

RTDS를 이용한 발전기 보호계전기 모델링

조윤성 이육화 신정훈* 김태균* 장길수**

LS 산전 전력연구소 한전 전력연구원* 고려대학교 전기공학과**

Protective Relay Modeling of Generator Using Real Time Digital Simulator

Y.S Cho W.H Lee J.H Shin* T.K Kim* G.S Jang**

LSIS KEPRI* Korea Univ.**

Abstract - Digital relays have numerous advantages over traditional analog relays, such as the ability to accomplish what is difficult or impossible using analog relays. This paper presents the protective relay modeling of generator using Real Time Digital Simulator(RTDS). The developed model is applied to the test system and the simulation results are evident that they performs satisfactory.

1. 서 론

디지털 거리계전기는 마이크로 프로세서의 발달과 더불어 활발한 연구가 진행되었는데, 종래의 아날로그형 계전기에 비해 수치연산의 고속실행, 자기진단, 이상감시 기능 및 제어장비와의 연계등 여러측면에서 우수한 장점을 가지고 있으며, 중요 송전선로보호 및 발전기 보호에 쓰이는 방식이다.

발전기 내부 또는 전력계통측 고장시 고장을 신속히 제거하지 않으면 발전기 손상을 초래할 우려가 있다. 발전기 내부 고장의 확실한 제거와 전력계통측 고장시 지속적인 고장전류 공급으로 인하여 발전기 손상을 방지하기 위하여 발전기를 안전하게 정지시킬수 있는 후비보호 계전기를 필요로 한다.

본 논문에서는 발전기 보호계전 알고리즘을 토대로 Real Time Digital Simulator(RTDS)를 사용하여 거리계 전기를 시뮬레이션 하였다.

2. 본 론

발전기 보호계전기 종류는 다음과 같다: 전기자권선 단락·지락, 불평형, 과여자, PT Fuse Fail, 계자상실, 역전력, 후비, 저주파수, 계자권선 지락, 전지자 과전류, 과전압, 저전압 보호. 본 논문에서 RTDS로 구현한 발전기 보호 거리계전기의 전체 구조는 그림 1과 같다.

2.1 후비보호용 거리계전기

주 보호계전기가 동작하지 않을 시 Back-up 하기 위해 설치되어 있으며, 계전기 설치점의 전압 전류로부터 고장점까지의 거리를 측정하여 보호 구간내 일때는 동작한다.

표 1 정정 기준[1]

용도	동작치 정정	한시 정정
단락 후비 보호	1. 전방(Forward) 다음 중 적은 값 택한다. 가. 발전기 최대출력의 150%에 해당하는 임피던스 나. 변압기(Step-up Tr.) 임피던스 + 다음 구간 최장선로 임피던스 × 곁보기 계수	2.5 sec*
	2. 후방(Backward) 발전기 과도임피던스 보다 크게 정정하며 가능한 범위에서 큰 값을 택함	

* 외부고장에 대하여는 최종후비이며 가능한 한 발전기 Trip 을 억제하기 위해 선로의 Zone3(100cycle)보다 50cycle의 협조시간을 두어 2.5sec로 정정함

2.1.1 임피던스 계산

후비보호가 가능한 발전기 보호용 디지털 거리계전기는 임피던스를 계산하여 고장지점을 판정하는 계전방식이며, 송전선로용과 달리 변압기(Step-up Tr.) 타입에 따라 계전기로 입력되는 전압과 전류가 달라진다. 따라서 저압측은 Delta, 고압측은 Wye로 구성된 계통에서 저압측에 계전기가 설치되어있으며, 고압측에서 사고가 발생시 계전기 입력인 전압과 전류 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 V_{ab_1} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (V_{ab} - V_{bc}) & I_{ab_1} &= -\sqrt{3}I_b \\
 V_{bc_1} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (V_{bc} - V_{ca}) & I_{bc_1} &= -\sqrt{3}I_c \\
 V_{ca_1} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (V_{ca} - V_{ab}) & I_{ca_1} &= -\sqrt{3}I_a
 \end{aligned}$$

