

임피던스 계전기를 이용한 발전기 비동기 투입 보호 연구

논 문

60-11-2

A Study on Protection of Generator Asynchronization by Impedance Relaying

이 종 환*
(LEE Jong-Hweon)

Abstract - Asynchronous phenomenon occurs on the synchronous generators under power system when a generator's amplitude of electromagnetic force, phase angle, frequency and waveform etc become different from those of other synchronous generators which can follow instantly varying speed of turbine. Because the amplitude of electromagnetic force, phase frequency and waveform differ from those of other generators with which are to be put into parallel operation due to the change of excitation condition for load sharing and the sharing load change, if reactive current in the internal circuit circulates among generators, the efficiency varies and the stator winding of generators are overheated by resistance loss. Where calculation method of protection settings and Logic for Protection of Generator Asynchronization will be recommended, A distance relay scheme is commonly used for backup protection. This scheme, called a step distance protection, is comprised of 3 steps for graded zones having different operating time. As for the conventional step distance protection scheme, Zone 2 can exceed the ordinary coverage excessively in case of a transformer protection relay especially. In this case, there can be overlapped protection area from a backup protection relay and, therefore, malfunctions can occur when any fault occurs in the overlapped protection area. Distance relays and overcurrent relays are used for backup protection generally, and both relays have normally this problem, the maloperation, caused by a fault in the overlapped protection area. Corresponding to an IEEE standard, this problem can be solved with the modification of the operating time. On the other hand, in Korea, zones are modified to cope with this problem in some specific conditions. These two methods may not be obvious to handle this problem correctly because these methods, modifying the common rules, can cause another coordination problem. To overcome asynchronizing protection this paper describes an improved backup protection coordination scheme using a new Logic that will be suggested

Key Words : Synchronizer, Asynchro, Distance relay, Impedance relay

1. 서 론

계통병입 장치는 발전기를 계통병입 할 때만 잠시 사용하는 장치이고 보호계전기류에 포함되지 않아 정기적인 관리 대상에서 제외되기 쉽다. 최근에 들어 발전소 예방정비 시 계통병입 장치의 신뢰성에 대한 검증을 하고 있는 발전소가 있기는 하나 제한적인 시험에 그치고 있으며 심지어 발전소 건설 후 20년 가까이 운전하면서 Synchronizer나 관련회로의 신뢰성 검증 시험을 한 번도 하지 않은 발전소가 있는 것이 현실이기도 하다. 발전기 비동기 투입을 경험해본 사람은 계통병입 회로나 장치의 신뢰성을 무엇보다도 중요하게 생각하고 있다. 그러나 비동기 투입 보호에 대한 관심은 의외로 적다. 이유는 발전기 비동기 투입에 대한 보호계전 방식이 없을 뿐만 아니라 비동기 투입 시 전력설비에 대한 보호가 불가능 하다고 생각하고 있기 때문인 것 같다. 대부분 비동기 투입은 일어나지 않도록 사전에 철저한 점검과

준비가 필요하다는 인식은 하고 있지만 비동기 투입이 발생했을 때 전력설비를 보호하기 위한 보호 장치에 대한 노력은 없었다. 왜 비동기 투입이 일어나는가? 일어나게 하지 않으면 되지 않느냐고 하겠지만 우리계통에서 수년에 한 번씩은 일어나는 고장임을 부인할 수 없다. 발전소 건설이나 예방정비 후 발전기를 기동하여 계통에 병입 할 때 병입 장치 하나에 의존해 발전기를 병입 하게 되는데 계통병입 장치(Synchronizer)의 특성변화, PT회로의 변경, 차단기 투입회로의 시 지연(Time Delay) 변화 등으로 발전기가 비동기 투입되면 전력설비에 미치는 피해가 치명적임에도 불구하고 현재 발전기 비동기 투입 시 설비를 보호할 수 있는 보호회로나 계전 방식이 없다. 그간 비동기 투입 사례를 분석해 보면 주변압기의 손상으로 나타나게 되고 이에 발전소는 주변압기의 교체 비용과 복구기간동안 발전을 못하게 되는 2중의 경제적 손실을 보게 된다. 그럼에도 불구하고 현재 세계적으로 발전기 비동기 투입 시 설비를 보호하기 위한 보호 방식을 따로 구비하지는 않고 있다. 지난 20년간 발전소 전력계통 보호 업무를 수행해온 경험에 의하면 결과론적으로 비동기 투입 시 전력설비 보호가 가능하다. 본 논문에서는 발전기 계통병입 simulation, 로직 개발, 비동기 투입 시 임피던스 계전기 정정 기준제시를 통해 임피던스 계전기를

* 정 회 원 : 한전전력연구원 선임연구원

E-mail : protection@kepco.co.kr

접수일자 : 2011년 8월 18일

최종완료 : 2011년 10월 19일

이용한 발전기 비동기 투입 보호계전방식에 대한 방안을 제시 하고자 한다.

