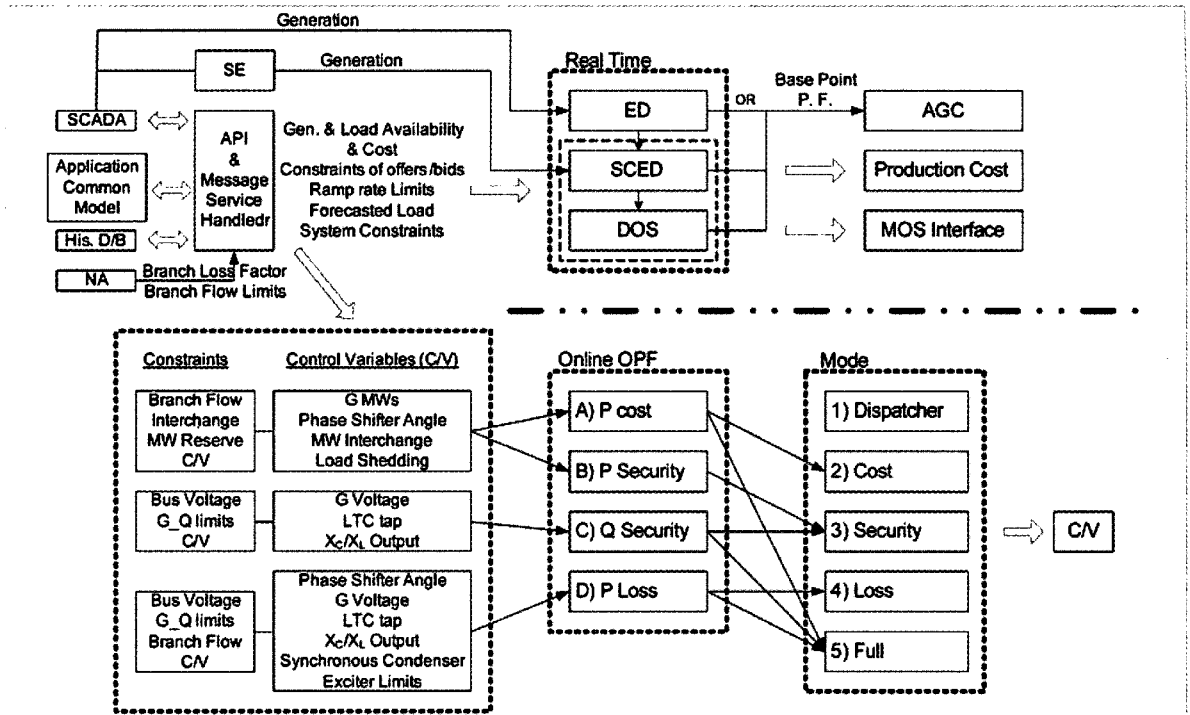


그림 5 최적화 기능연관 및 최적조류계산 구성도

요구되는 프로그램과 최적조류계산 프로그램간의 관계를 정리하면 그림 5와 같다.

2.1.5 발전기 기동정지계획(UC, Unit Commitment)

발전기 기동정지계획(UC)은 수요예측, 운영자입력, SCADA, 계통해석 응용프로그램으로부터 수집된 데이터를 바탕으로 구성된 입력데이터로부터 미래 시간의

발전기 출력을 결정하여 계통운영계획 수립을 지원하는 프로그램이다. UC의 기능과 다른 프로그램 기능간 연계는 데이터베이스나 운영자를 통해 간접적으로 이루어진다. 따라서 UC는 study mode로 작동하고, 데이터베이스에 구성된 데이터를 UC 계산에 적합하도록 데이터를 가공하고, 가공된 정보를 바탕으로 UC를 계산하여 계산결과를 데이터베이스에 저장하는 형태로 구성된다. UC는 30분 단위의 1일급전과 1시간 단위의 1주일 급전 두 가지 모드로 운영될 수 있다.

