

RTDS를 이용한 송전선로 자동절체시스템의 실시간 모의방법

김 태원 °, 유 명호, 추 진부

한국전력공사 전력연구원

A Real Time Simulation Technique of Automatic Power Reconfiguration System Using RTDS

Tae-Won Kim °, Myeong-Ho Yoo, Jin-Boo Choo

Korea Electric Power Research Institute

Abstract

In general, real power system is not stopped for reason of its test. And then we have no way to verify its reliability on real power system. In this paper we present the real time simulation technique of the APRS(Automatic Power Reconfiguration System) before it is applied in real power system. We used the Real Time Digital Simulaor constructed in KEPRI. And we applied the power system model which is reduced because of RTDS capacity. Also, We present the method Interface between target system(APRS) and RTDS. Last, We provide the test results and the meaning.

1. 서론

전력계통 설비가 복잡, 다양화되어 감에 따라 신뢰성 있는 계통운용이 점점 더 어려워지는 상황에서 설비에 대한 정밀한 모의 실험방법의 중요성은 점점 더 커지고 있는 실정이다. 특히, 설비의 오동작이 전력계통의 운용에 심각한 영향을 미치는 경우에 그 효용성은 더 하게 된다. 그러나, 기존의 계통운용 설비에 대한 계통모의 및 시험방법은 EMTP(Electro Magnetic Transient Program), PSSE 등을 이용한 off-line 시뮬레이션에 그치고 있기 때문에, 실시간 계통 모델링에는 한계가 있다 [1] 최근 들어 활용이 점차 확대되고 있는 실시간 디지털 시뮬레이터(RTDS)를 이용한 실제계통 모의 및 target 시스템과의 인터페이스 방법을 제시하였다.[2] 또한 Powe System Simulator 에서 가장 중요한 모의 방법 중의 하나인 페루프 테스트(closed loop test)가 최근 개발된 RTDS에 의해 수행되고 있다.[3] 본 연구에서는 loop 분리에 의해 방사상으로 운전되고 있는 154KV급 송전선로의 정전사고 발생 시 자동으로 사고를 검출하고, 사고 전의 정상부하를 계산하여 과부하의 우려가 없는 경우, loop 분리점의 차단기를 동작시켜 정전을 복구

하는 송전선로 자동절체시스템(Automatic Power Reconfiguration System)[4]에 대해 RTDS를 이용한 target system의 실시간 모의 및 인터페이스 방법을 제시 하였다. APRS는 현재 한전전력연구원(KEPRI)에서 개발을 완료하여 한전 실제계통에 시험운전중에 있다.

2. RTDS 입출력

RTDS는 모의계통과의 인터페이스에 필요한 다양한 입출력을 제공하는데, 아날로그 출력(Analog Output:AO), 디지털 출력(Digital Output:DO), 디지털 입력(Digital Input:DI)과 같이 크게 세종류를 갖고 있다. 아날로그 출력은 모의계통의 부하, 전압, 전류 등을 의미하며, TPC(Tandom Processor Card)의 전면을 통해 ±10V의 range로 출력된다. 디지털 출력은 계통의 차단기, LS, ES, 계전기의 출력접점 등 ON/OFF 상태를 나타내며, TPC 후면의 포트를 통해서 +5V의 출력을 target 시스템으로 보내게 된다. 따라서, target 시스템에서는 +5V의 입력을 인식하는 회로를 구성하여야 한다. 디지털 입력은 target 시스템의 제어출력을 의미하며, 접점(CONTACT)만을 인식한다. 따라서, 모의 계통의 ON/OFF 제어를 위해서는 target 시스템에 접점을 출력하는 회로를 구성하여야 한다. 위와 같은 RTDS의 입출력 포트는 PSCAD를 이용하여 작성한 source 파일을 compile할때 생성되는 MAP 파일에 상세하게 기술되어진다.