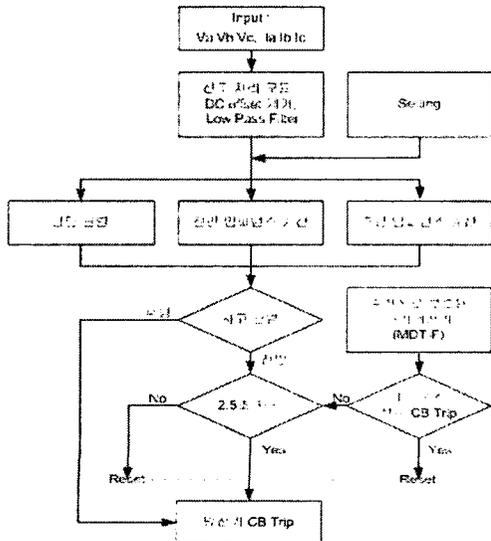


그림 1 발전기 후비 보호용 거리계전기의 전체 구조

위 식에서 첨자 L은 계산된 선간 전압 및 전류이다[2].

2.1.2 방향 판별

전방 및 후방 사고에 대응하기 위해 본 논문에서는 일방적인 방향 판별 기능을 사용하였다. 계전기로 들어오는 전압 및 전류는 다음과 같다.

$$V = V_{mag} \angle \theta_v = V_r + jV_i, \quad I = I_{mag} \angle \theta_i = I_r + jI_i$$

여기서 방향을 결정하는 항목은 전압과 전류의 위상각으로 결정할 수 있다. 즉, θ 가 -90 도부터 90 도 사이에 있으면 정방향 그렇지 않은 경우 역방향으로 볼 수 있다. 이 경우 기준점은 0 도가 된다. 만약 임의의 각 α 기준으로 하려면 $V_{mag} I_{mag} \cos(\theta - \alpha)$ 보다 큰 영역을 정방향으로 볼 수 있다. 특히, 고장시 고장거리는 고장과 관련된 상으로 연산하지만 방향결정은 고장에 영향을 받지 않거나 고장의 영향으로 오판하지 않을 전압을 기준으로 한다.

2.2 계전기와 사고 사이에 위치한 변압기의 영향

발전기 보호용 거리 계전기에서는 계전기와 사고 발생 사이에 변압기가 존재한다. 실 계통에서 저압(Delta)-고압(Wye) 결선에서는 위상 변화가 발생하며, 정상분과 역상분이 30 도씩 변화가 발생한다. 이는 건전상이 계전기 특성 곡선에 들어와 사고로 인식하는데 영향을 미친다. 이를 해결하기 위한 방법이 그림 3에 나타내고 있다[3,4,5].

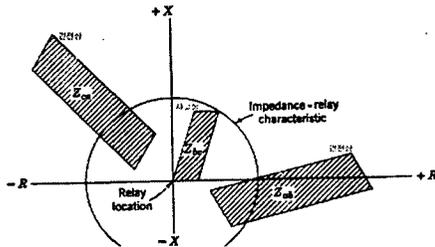


그림 2 다양한 위치에 따른 선간 단락 사고시의 임피던스 궤적

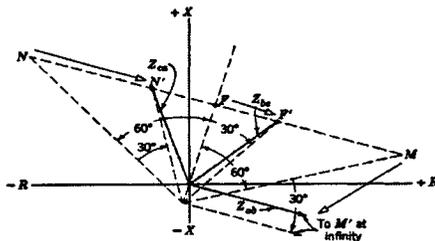


그림 3 저압측(계전기)과 고압측(사고)의 사이에 위치한 변압기에 따른 임피던스 변화

2.3 송전선로용 거리계전기

본 논문에서는 추가적으로 송전선로 보호 거리계전기를 RTDS UDC(User Defined Components)를 사용하여 보호계전 시스템의 시뮬레이션에 요구되는 여러 절차를 UDC에 직접 구현함으로써 한 번의 처리로 최종결과를 얻을 수 있도록 하는 거리계전기 구현방식을 사용하였다 [6]. 또한, Controls Compiler Block으로 작성된 보호계전 알고리즘의 시뮬레이션결과와의 비교를 통해 RTDS UDC를 사용한 보호계전 알고리즘 구현의 타당성을 검증하였다. 이와 같이 UDC를 사용하여 보호계전 알고리즘을 모의한다면, 시뮬레이션과정의 축소뿐 아니라 Time step이나 노력을 경감시킬 수 있으며, 간결한 시뮬레이션과정으로 보호계전 알고리즘의 수정이나 개선을 용이하게 할 수 있을 것이다. 본 논문에서 구현한 송전선로용 거리계전기는 미츠비사의 MDT-F 이다.