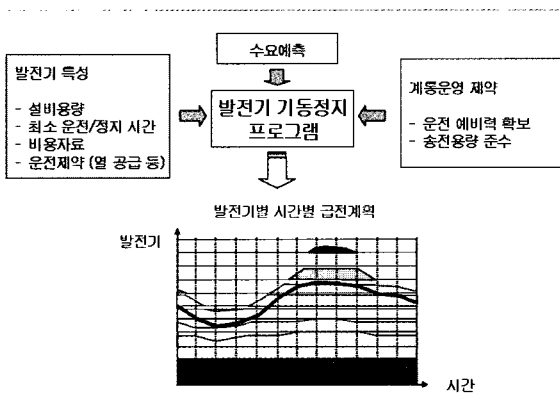


그림 6 발전기 기동정지계획 데이터 흐름도

2.1.6 안전제약 경제급전(SCED, Security Constrained Economic dispatch)

SCED는 안전도 제약조건(송전제약 및 예비력 제약)이 부가된 상태에서 급전대상 발전기의 경제급전 출력 값인 Base point를 계산하는 기능이다. 계산주기(1시간 또는 30분 또는 5분)마다 전력계통 내의 기기 정보 및 실시간 송전망 정보를 이용하여 계산하며, 제약 조건은 발전기 출력범위의 운영제약조건과 송전제약조건 및 예비력제약조건을 포함한다.

표 1 최적화 발전계획 기본기능

급전계획	제약/비제약급전계획	기능
선행급전계획 (Pre-Dispatch Schedule)	비제약 선행급전계획 (UPDS:Unconstrained Pre-Dispatch Schedule)	송전제약조건을 고려하지 않고, 거래일 및 다음날에 대한 30분 단위 급전계획 및 예비력 급전계획으로 예측수요 및 수요입찰에 근거한 수요값에 의거하며 시장가격 (FMCP) 계산
	제약 선행급전계획 (CPDS:Constrained Pre-Dispatch Schedule)	송전제약조건을 고려하여 거래일 및 다음날 예측수요를 만족하기 위한 (36시간 기간) 30분 단위 급전계획 및 예비력 급전계획 계산
실시간급전계획 (Real-time Dispatch Schedule)	비제약 5분급전계획 (UFMD:Unconstrained Five-Minute Dispatch)	송전제약조건을 고려하지 않고, 직전 급전주기 5분 및 향후 25분에 대한 5분단위 급전계획 및 예비력 급전계획을 수립하여 실제 수요를 충족하는 발전시장가격(GMCP) 및 예측 수요를 충족하는 임시 발전시장가격(IMCP)을 계산
	5분급전계획 (FMD:Five-Minute Dispatch)	송전제약조건을 고려하여 5분단위 수요예측결과인 예측 수요를 충족하는 다음 급전주기 5분(단일구간)에 대한 급전계획 및 예비력 급전계획 계산

2.1.7 최적화 발전계획(DOS, Dispatch Optimal Schedule)

최적화 발전계획은 전력시장 참여자들로부터 제출된 발전 및 수요 입찰자료를 전력시장연계시스템으로부터 받아 전력계통 전체의 경제적 이득을 최적화하는 급전계획 및 예비력 급전계획을 수립하는 기능이다.(표 1. 참조) 급전계획 수립을 위한 주요 데이터로는 입찰자료, 예측수요, 예비력 요구조건, 예비력 계약 사항 및 가격, 계통데이터, 휴전계획, 상정고장목록 과 송전손실계수 등이다. 개발 범위는 실시간 계통운영 데이터 수집, 선행 및 실시간 급전계획수립, 급전계획 시 비제약급전 및 제약급전 계획수립 등을 포함한다.

2.1.8 안전도 제어(SENH, Security Enhancement)

안전도 제어 프로그램은 송전선로 과부하 해소를 위한 발전기 출력(Active Power) 재배분 및 제어기기의 최적 설정치를 계통운영자에게 권고사항으로 제시하는 기능이다. 해당 기능의 수행을 위해 상태추정(SE)으로부터 현재 계통을 나타내는 Snapshot (Base Case) 데이터와 상정고장해석 기능에서 추출된 위험 상정고장 목록 및 현재 제어기기의 상태(Status)를 입력 데이터로 받는다. 안전도 제어 프로그램은 상태추정, 상정

고장분석, 전압제어 기능과 상호 연관되어 주기적으로 수행되며, 전력계통 안전도유지를 위한 preventive action과 corrective action용 제어값을 계통운영자에게 제공한다.