3. RTDS 인터페이스

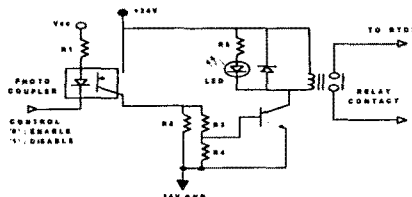


그림 1. RTDS의 디지털 입력을 위한 시험 설비 즉 디지털 출력 회로 구성

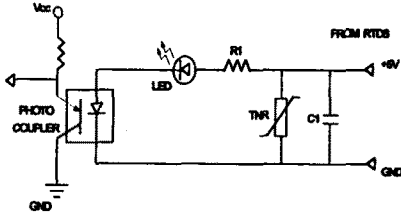


그림 2. RTDS의 디지털 출력을 시험설비에 연결하기 위한 디지털인터페이스 회로

그림 1,2는 RTDS와의 인터페이스를 위한 target 시스템의 구성 회로이다. 그림 1은 RTDS의 디지털 출력을 인식하기 위한 Target 시스템의 디지털 입력 회로 구성을 나타낸다. RTDS에서 출력하는 5V 전원과 시험설비의 디지털입력단의 전원을 photo coupler를 이용하여 분리한 것을 알 수있다. 그림 2는 RTDS의 디지털 입력에 접점신호를 보내기 위한 target 시스템의 디지털 출력 회로구성을 나타낸 것이다. 그림 2에서 알 수 있듯이 relay의 접점을 이용하여 RTDS의 디지털 입력단과 연결시킬 수 있다. RTDS의 아날로그 출력과 시험 설비와의 인터페이스는 TPC의 출력이 ±10V로 제한되어 있기 때문에 별도의 회로 구성없이 직접, 시험 설비 측의 A/D 컨버터 등과 연결하여사용할 수 있다.

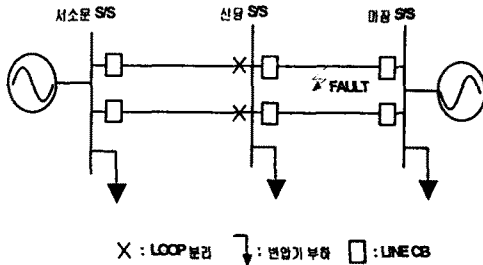


그림 3. 모의 계통도

4. RTDS 의 모의계통 모델링

모델링에 사용한 계통도는 현재 서울전력 관리처 관할 3개 변전소(서소문, 신당, 마장)를 등가변환한 것이며 그림 3과 같다. 또한, X표시가 된 부분은 loop 분리점을 나타낸 것이다. 고장발생지점은 신당 S/S와 마장 S/S사이의 2회선 선로에서 삼상 고장이 발생한 것으로 모의하였다. 송전선로 모델링에 사용된 component는 travelling wave 모델로, 세계적으로 가장 정확하게 송전 신호를 구현하는 것으로 알려져 있으며 그 계산값은 표 1과 같다.

표 1. Travelling wave 모델링에 의해 계산된 송전선로의선로정수

		단위 : P.U		
		R	X	C
서소문 - 신당		0.00024	0.00260	0.25450
신촌 - 서소문		0.00021	0.00162	0.17052
신당 - 마장		0.00023	0.00180	0.17000

표 1의 선로정수는 P.U 단위로 나타낸 것이며, (1)에 의하여 단위 임피던스 변환을 할 수 있다.

$$Z_{base} = \frac{1000 \cdot (KV)_{base}}{\sqrt{3} \cdot I_{base}}$$

$$= \frac{1000 \cdot [(KV)_{base}]^2}{(KVA)_{base}} (\Omega)$$

$$Y_{base} = \frac{10^6}{Z_{base}} = \frac{1000 \cdot (KVA)_{base}}{[(KVA)_{base}]^2} (\mu\mathcal{O})$$

$$\%Z = \frac{Z}{Z_{base}} \times 100 = \frac{Z(\Omega) \cdot (KVA)_{base}}{10 \cdot [(KV)_{base}]^2} (\%)$$

$$\%Y = \frac{Y}{Y_{base}} \times 100 = \frac{Y(\mu\mathcal{O}) \cdot [(KV)_{base}]^2}{10 \cdot (KVA)_{base}} (\%)$$

위의 식 (1)을 이용해서 임피던스 변환된 선로정수를 이용해서 선로의 송전용량이 결정된다. 다음의 표 2는 각 변전소의 변압기 조류데이터를 나타낸 것이다.