3. 사례 연구

RTDS를 이용하여 발전기 보호 거리계전기를 시험하기 위해 그림 4와 같은 계통을 사용하였다. 발전기와 선로의 데이터는 다음과 같다.

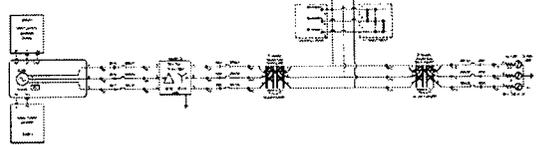


그림 4 시험 계통

- 발전기 : GENROU
- 여자기 : EXST3, 조속기 : TGOV1
- 관성정수 : 3.41
- 발전기 출력 : 236 MW/ 22MVar
- 선로 임피던스(정상분) : $7.18 + j104.85$ ohms
- 변압기 : 100MVA, 0.0252pu, 22/363.15 kV

3.1 발전기 보호용 거리계전기의 검증

RTDS에서 구현한 발전기 보호용 디지털 거리계전기는 사용자가 세팅(전·후방 사고 인식 기능, Mho Type, Reach, 선로각 등)을 함으로서 전후방 사고에 대해 시뮬레이션 할 수 있다. 그림 6-(a),(c)는 고압측에 AB 단락 사고시 저압측에 설치된 계전기가 보는 임피던스 궤적 및 판별 이며, 그림 6-(b),(d)는 발전기와 변압기 사이에 사고 발생시 저압측에 설치된 계전기가 보는 임피던스 궤적 및 판별 이다.

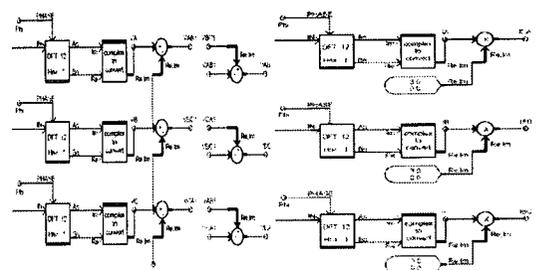
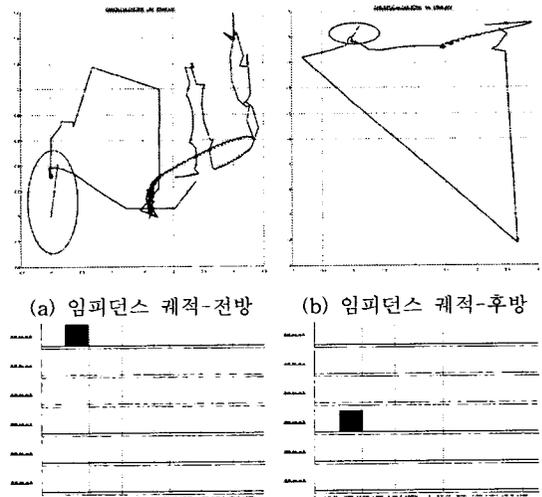


그림 5 RTDS Draft 상에서의 임피던스 구현



(a) 임피던스 궤적-전방 (b) 임피던스 궤적-후방
(c) 사고 판별-전방 (d) 사고 판별-후방
그림 6 발전기 보호 계전기의 사고 판별

3.2 송전선로 보호용 거리계전기의 검증

RTDS UDC를 이용한 MDT-F의 Displays가 그림 7에 나타나 있다. 사용자는 그림 8의 파라미터 창을 이용하여 계전기를 셋팅할 수 있다. UDC를 이용한 MDT-F 계전기는 그림 5와 같은 Controls Compiler Block으로 구성된 계전기와 결과를 비교·검증 하였다. 그림 9는 선로의 90% 위치에 사고시 임피던스 궤적이 Zone 2 영역 안으로 들어오음을 확인할 수 있다.

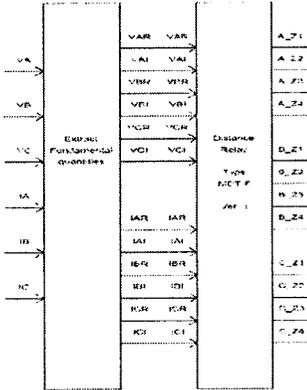


그림 7 MDT-F 계전기

세 번째는 발전기 보호 계전기의 동작, 네 번째는 발전기 보호 차단기의 동작을 나타내고 있다. 사고는 고압측 선로의 50% 지점에 AB상 단락 사고를 가정하였다.

