

중대사고 조건에서 원전 기기의 성능 평가를 위한 회로 진단 모의 실험기 (Circuits Diagnosis Simulator for Instrument Performance Evaluation under Severe Accident Conditions)

Kil Mo Koo,^a Sang Baik Kim,^a Hee Dong Kim,^a Young Moo Joung,^a Chi Seong Park,^b
^a Korea Atomic Energy Research Institute, DukJin Dong, YuSeong, DaeJeon, 305-353, Korea
^b KAITEC, Jeonmin Dong, YuSeong, DaeJeon, 305-811, Korea

1. 서언

SECY 89-012 “ 사고관리 규제 및 연구 프로그램에 대한 관리자 계획 ”에서 사용자에게 대한 사고 관리계획의 중요 요소로서 기기의 생존성 평가가 요구되었다.[1] 그러나 발전소 계측기 생존성 평가를 위해서 개발된 방법론은 중대사고 환경 조건에서 일부 계측기기의 생존성 평가 결과가 불만족하게 나타났다. 이 경우에 계측기기의 성능을 입증하기 위한 3 단계 절차로서 또다른 대체 방법인 계산 지원(calculation aids) 방법을 적용할 수 있다. [2] 이 계산지원 방법은 사고 환경 조건에 따른 계측회로를 모델링하고, 이 모델링의 모의실험을 통하여 다양한 조건의 출력 지시 값을 얻게 되며, 이때 출력 신호의 이상 신호를 분석하여 회로의 주요 환경 영향 상태를 유추 할 수 있게된다.[3] 이 모델링에 의한 등가회로의 모의실험은 계측 기기가 비정상 판독값을 지시할 때 장비 회로 요소의 변화량으로 얻게 된다. 이때 계측기 생존의 설계기준 범위는 환경의 물리적 변화량으로서, 이들 변화량은 일부 설정된 전기회로 R-L-C 소자의 변화값과 불필요한 잡음 신호의 발생으로 나타난다. 이들 전기 소자들 값의 변화는 계측기 출력의 변화량으로 표현된다.

본 논문에서는 이러한 물리적 변화관계를 이용한 모의 회로실험을 통하여 중대사고 환경 조건으로부터 다양한 비정상 징후를 가지는 출력 지시 신호를 실시간으로 분석하여 현장의 회로 특성을 감시하고 진단이 가능한 정보를 제공하게된다. 그리고 원전기기의 성능 평가를 위한 상기의 모의 진단 회로 개발툴을 개발하였다.

2. 계측기 진단 단계

중요 기기가 사고 환경조건에서 기능을 상실했을 때 진단 단계는 파라미터의 값을 결정하는 간접 방법과 장비를 이용한 직접 진단 등, 모두를 포함할 수 있다. 기기의 강등조건에서 오동작 장비 진단은 11 단계 처리 절차 방법을 적용할 수 있다[2]. 이 처리 절차는 회로의 간접방법 또는 직접방법인 여유 장비 채널을 적용한다. 또한 5 단계의 동작 지원 절차는 진단 조치와 보조 측정 방법이 있으며, 계측기기의 판독이 의심스럽거나 망실되었을 때 적용된다. 이때 5 단계 유형 중 4 단계로서 회로 진단은 지시값이 비정상 또는 변어날 경우, 회로가 기능의 상실, 손상으로부터 정보를 얻기 위해서 모의 회로 실험 방법을 적용한다.

2.1 회로 모의실험 및 진단 방법

회로 모의실험은 계측 기기가 정상 판독값을 설정하고 그 설정한 표준 신호 값을 기준하여 비정상 판독값을 진단 및 비교 평가한다. 표준 신호는 10 ms 지연 시간 30 ms 상승 시간, 30 ms 하강 시간, 300 ms

펄스 폭, 1 PPS 반복율과 0-16 mA 펄스 진폭을 가지는 불연속선형 함수로서 정의한다. 수신단에서 전류와 전압 변환기로서 측정된 출력 전압 펄스이다. 그림 1은 완성된 압력 기기 모의 등가 회로도 이다.