2. 현재적용중인 임피던스 계전 방식

발전기의 후비 보호 요소로 적용하고 있는 거리계전기와 과전류 보호계전 요소를 이용하여 로직 추가 및 새로운 정정을 한다면 현재 설치되어 있는 발전기 보호 계전기만으로도 비동기 투입 보호가 가능하기 때문에 비동기 투입 보호 계전 방식을 적용하기 위한 보호계전기를 따로 추가하여 설치할 필요는 없다. 발전기 후비 보호용 거리계전기는 통상 2.5sec의 시지연 (Time delay) 요소를 두어 발전소 외부 고장 시 고장이 지속될 경우 발전기를 보호하는 계전기로 사용을 하고 있다[1]. 이 거리계전기를 이용하여 비동기 투입 보호를 하기 위해서는 보호 로직의 추가 구성이 필요하며 그에 따라 비동기 투입 보호를 위한 거리계전기의 적절한 정정이 수반 되어야 한다. 거리계전기는 사용할 수 있는 protection Zone이 2~3개로 구성되어 있다. 보통 한두 개 요소를 후비보호 요소로 사용하므로 이 중 하나의 protection Zone과 본 논문에서 제시한 비동기 보호 로직과 configuration을 통하여 발전기 비동기 투입 보호계전기로 적용할 수 있다. 발전기 후비 보호요소로 적용 하는 거리계전기는

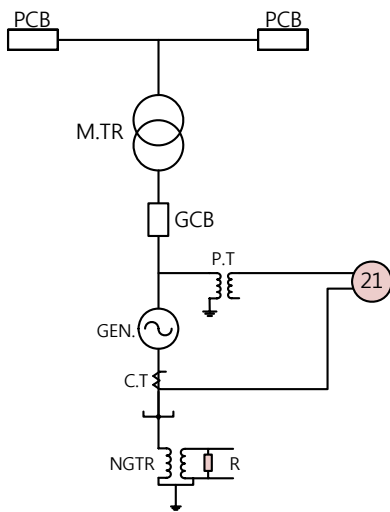


그림 1 거리계전기 단선도
Fig. 1 Single Line of Distance Ry

[그림 1]과 같이 발전기 Terminal측에 설치된 PT와 Neutral측에 설치된 CT로부터 전압, 전류를 공급받아 임피던스를 계산하며 보호범위내로 고장 임피던스가 이동하면 일정시간 후 동작하는 계전기이다.[2] 발전기 후비보호로 사용하기 위해 Forward 방향 정정은 『주변압기 임피던스 + 송전선로 임피던스』와 『발전기 정격부하의 150%에 해당하는 임피던스』를 비교하여 그 중 작은 임피던스로 정정하며, Backward 방향은 발전기 내부 고장 시 거리계전기 부동작 가능성을 제거하고 Loss of Field 계전기 및 발전기 Under Excitation 운전 한계 등을 고려하여 적당한 임피던스를 결

정하여 정정한다. [그림 2]는 발전기 후비 보호 요소로 적용 중인 거리계전기의 정정 특성을 나타낸다. Forward Reach는 주변압기 와 송전로 합성 임피던스와 발전기 정격출력 150% 임피던스 중 작은 값으로 정정하였고, Backward Reach는 발전기 Transient Reactance X'd의 1/2보다 다소 작게 정정하여[5] 내부 고장시 부동작을 피하고 Under excitation과 보호협조를 하도록 정정하여 사용하고 있는 국내 1200MW급 원자력 발전소 울진N/P1,2호기 거리계전기 사용 예다. 거의 모든 발전소의 발전기 후비 보호용 거리계전기 CT(Current Transformer)는 발전기 Neutral측에 설치되어 있어 설비 고장에 의해 거리계전기가 Backward 영역에서 동작할 가능성은 없다. CT 뒷 방향은 전압이 형성되지 않은 중성점이기 때문이다. 그러나 비동기 투입이나 Loss of Field 상태가 되면 거리계전기의 Backward 영역으로 임피던스가 이동하므로 Under Excitation상태에는 동작하지 않고 비동기 투입 시점에서만 설비를 보호할 수 있도록 정정을 하고 로직을 추가할 필요가 있다.

