

적용보호를 위한 계층적 시스템의 기본구조

이승재* °김기화° 오정환*
*명지대 전기전자공학부

임동진**
**한양대 제어계측공학과

Basic Structure for Hierarchical Adaptive Protection System

Seung Jae Lee Ki Hwa Kim Jung Ilwan Oh
Myong Ji University

Dong Jin Lim
Han Yang University

Abstracts

Recent development in the digital relay technology has introduced the adaptive relaying system which adopts the relays to the current operating states. This paper proposes the hierarchical digital protection system whose design has been based on 154 kV S/S. Applying the newest communication networking, the system provides the new protection capabilities improving the system reliability and speed.

1. 서론

현재의 보호계전기 정정 및 협조는 일반적으로 배후전원, 부하, 계통연결, 고장등에 관한 일정한 운전조건을 가정하여 행하여지므로, 상정된 운전상황 발생시 만족스런 동작을 기대할 수 있으나 고려되지 못한 상황이 발생할 경우에는 요구되는 보호기능을 충족시키지 못할 수 있다. 최근 실계통적용이 확대되고 있는 디지털 보호계전기의 프로그램기능은 새로운 보호시스템 개념인 적용보호시스템의 출현을 가능하게 하였다. 적용보호시스템이란 계통 상태의 변화에 따라 On-line 상태에서 계전기의 동작파라미터를 자동적으로 변화시켜 현 상태에 가장 적절한 보호시스템을 갖추고자 하는 개념이다 [1,2]. 최근 연구가 활발한 DIP(Digital Integrated Protection) 시스템은 기존 EM 계전기의 단순 디지털화에 치중되어 있어 디지털계전기의 장점을 제대로 활용하지 못하고 있다.

본 논문에서는 적용보호를 실현하는 3단계 계층적구조를 갖는 DIP 시스템을 제안하고 있다. 각 계층간은 최신통신망으로 연결되어지며, 상위계층에서는 종합적 계통상태 감시를 통한 고장판단 및 계전기의 최적 정정치결정등의 지능적 보호기능을 갖고 하위계층에서는 데이터의 취득 및 보호동작을 수행한다. 기존 154 Kv 변전소 모델로하여 각계 층별로 이루어져야 할 적용보호 기능들을 파악하였으며

이에 필요한 정보의 종류와 량을 파악하여 통신네트워크의 요건을 결정하였다.

2. 적용보호 방식

적용보호는 아래와같은 3단계로 구성되는 일련의 과정에 의하여 수행되어진다.

단계 1: 계통변화 인식 - 선로의 분리 또는 투입에 의한 계통연결상태변화, 발전기탈락, 투입 또는 AGC에 의한 발전량변동, 조류변동, ULTC 탭변동등의 운전상태 변화를 보호계전기 정정시의 상태와 비교하여 계전기의 보호동작에 영향을 미칠만한 변화의 발생 여부를 판단한다.

단계 2: 오부동작 계전기 파악 - 현 정정치를 기준으로하여 선로조류증가에 따른 오동작이 가능한 계전기, 계통변화에 따른 고장전류 크기의 변화에 의한 오부동작이 예상되거나 검보기계수변화에 의한 비협조가 발생하는 계전기, 탭변동에 따른 감도의 저하가 예상되는 계전기등을 파악한다.

단계 3: 계전기 정정치 결정 - 이상동작이 예상되거나 또는 향상된 보호동작을 기대할 수 있는 계전기를 대상으로 현 계통상태에 가장 적절한 정정치를 결정한다. 정정치의 결정은 일반적으로 정정률에 의하여 행하여지며 주보호 및 후비보호계전기간의 협조조건을 만족시켜야 한다.

단계 1에서는 대상계통내의 피보호기기들의 전압과 전류, 차단기 및 각종 스위치 상태, 계전기 동작상태, 그리고 변압기탭등의 정보를 지속적으로 감시하는 시스템이 요구되며, 단계 2에서는 고장 및 조류해석을 하는 시스템이 필요하다. 그러나 전계통을 대상으로 할 경우 그 수행속도상의 부담이 과중하므로, 발생된 계통상태 변화에 의한 고장전류 및 조류의 변화가 보호계전기의 동작에 영향을 미칠 수 있는 범위를 파악할 수 있어야하며 파악된 지역내의 계전기를 대상으로 정밀한 오부동작 해석을 행하는 것이 바람직하다. 계전기의 재정정(단계 3)에 있어서 정정파라미터는 계전기종류와 메이커에 따라 달라지며 이들의 결정방법도 다양하므로 이에대한 많은 지식을 요구한다. 특히 전계

통의 완전한 협조는 때로는 불가능하며 이 경우 적절한 전문가적 지식이 필요하다. 이를위하여는 전문가의 정정 및 협조지식에 따라 정정을 실행하는 전문가시스템이 바람직하다.