표 2. 각 변전소별 조류 데이터

	P(MW)	Q(MVAR)
서소문	34.7	16.8
신당	55.5	26.9
마장	49.1	23.8

그림 3의 모델링에 표 2의 부하조류 데이터를 적용하기 위한 등가변환 식은 다음과 같다.

$$P = |V| \cdot |I| \cdot \cos \theta = |I^2| \cdot |Z| \cdot \cos \theta$$

$$Q = |V| \cdot |I| \cdot \sin \theta = |I^2| \cdot |Z| \cdot \sin \theta$$

$$Z = R + jX = \frac{P}{|I^2|} + j \frac{Q}{|I^2|} \quad (2)$$

where, $|I| = \frac{P}{|V| \cdot \cos \theta}$
 $= \frac{Q}{|V| \cdot \sin \theta}$

위의 식 1, 2 를 이용해서 얻은 선로정수 및 부하 조류데이터를 그림 3의 모델 계통에 적용하였다. 우선 각 변전소의 모선을 하나의 sub-system으로 구성하였으며, 송전선로는 sub-system 간의 연결을 위하여 송전선로 model로 구성하였다. 또한, 각 모선의 실효치 전압과 변압기 부하의 실효치 무효전력, 유효전력을 출력시키기 위하여 각각 전압 메터, 전력 메터 모델을 사용하였다.

5. 전체 시스템 구성

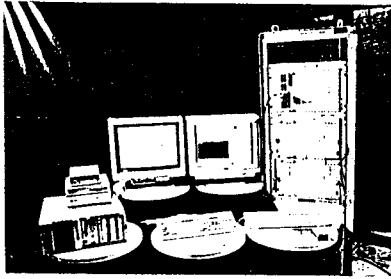


그림 4. TARGET SYSTEM

위와 같이 모델링된 모의 계통의 실시간 테스트를 위해 구성된 전체적인 시스템 구성도는 그림 4와 같다. 전체적인 target 시스템은, RTDS로부터 각종 아날로그 및 디지털 정보를 전달받고 상위 APRS 주장치로 데이터 송신 및 계통의 제어명령을 수신 받는 APRS 단국장치(DAU 4set)와 단국장치로부터 데이터를 수신받아 각종 조류계산 및 APRS 알고리즘을 수행하고 상위 OIS(Operator Interface Station)로 데이터를 송수신하는 APRS 주장치(Host 1 Set)로 이루어진 APRS 테스트 통합 시스템(APRS Test Integration System :ATIS)과 ATIS 디버깅 및 모니터링용 Work-station과 모의계통의 조류 및 차단기, LS, ES 정보 등을 원격에서 감시할 수 있는 GUI(Graphic User Interface) 시스템으로 구성되어 있다. 각 장치들은 ethernet으로 연결되어 있으며, network 통신으로 데이터를 송수신한다.

그림 5에 실제로 구성된 target 시스템을 나타내었다. 실시간 디지털 시뮬레이션 시스템(Real Time

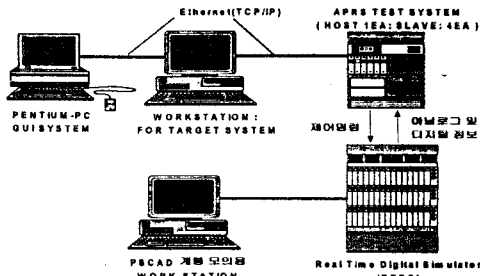


그림 5. 전체 시스템 구성도

Digital Simulator) 은, 모의 계통 모델링 및 RTDS의 TPC를 구동시키는 실행 파일을 만들어내는 PSCAD 용 work-station과 실시간으로 각종 계통데이터를 발생시키고 외부입력을 처리하는 TPCs로 구성된 RTDS로 구성되어 있다. 하나의 TPC에는 두 개의 DSP(Digital Signal Processor)가 내장되어 있어 고속의 연산을 수행하게 된다. RTDS cubicle에는 3개의 TPC subrack이 구성되어 있으며, 하나의 subrack은 총 18개의 TPC로 구성되어 있다. 각각의 subrack은 하나의 sub-system의 역할을 수행한다.