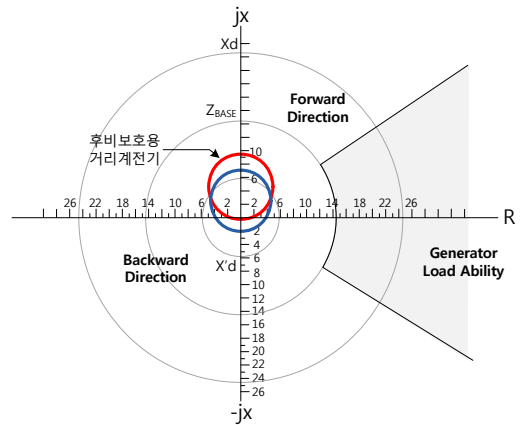


그림 2 후비보호용 거리계전기 특성
Fig. 2 Characteristic of Back-up Distance Ry

3. 제안하는 비동기 투입 보호 임피던스 계전 방식

발전기 비동기 투입은 차단기를 투입하면서 일어나는 시간적으로 극히 제한적인 현상이다. 이러한 사실은 발전기를 병입하고 나면 비동기 투입보호는 더 이상 필요 없게 된다는 다른 표현이기도 하며 차단기 투입시만 그 기능이 필요하다는 의미이므로 이에 맞는 새로운 로직을 개발하고, 보호 목적에 맞는 거리계전기 정정 기준을 마련하여 두 조건을 조합 하면 발전기 비동기 투입 보호가 가능하게 된다. 비동기 투입 보호 계전요소가 상시 운전 중 그 기능이 정지 되어야 하는 더 큰 이유가 있다. 뒤에서 언급 하겠지만 simulation에 의하면 비동기 투입보호 거리계전 요소는 발전기 BASE 임피던스보다도 크게 정정해야 비동기 보호가 가능하고 보호 신뢰도가 향상된다. 더 크게 정정 할수록 보호 신뢰도가 좋아 지겠지만 너무 커지면 정상적인 동기 투입 시에 오동작하게 되므로 적절한 동작 감도 조절을 위한 정정계산으로 결정 되어야 하며 시간적으로 제한적인 기능을 반드시 가져야 한다. BASE 임피던스보다 크게 정정한다는 의미는 Generator Load Ability 영역을 포함하게 된다는 의

미로 발전기 Full Load 운전 시 동작한다는 것이다. 그러므로 반드시 계통병입 후 일정시간(500msec) 동안에만 그 보호 기능을 유지해야 한다. 과전류 계전기 역시 마찬가지다. 비동기 보호 과전류 계전기의 pick up치 정정역시 발전기 Full Load 운전 시 동작 할 수 있는 발전기 정격전류 이하에 정정해야 하므로 상시 운전에서는 보호 기능이 정지되어야 한다. 위에서 서술한 내용을 반영하여 비동기 보호를 위한 로직과 로직내에 적용할 보호계전요소의 정정에 대해서 언급 하고자 한다.

3.1 비동기 투입 보호 로직 제안

발전기 계통병입은 사전 simulation test를 수차례 수행하면서 정확한 동기 시점에서 투입되도록 조정을 하고 실제통병입시 측정을 하여 확인절차를 거치므로 초기의 설비상태를 유지한다면 2~3도의 위상차 내에 투입된다. 이렇게 잘 구성된 시스템으로 수행된 계통병입 초기 500msec내에서 발전기 출력 전류는 정격의 10~15% 정도로 제한된다.