3. 계층적 적용보호 시스템

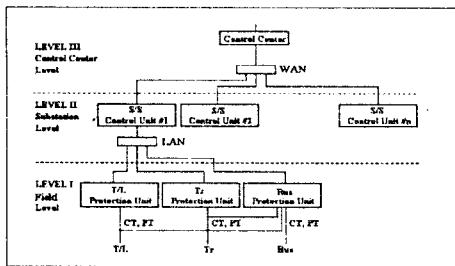


그림 1 전체 계층적 시스템 구성도

본 논문에서 제시하는 보호시스템은 그림 1에서 보이는 바와같이 Field Level (FL), Substation Level (SSL), Control Center Level (CCL) 등 3 계층으로 구성된다. FL-SSL, SSL-CCL 간은 각각 LAN (Local Area Network)과 WAN (Wide Area Network)으로 연결되어 진다. 최하위계층인 FL은 기존의 보호계전기 기능을 직접적으로 수행하는 계층으로서 그 피보호기기에 따라 다양한 '보호유니트 (Protection Unit)'로 구성되며, 이의 상위레벨인 SSL과 CCL에서는 각기 자기레벨에서 가능한 모든 정보를 종합판단하여 기존의 방식보다 더욱 빠르고 정확한 후비보호를 수행하고 계통의 상태변동에 따른 적절한 적용보호기능을 담당한다.

FL에서 취득되는 데이터에는 전류, 전압, ULTC 템등의 수치데이터와 CB on/off 및 내부절연상태, 스위치 (DS, ES) 상태, 변압기 절연상태등의 접점데이터가 있다. 또 SSL로부터 동기신호, CB 동작신호, 정정치등의 정보를 받고, SSL로 부터는 모든 취득데이터와 CB트립신호, 고장종류정보, 계전기동작상태등을 전송한다. SSL은 CCL로부터 동기신호, CB 동작신호, 계전기정정치등의 정보를 받고 CCL로는 FL로부터의 취득데이터를 전송한다.

3.1 Field Level

FL을 구성하는 보호유니트는 피보호기기 근접한 위치에 설치됨을 원칙으로 하며, 계통상태 데이터를 수집하는 DAU (Data Acquisition Unit)와 고장의 판단 및 차단기동작을 명령하는 PRU (Protective Relay Unit)로 구성되며 기존의 디지털보호배전반에 해당한다. 보호유니트는 그 보호대상에 따라 선로보호유니트, 변압기보호유니트, 버스보호유니트등이 있으며 각각은 독립적인 보호기능을 수행하며 자동점검기능을 수행하여 주보호계전기의 이상이 발견될 경우 후비보호를 주보호로 전환시키어 보호의 신뢰성을 확보한다.

3.2 Substation Level (SSL)

SSL은 변전소에 설치되는 Substation Control Unit (SCU) 들로 구성되며 FL로부터의 데이터를 바탕으로 상태및 고장판정을하여 아래와 같은 보호기능을 수행한다.

(1) 차단기 실패 보호: 보호유니트로부터 트립신호가 발생하였으나 일정시간후까지 차단기가 개방되지 않는 상태를 감지하여 관련 후비차단기들에게 트립명령을 내리는 것으로 이때 후비보호계전기의 동작시간을 고려하여 차단기가 동작되도록 한다.

(2) 변압기보호계전기 정정값 변경: Tap변화, 단자전압변화에 따라 pick-up 및 slope 등을 변화시켜 계전기의 동작감도를 높인다.

(3) 오동작보호: 계전기의 트립명령발생시 FL로부터의 실데이터를 이용하여 동작시뮬레이션을 행하여 계전기의 동작을 검증하여 오동작판단시 강제 재폐로명령을 내린다. 시뮬레이션은 계전기동작률베이스, 보호계전기로직률베이스, 정정치데이터베이스로 구성되는 전문가시스템을 이용한다.

3.3 Control Center Level (CCL)

CCL은 최상위레벨로서 여러 변전소에서의 상황을 종합감시 및 판단을 통하여 계통 전체적으로 최적의 보호능력을 갖도록 하는 중앙제어소로서 아래와 같은 세부기능을 갖는다.

(1) 적용후비 선로보호: 거리계전기 후비보호기능을 CC에 의한 변전소간의 데이터 전송으로 주보호가 실패할 경우 CC감시에 의해 후비보호를 수행한다. 이때 후비보호의 속도증가와 신뢰성있는 보호가 가능하다.