6. 결과 및 고찰

그림 3의 계통도에서 신당 S/S와 마장 S/S사이의 신마 #1 T/L에 3상사고를 발생시켜 마장측 보호계전기는 정동작한 것으로, 신당측은 부동작하여 신마 #2 T/L의 마장측 보호계전기가 후비보호로 동작하고, 결국 신당 S/S가 정전구역이 되는 상황을 모의하였다.

RTDS sequencer에 의한 전체적인 사고 발생 흐름도는 그림 6과 같다.

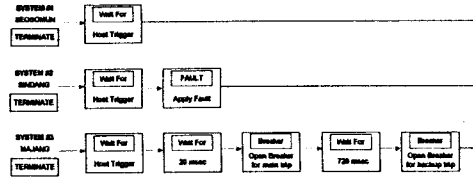


그림 6. 고장 모의 시퀀스

송전선로 보호계전기 주보호 및 후비보호 트립의 지연은 각각 20ms, 700ms이다. 위의 시퀀스에서 고장 발생 후 고장을 clear시키는 과정이 없는 이유는, 오동작한 신당 S/S의 신마 #1 T/L측 CB가 고장구간을 분리하는 과정에서 APRS Target 시스템으로부터 개방명령을 수행하게 되기 때문이다.

다음의 그림 7은 RTDS가 모의한 실시간 계통 정전 사고에 대한 APRS target 시스템의 응답으로서, 정전구

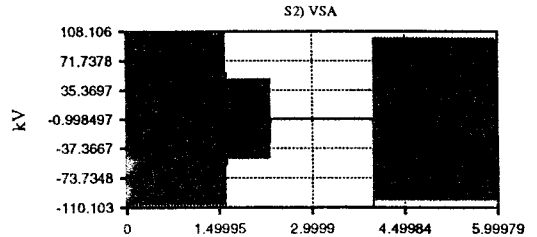


그림 7. 신당 S/S 부하변압기 1차측 전압

역인 신당 S/S의 변압기 1차측 전압을 나타낸 것이다. RTDS sequencer에 의해 사고 발생 시점은 1.58sec이고, 주보호 계전기의 동작은 1.60sec, 후비보호계전기의 동작은 2.32sec에 발생한다. 이후에 신당 S/S는 정전이 됨을 알 수 있다.

신당 S/S의 정전이 지속되다가 4.sec 부근에서 복구 되는 것을 알 수 있는데, 이는 정전이 발생한 후 APRS target 시스템의 정전복구 명령에 의한 것이다. 다음 페이지의 그림 8, 9, 10은 그림 7의 상세한 구간별 파형을 나타낸 것이다. 그림 8을 보면 1.58sec 부근에서 신당 S/S 신마 #1 T/L계전기의 오동작으로 인해 부하단의 고장 과도 상태가 지속됨을 알 수 있다. 그림 9는 신마 #2 T/L의 마장 S/S측 계전기의 후비보호 동작에 의한 신당 S/S의 정전상태를 나타낸 것이다. 위의 그림 8.로부터 지속된 고장상태는 신마 #2 T/L 신당 S/S측 계전기의 경우 외부방향 계전기가 동작하므로 고장상태는

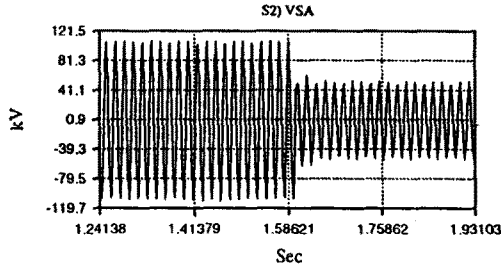


그림 8. 신당 S/S 부하 변압기 1차측 전압의 확대파형(1)