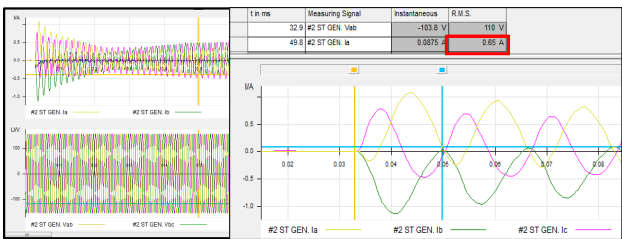


그림 3 동기 투입시 전압전류 파형
Fig. 3 V.I. Waveform on Synchronizing

[그림 3]은 분당복합화력 발전기의 정상적인 계통병입 파형으로 병입 후 500msec내에서 최대 전류는 0.65A로 측정되었다. 계통병입 초기 출력 전류는 발전기 단자 전압 및 발전기 회전수, 투입 시 위상차에 따라 양상이 다르긴 하지만 10도 이내의 동기 투입 이라면 절대로 일정치 이상의 전류를 상회하지는 않는다. 만약 병입 후 500msec 이내에서 발전기 출력 전류가 일정치 이상 흐른다면 이는 고장 아니면 비동기 투입이라고 할 수 있으므로 계통병입 후 500msec내에 비동기 투입 여부를 판단하기위해 합리적 정정기준 가지고 보호 요소를 가동 하는 것이 중요하다. 비동기 투입 보호 요소는 보호 목적 자체가 비동기 투입 보호이므로 계통병입 시점에서만 보호 기능을 수행하면 된다. 비동기 투입 보호의 신뢰성 확보를 위한 보호 기능 시작 시점과 종료 시점을 정확하게 판단하기 위하여 Synchronizer 출력 점점과 병입 차단기 점점을 이용하여야 한다. 차단기 점점만 로직에 적용할 경우 발전기 Full load 운전 중 점점 신호가 오동작하여 비동기 투입 보호 로직이 enable 될 경우 운전 중 비동기 투입 보호 기능이 다시 기동 될 수 있어 오동작 우려가 있기 때문에 병입 차단기 투입 명령과 차단기 점점을 AND 조건으로 적용하여 차단기 점점 오동작에 의한 보호 신뢰성 저하의 가능성을 없애야 한다. [그림 4]는 본 논문에서 제안하는 비동기 투입 보호 개념을 로직도로 나타낸 것으로 계통병입 장치가 차단기 투입 지령을 내려 GCB가 투입되면 이때부터 Timer가 기동되고 500msec동안

만 최종 출력 AND 회로에 신호를 내보낸다. 병입 후 500msec내에 과전류 계전기가 동작 하거나 임피던스 계전기가 동작하면 AND Gate는 출력을 내보내 GCB와 Turbine을 Trip 시킨다. 만약 계통병입 후 500msec가 경과하게 되면 이 비동기 보호 로직은 다음 계통병입 때 까지 기능을 정지하게 된다. 이 로직을 이용하여 로직 내에 있는 임피던스계전기와 과전류 계전기 정정을 통하여 비동기 투입 보호를 할 수 있다. 계전기의 합리적 정정을 위하여 다음과 같은 simulation을 수행하였다

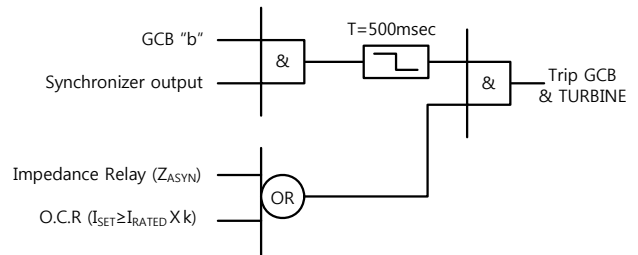


그림 4 비동기 투입 보호로직
Fig. 4 Asynchronizing Protection Logic

- Synchronizer output : 계통병입시 차단기 전 후의 PT 정보로부터 전압, 주파수, 위상 등 동기 상태를 파악하고 동기 시점에서 차단기 투입 명령을 내리는 계통병입 장치
- Impedance Relay(Z_{SYN}) : 비동기 투입 보호를 위해 정정한 거리계전기 동작 정보
- Impedance Relay(Z_{SYN}) : 비동기 투입 보호를 위해 정정한 거리계전기 동작 정보
- GCB"b" : 병입차단기 Closed시 열리는 차단기 보조 접점

3.2 비동기 투입보호 임피던스 정정을 위한 simulation

비동기 투입에 사용될 과전류계전기 및 임피던스 계전기 정정 계산 및 기준 제시를 위하여 화력발전 및 원자력발전기의 계통병입 simulation을 RTDS를 이용하여 원자력 및 화력발전기 4기에 대해 수행 하였다. 국내 발전소 synchronizer의 위상 특성은 전기각 10도에 정정하여 운전하고 있다. 그러므로 비동기 보호용 과전류 계전기나 임피던스 계전기 정정 기준을 10도 위상차 계통병입 시 나타나는 전압, 전류를 기준으로 안전율을 고려하여 정정하면 된다. simulation은 동기와 비동기 critical point인 전기각 10도를 위주로 수행하였다[3]. Digital Type 계전기의 동작 감도는 보통 5~6msec면 충분히 고장 여부를 판별할 수 있고 발전기 계통병입 직 후 1cycle 시점에서 나타나는 과도 전류의 크기가 가장 크게 나타나므로 이 시점의 전류 크기를 이용하여 정정 하는 것이 중요하다. 전기각 10도 위상차 계통병입 후 1cycle시점의 과전류 값과 전압은 표 1과 같다.