(2) 정정치 변경 기능: 계통운전상태의 변화를 보호계전기 정정시의 상태와 비교하여 오부동작 또는 비협조의 우려가 있는 계전기를 찾아 적절한 정정치를 결정하여 해당계전기의 정정치를 변경한다.

(3) 적용 Reclosing 기능: 계전기 동작상황과 계통의 상황을 파악하여 불필요한 재부임방지와 확실한 재폐로 동작을하도록하여 계통의 신뢰도를 향상시킨다.

(4) 고장점 추정기능: 고장임피던스가 큰 사고인 경우 선로양단의 고장전압 및 전류로부터 정확한 고장위치 및 고장임피던스를 추정하여 zone-2,3 등과같은 후비보호계전기의 오동작을 방지하여 신뢰도를 높인다.

(5) 견보기효과 추정: 고장발생시의 설 고장전류로부터 후비계전기가 보는 정확한 견보기효과를 계산한다.

4. 통신 Network

본 연구에서는 속도 및 거리등 통신상의 규격요건을 결정하기 위하여 154 kV 실변전소를 대상으로 데이터를 분석하였다. 여기서 CCL은 10개의 변전소를 관리한다고 가정하였으며 각 변전소는 송전선 8, 변압기 4, 모선 2로 구성되었

다고 가정하였다. 대상계통의 보호방식은 송전선로인 경우 주보호로서 방향비교 전송방식과 후비보호로서 3단계 거리제전방식을 적용하며, 변압기보호인 경우 전류차동제전방식과 과전류제전방식을 각각 주보호와 후비보호로, 모선보호인 경우 전류차동방식을 적용함을 기본으로 고려하였다.

4.1 FL-SCU 통신

대상계통에 대하여 매 샘플당 필요한 데이터인 고속 데이터와 보호계전기 정정값과 같이 매 Sample당 필요하지 않은 데이터인 저속 데이터로 구분하여 데이터를 분석한 결과를 표 1에 정리하였다. 표1에서 보는 바와 같이 고속 데이터는 T/L 8 선으로 한 선당 전류 A,B,C,N상의 4 채널과 전압 A,B,C상의 3 채널이 있으며, 각 채널은 16 Bit A/D 컨버터를 사용할 경우 2 byte로 구성되어 아날로그 총 데이터는 112 byte가 된다. 또한 송전선 보호계전기로부터의 Trip신호(차단기 동작 신호 4 채널)등으로 구성되는 Digital OUT 신호는 총 8 byte가 되며, 보호계전기 입력신호인 Digital IN 신호는 차단기의 접점상태, 절연상태등으로 구성되며 총 16 byte의 데이터로 송전선 보호에 적용되는 고속 데이터의 합은 136 byte이며, Tr 및 Bus도 같은 방식으로 계산되어 고속 데이터의 총 합은 516 byte가 될 수 있다. 저속 데이터는 계전기 정정값의 최대양으로 150 byte로 주어지나 이는 고속 데이터 전송시의 여유 시간을 이용하여 전송할 수 있기 때문에 데이터 전송을 위한 통신 속도에는 영향을 주지 않는다.

표 1 SSL-FL 간 고속데이터

종류	분류	채널	Byte	개수	합계 Byte
T/L	아날로그 (전류,전압)	7	14	8	112
Digital OUT	7(EA)	1	8	8	
Digital IN	16(EA)	2	8	16	
Tr	아날로그 (전류,전압)	14	28	4	112
Digital OUT	5(EA)	1	4	4	
Digital IN	20(EA)	3	4	12	
BUS	아날로그 (전류,전압)	56	112	2	224
Digital OUT	10(EA)	2	2	4	
Digital IN	92(EA)	12	2	24	
총 합계					516

따라서 고속데이터량을 고려한 데이터 전송 속도는 식 (1)로 주어지는 Utilization Factor (UF)를 이용하여 산출할 수 있다.

$$UF = \sum_{i=1}^N \frac{L_i}{BT_i} \quad (1)$$

N : node 수 L_i : bit 수

B : Data rate(bps) T_i : sampling period

통신신뢰도를 고려하여 UF를 0.3 이하로 할 경우 전송속도 B는

$$\frac{1}{0.3} \sum_{i=1}^N \frac{L_i}{T_i} < B \quad (2)$$

로 주어진다. 여기서 $L_1, \dots, L_8 = 17 * 8$, $L_9, \dots, L_{12} = 32 * 4$, $L_{13}, L_{14} = 126 * 2$, $T_i = 1/(16*60)$ 이므로 전송속도는 $(136+128+252)*(16*60)/0.3$ 또는 13.2 Mbps 이상으로 주어진다. 이런 속도의 데이터 전송은 독립적 보호계전기와 유사한 속도로 SCU 후비보호 기능이 333ms 이내, 차단기 실패보호는 40ms이내에 이루어져야 함을 고려할 때 전술한 기능수행이 충분히 가능한 속도이다.