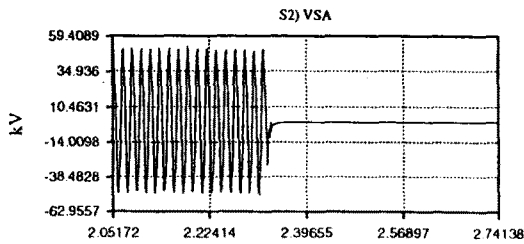


그림 9. 신당 S/S 부하 변압기 1차측 전압의 확대파형(2)

제거되지 않으며, 마장 S/S측의 후비보호(zone 2)에 의해 동작해 된다. 따라서, 공급되던 선로가 모두 개방되므로써 신당 S/S는 정전구역으로 변하게 된다. 그림. 10은 그림 9의 연속으로 무전압 상태가 지속되다가 약 1.7sec 후에 APRS target 시스템에 의한 정전 복구를 나타낸다. 정전상태가 지속되면, APRS target 시스템은

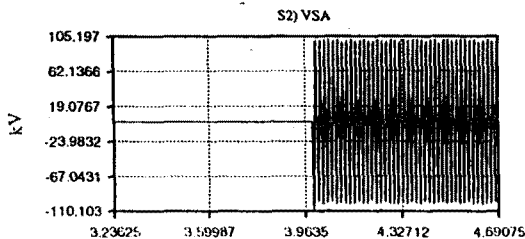


그림 10. 신당 S/S 부하 변압기 1차측 전압의 확대파형(3)

고장구간을 판정하게 되고, 이때 신당 S/S 계전기의 오동작을 인지하게 된다. 이 후 고장구간을 분리하고 정전구역을 검색하여 과부하가 없는 전력 공급 route를 검색하게 되고, 복구 동작을 취한다. 위의 그림에서 알 수 있듯이 정전이 복구되는 순간에 일시적인 여자상태를 유지하나, 고장 상태는 제거되었음을 알 수 있다.

7. 결론

본 논문에서는 실시간 디지털 시뮬레이터(RTDS)를 이용하여 APRS(송전선로 자동절체 시스템)의 실제동 모의 및 인터페이스하는 방법과 모의 결과를 제시하였다. 이번 APRS 계통모의 시험

은 기존의 off-line 시뮬레이션이 아니라, 실시간으로 시뮬레이터와 target 시스템과의 인터페이스를 구성하므로써, 실제통하에서 운전하는 운용설비에서와 동일한 신뢰성을 확보하고, 보다 정확하게 target system을 모의 할 수 있었다. 뿐만아니라 APRS가 보호하는 영역의 고장을 어떠한 경우(리레이의 오부동작)에도 정확히 구분하고 그 직전 송전계통의 전송용량을 판단하여 안정적으로 송전계통을 절체하기 위해 필요한 100여개의 단자 정보를 원활히 처리한 인터페이스 구성은 국내외적으로 시도된바 없는 고정밀 모의 시험이었다. 앞으로 전력계통의 연계가 점점 복잡, 다양화됨에 따라 대용량의 시뮬레이터를 이용한 실시간 계통 모의 시험기술은 전력기술의 고도화를 위하여 지속적인 수행과 발전이 이루어져야 할 것이다.

8. 참고문헌

- [1] 이옥화의 4명, "EMTP를 이용한 단상제대로 방식 초고압선로에 대한 안정도 시뮬레이션" '96 대한전기학회 전력계통연구회 춘계학술발표회 논문집 p106-110
- [2] R,Kuffel P,McLaren, M,Yalla, etc, "Testing of the Beckwith Electric M-0430 Multifunction Protection Relay",
- [3] D,Brandt R,Wachal R,Valiquette, etc, "Closed Loop Testing of a Joint Var Controller Using a Digital Real- Time Simulator" Transactions on Power System Vol. 6. No3. August 1991
- [4] 추진부,이기원 외 4명, "154KV 계통 방사상 운전에 따른 자동절체 시스템 개발 방안", '95' 한국 전기학회 전력계통분과 춘계 학술연구회논문발표집, p29-33
- [5] PSCAD Circuit Design Manual
- [6] EMTDC Custom Models Manual