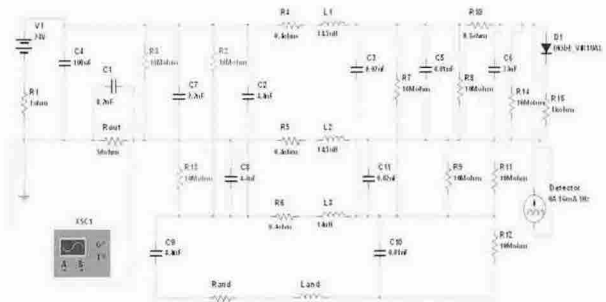


그림 1 압력 기기 모의 회로

모의실험은 중대사고 환경 조건으로부터 다양한 징후를 가지는 신호 패턴과 잡음 패턴을 포함한다.

2.1.2. 회로 소자 기능 손상

회로 모의실험은 중요한 대표 회로 유형에 대해서 수행되며, 회로 모의실험을 통하여 회로의 진단은 회로 소자의 손상으로 지시값이 비정상 또는 상하한 값 범위를 벗어날 경우로 구분이 가능하다. 이때 기기 회로는 모의실험 프로그램 PSpice 코드를 이용하여 상용의 회로를 모델화 하고 시험된다. 기기 회로의 환경에 따른 강등 조건은 기기 회로 모델의 소자값을 수정 또는 가변하여 얻게 된다. 회로의 강등 조건을 진단 점검 하기 위해서 모의 기기 회로의 응답 특성을 분석한다. 회로 모의실험은 그 조건으로부터 기기루프의 강등 또는 손실의 결과를 정량적으로 얻게 된다.

2.1.2. 잡음과 잡음여파

계측기기 등가회로를 해석하기 위한 다음 단계는 고온 조건에서 RC 회로의 잡음 특성을 분석하여 계측기기의 손상 요인을 점검하였다. 이러한 환경조건에서 계측 회로는 회로 요소들의 기능의 강등과 외부 잡음신호에 방해 를 받게 된다. 회로 요소들의 기능이 강등됨에 따라서 그 원인 분석을 위해서 원전의 계측기기의 루프 회로에 대한 입력단인 센서단과 전송회로단과 출력신호 검출단으로 구분하여 각각의 회로 특성을 분석하고 전체 회로망으로 합성하였다. 이들 등가 회로로부터 원전의 사고 환경에 따른 신호 대 잡음비를 개선하기 위해서 주파수영역의 후리어 변환을 통하여 잡음영역을 측정과, 그 잡음영역을 제거하기 위해서 FIR(fine impulse response) 여파기를 설계하여 개선된 신호 대 잡음비를 얻었으며, 또한 회로 소자 기능의 강등에 따른 왜울을

개선하고자 입력 캐패시턴스 소자와 순수저항 소자의 변화에 따라 신호를 복원하였다. 전원의 다양성 때문에 생기는 원치 않는 전기신호는 일반적으로 인공적인 간섭이나, 자연적으로 발생하는 잡음으로 분류한다. 인공적인 간섭은 60Hz 일반 전원잡음과 열잡음으로 구분하였다.

2.2 모의 진단 실험기

2.2.1 모의 실험기 구성도

모의 실험 구성도는 PSpice 와 LabView 사용 코드로 링크되어 PSpice 의 cds 파일은 Labview 에서 다시 신호를 편집하고 신호 파형 데이터는 유한 임펄스 응답 처리를 위한 FIR Filter 와 주파수 영역 변환을 위해서 FFT 하였다. 그림 2 는 모의 실험을 단계를 나타내는 구성도 이다.

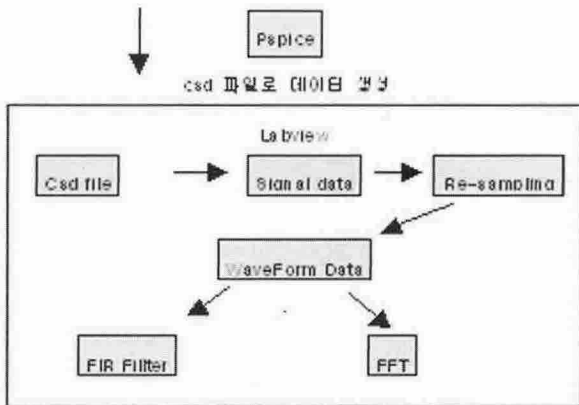


그림 2는 모의 실험을 단계를 나타내는 구성도

2.2.2 모의 실험 출력 패턴

모의 출력 신호인 출력 패턴 신호의 구분성은 4 종류의 대표성 신호 패턴을 나타 내었다.그림 3 은 상한값 무변화 신호 패턴의 Labview 출력이고, 그림 4. 60 Hz 잡음 신호 패턴의 Labview 출력이다.