2.1.9 전력시장연계시스템

전력시장연계시스템은 우리나라 전력시장운영시스템인 CBP, 또는 MOS의 입찰 및 특성 자료 등을 K-EMS에서 사용할 수 있는 데이터 형태로 변환시키고, K-EMS의 결과를 CBP정보공개 또는 MOS정보공개에 사용할 수 있는 데이터 형태로 변환하여 K-EMS와 전력시장운영시스템 데이터를 교환하는 기능을 수행한다.(그림 7 참조) K-EMS에서 생산되는 시장현황 자료는 전력시장 운영자와 시장참여자에게 온라인 보고서 형태로 제공된다.

3. 결 론

본고에서는 K-EMS 발전계획 응용프로그램의 범위와 기능에 대해 기술하였다. K-EMS 발전계획 응용프로그램 개발은 전력계통 및 전력시장 운영의 핵심기술

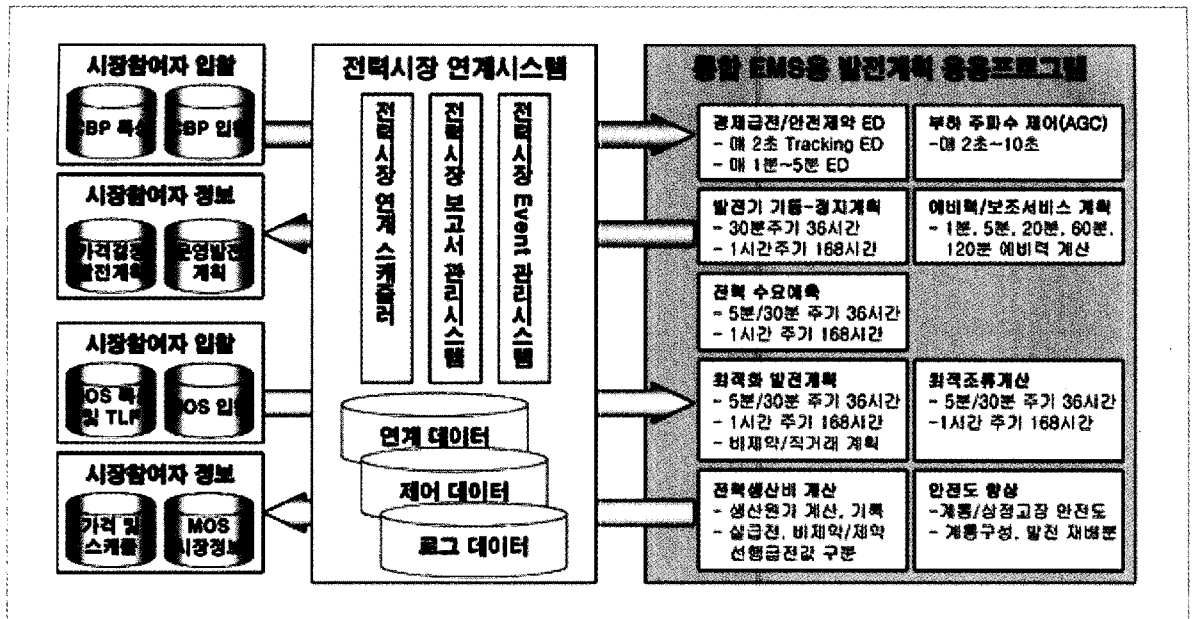


그림 7 전력시장연계시스템 구조도

의 확보를 통해 향후 전력산업환경 변화에 국내 기술력으로 유연하게 대응할 수 있어 전력산업의 효율성 및 경쟁력 제고에 기여할 것으로 기대된다. 또한 국내 기술력 확보 및 EMS 기술력 검증으로 경제적인 유지보수, 해외도입비 절감, 해외 수출이 기대된다. 우리나라 전력계통 구조에 적합한 발전계획 응용프로그램 개발을 활용한 전력계통 운영이 가능하도록 K-EMS를 개발할 예정이다.

[참고 문헌]

- [1] Power Generation, Operation, and Control 2nd ed., Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, John Wiley & Sons, Inc., 1996
- [2] Korean Energy Management System Technical Specification, KPX, 2006
- [3] Communication and Control in Electric Power Systems, Mohammad Shahidehpour, Yaoyu Wang, John Wiley & Sons, Inc., 2003