그림 10은 사고 발생시 MDT-F 계전기가 사고를 인식하여 차단기에 신호를 보내 선로 차단기를 트립한 경우이다. 이때 발전기 보호 계전기도 사고를 인식하지만 MDT-F가 트립에 성공했으므로 초기 상태로 복귀하였다.

그림 11은 MDT-F 계전기가 사고를 인식하였지만 여러 가지 이유로 선로 차단기를 트립 하지 못하고 2.5초 동안 지속되었을 때 발전기 보호 계전기가 사고 트립 신호를 보내 차단에 성공한 경우이다.

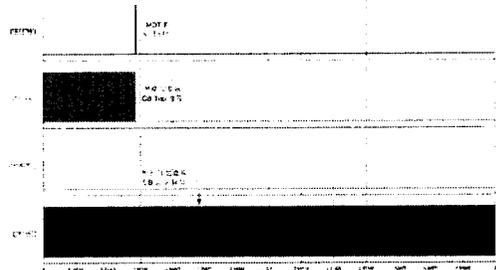


그림 10 선로 보호 계전기 차단 성공, 발전기 보호 계전기 상태 유지

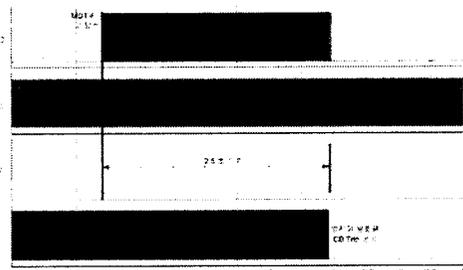
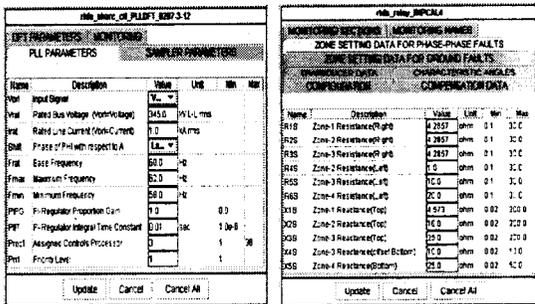


그림 11 선로 보호 계전기 차단 실패, 발전기 보호 계전기 차단 성공



(a) 신호처리 모듈 (b) 임피던스 및 출력
그림 8 MDT-F 계전기 파라미터

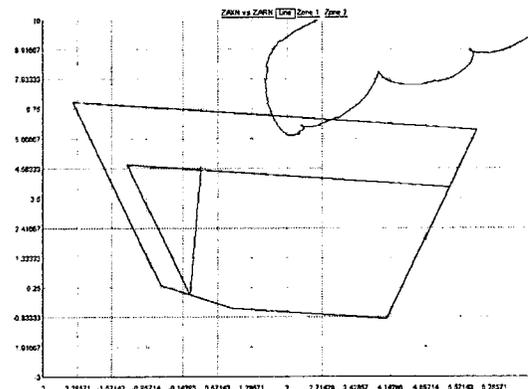


그림 9 MDT-F 임피던스 궤적

3.3 발전기 후비 보호

위에서 언급한 발전기 및 선로 보호 거리 계전기를 이용하여 발전기 후비 보호를 시뮬레이션 하였다. 그림 10, 11에는 각각 4개의 동작이 존재한다. 첫 번째는 선로 보호 계전기의 동작, 두 번째는 선로 보호 차단기의 동작,

4. 결 론

본 논문은 RTDS를 이용하여 발전기 보호 계전기 훈련 코스 개발 과제 중에서 거리 계전기 개발 부분이다. RTDS에 거리계전기를 모델링하고 시험 계통에 적용하여 모델의 정확성을 검증 하였다. 또한 선로 보호 거리 계전기도 UDC를 이용하여 모델링 및 결과를 검증하였다. 향후 동기 탈조 및 여러 가지 모델을 개발하여 RTDS에 종합적인 거리계전기 Software 모델을 만들 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한전 중앙교육원, "전력계통보호(I),(II)", 한국전력공사
- [2] GE Industrial Systems, "G60 Generator Management Relay"
- [3] C.Russell Mason, "The Art & Science of protective Relaying", GE Multilin
- [4] G. Ziegler, "Numerical Distance Protection: Principles and Application", Publicis MCD, 1999
- [5] SEL Inc., "SEL-300G Multifunction Generator real Instruction Manual"
- [6] RTDS Tech., "Real Time Digital Simulator Power System Manual"