본 논문에 제안한 통신거리는 총 15개의 보호ユニ트가 변전소 내부에 설치됨을 원칙으로 하였으므로 각각의 최대거리 를 100 m로 가정하여도 1.5 Km에 불과하다. 본 논문에서 채택하고 있는 FDDI (Fibre Distributed Data Interface) LAN 방식은 그림 2에 보이는 바와 같이 Dual counter-rotating ring구조로 되어 있어 신뢰도가 매우 높으며 최대 100 Mbps의 통신속도를 갖고 있고 총 적용가능길이가 100km로서 FL-SSL간의 통신방식으로 적합하다고 할 수 있다.

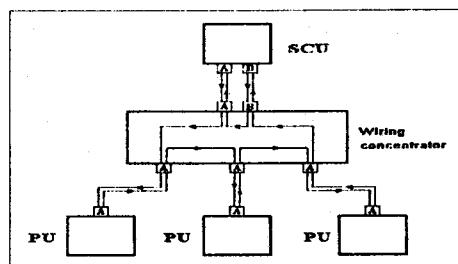


그림 2 FDDI 방식 구성도

4.2 SL-CCL 간 통신

SCU와 Control Center 사이의 고속데이터는 1개 변전소당 T/L관련 데이터는 140 byte와 Tr, BUS 접점 데이터는 5 byte이므로 CCL에서 취급하여야 할 총 데이터는 10 개 변전소를 기준으로 할 경우 1450 byte가 되며 (표2) 따라서 데이터전송은 통신여유도를 0.3으로 할 경우 $1450*16*60/0.3$ 또는 약 37.2 Mbps의 속도가 요구된다.

표 2 SSL-CCL 간 데이터

속도	분류	개수	Byte	합계 Byte
고속	T/L 데이터(C/R용 포함)	10	140	1400
	Tr, BUS 보호 CB,DS,LS 접점	10	5	50
저속	보호계전기 정정치 및 관련정보			150
	Tr, BUS 데이터	10	375	3750

최근 실 적용을 넓혀가고 있는 ATM(Asynchronous Transfer Mode) WAN은 적용가능 거리는 반경 100 Km이고 최대 Giga-bps 단위의 통신속도를 갖고 있어 CCL에

서 전술한 적용보호기능을 충분히 담당할 수 있는 시간적 여유를 제공하므로 CCL-SSL 간의 통신시스템으로 적합하다고 할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 적용보호를 실현하는 3단계 계층적구조를 갖는 DIP 시스템을 제안하고있다. 상위계층에서는 종합적 계통상태감시를 통한 고장판단및 개전기의 죽직 정정치 결정등의 지능적 보호기능을 갖고 하위계층에서는 데이터의 취득및 보호동작을 수행하여 보호개진의 속도및 신뢰도 향상을 기대할 수 있다. 현재의 연구에서는 적용보호의 타당성과 이의 실현을 위한 기본적인 H/W및 S/W의 요건을 파악하였으나 실제 적용을 위하여는 앞으로 많은 세부적인 사항에 대한 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] G.D. Rockefeller, C.L. Wagner "Adaptive Reansmission Relying Concepts for Improved Performance" IEEE Transactions on power Delivery 1988. 4
- [2] J.S. Deliyannides, E.A. Udren " DESIGN CRITERIA FOR AN INTEGRATED MICROPROCESSOR-BASED SUBSTATION PROTECTION AND CONTROL SYSTEM" IEEE Trans . Power App June 1982.
- [3] Yunping Chen, R.K. Aggarwal, A.T. Johns " A COMPUTER AIDED DESIGN OF ADAPTIVE PROTECTION SYSTEM FOR SUBSTATIONS " International Power Engineering Conference March 1993.
- [4] Kamu R. SHAIH, EDSON D. DETJEN, ARUN G. PHADKE " Feasibility of Adaptive Distribution Protection System Using Computer Overcurrent Relaying Concept " IEEE Trans. Industry App Sep 1988.
- [5] C. booth, J.R. McDonald, R.W. Stewart, W.J.Laycock, A.Bennett "Enhanced power system control and management via intelligent substation" IEE 2nd International Conference on Advances in Power System Control,1993. p542-547
- [6] 윤용범,추진부,진동훈,이광호,이기원,정정원 "154kv 계통 방사상 운전에 따른 자동절체 시스템 개발 방안" 대한전기학회 전력계통 분야 춘계 학술대회 논문집 pp29-33 1995.5
- [7] "변전소의 보호, 제어를 위한 Digital 시스템 개발" 한국전력공사 기술연구원 1992. 9