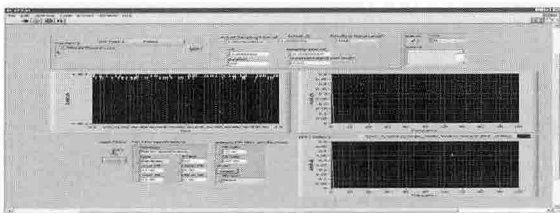


그림 3 상한값 무변화 신호 패턴의 Labview 출력

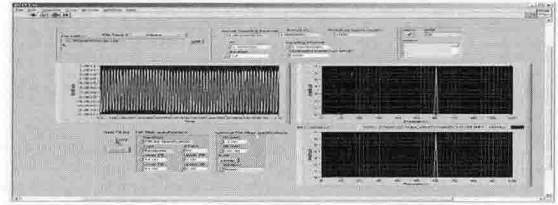


그림 4. 60 Hz 잡음 신호 패턴의 Labview 출력

그림 3 에서 펄스의 진폭은 0.2 ~1.0 V 값으로서 나타난다.그림 4 의 잡음원의 유형은 60 Hz 접지 전위차 잡음으로서 회로 내부의 전압 유도 잡음으로 구분한다. 60 Hz 접지 전위차 잡음은 접지 단에 직렬로 놓으며, 보통 10 V 가 사용된다. 또다른 입력 전압원은 1 μ s 상승 및 하강 시간을 가지는 수십 V 전압 스파이크이며, 여파기능을 위해서 결합 캐패시턴스로 스파이크는 7 μ s 대역폭에 약 8 V 가 되었다. 그밖의 잡음의 유형은 자기 유도이다. 신호 루프내에 스파이크는 기기의 루프에서 접지 전류 서지 확장에 의해서 원인이 된다. 이 잡음은 케이블이 접지 연결까지 열린 차폐의 강등 조건일 때 또는 회로 루프의 차폐에 의해서 나타난다.

3. 결론

기본 설계 사고의 범위를 벗어난 중대사고 조건에서 계측기 생존성 평가 기술의 한계를 넘어 날경우 기기의 성능 평가 방안으로 PSpice 와 LabView 코드를 이용하여 모의 회로 툴을 개발하였다. 이 모의 회로 툴의 특징은 중대사고 환경조건에서 현장 접근이 가능한 툴로서 회로 요소의 강등 상태와 불필요한 잡음을 손쉽게 분석 할 수 있다.이 논문에서는 대표적인 두 유형의 신호 패턴 적용하여 출력을 얻을 수 있었다.

이 모의 실험기의 확장 기술은 현장의 실시간 적용이 가능하여 원전의 모의 실험에 직접 적용이 가능할 것이다. 또한 계측기기의 회로 성능의 강등과 신호의 왜곡 현상의 신호 복원 및 보완의 기술이 함께 개발될 수 있다. 원전의 모호한 신호를 진단하고 복원하는 보완기술은 새로운 디지털 신호처리 기술의 발달로서 구현이 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] Severe Accident Management Guidance Technical Basis Report, Vols. 1 and 2, EPRI TR-101869, December 1992
- [2] Fauske & Associates. "Severe Accident Management Guidance, Technical Basis Report", EPRI TR-101869 December 1992. Volume 1. [report]
- [3] Instrumentation Availability for a Pressurized Water Reactor with a Large, Dry Containment During Severe Accidents, NUREG/CR-5691 (EGG-2638), March 1991.
- [4] Summary of a Workshop on Severe Accident Management for BWRs, NUREG/CR-5780, November 1991.