결론적으로 전기각 10도 위상차 계통병입 시 병입 1cycle 후 전류는 화력발전기 경우 정격전류의 70%, 원자력 발전기의 경우 40%의 과도 전류가 생성됨을 알 수 있으며 이 Data를 이용하여 비동기 투입 보호 정정이 가능하다. 이 Data로부터 과전류 결과만 임피던스에 반영하고 전압 강하분은 정정계산에 반영하지 않은 이유는 임피던스 계전기 특성상 오동작 요인이 많아 안전율을 고려하기 위험을 미리 말해둔다.

표 1 위상차 10도 계통병입 simulation 결과

Table 1 Simulation Result on 10° difference Angle

GEN	θ	단위	GEN전압(kV)			GEN전류(kA)		
			A	B	C	A	B	C
삼천포5	10°	rms	11.9	11.9	11.9	10.3	11.1	6.77
		%	98.67	98.67	98.67	60.91	65.64	40.04
영동2	10°	rms	11.3	11.3	11.3	4.59	4.88	3.26
		%	93.20	93.20	93.20	64.21	68.27	45.61
울산6	10°	rms	10.4	10.4	10.4	9.92	9.92	6.44
		%	94.80	94.80	94.80	69.03	69.03	44.82
울진4	10°	rms	11.9	11.9	12	7.86	11.8	8.71
		%	93.70	93.70	94.49	24.55	36.85	27.20

표 2~4는 울산 6호기 RTDS modeling 정수를 나타낸 것이고 simulation 4개 발전기 계통 축약도 나열해 보았다. 본 simulation의 요지는 위상차 10도 병입시 최소 고장전류가 얼마인지를 판단하는 것이 가장 중요하므로 simulation 결과 중 위상차 10도의 초기 과전류 결과만 인용하였다.

표 2 울산화력 6호기 모델정수 GAST

Table 2 Modeling Parameter GAST_UlsanT/P#6

Name	Description	Value	Unit
R	Speed Droop	0.050	pu
T1	Time Constant T1	0.400	sec
T2	Time Constant T2	0.100	sec
T3	Time Constant T3	3.000	sec
AT	Ambient Temp. Load Limit	0.900	pu
Kt	Constant Kt	2.000	
Vmax	Maximum Limit Vmax	0.815	pu
Vmin	Minimum Limit Vmin	0.270	pu
Dturb	Constant Dturb	0.000	

표 3 울산화력6호기 모델정수 EXST2

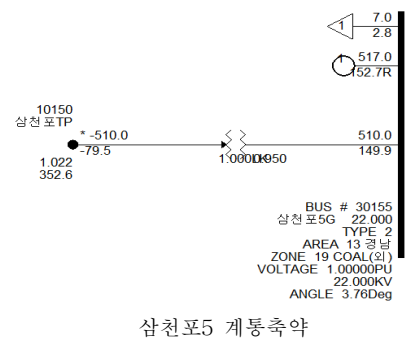
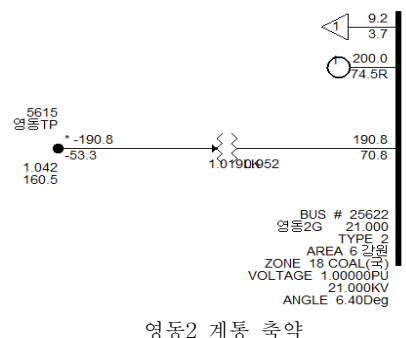
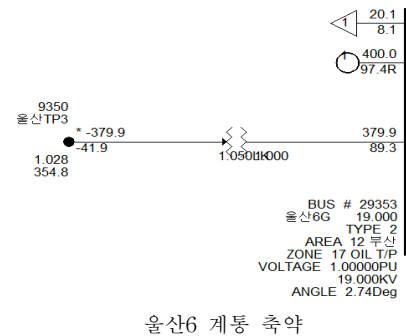
Table 3 Modeling Parameter EXST2_UlsanT/P#6

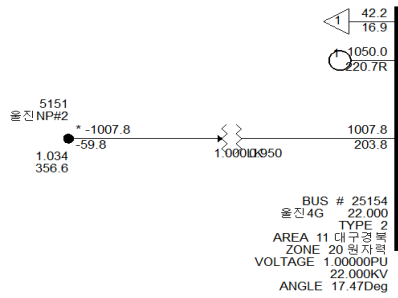
Name	Description	Value	Unit
Tr	Time Constant Tr	0.000	sec
Ka	Gain Ka	120.000	
Ta	Time Constant Ta	0.150	sec
Vrmx	Upper Limit Vrmx	2.000	pu
Vrmin	Lower Limit Vrmin	-1.200	pu
Ke	Constant Ke	1.000	
Te	Time Constant Te	0.500	sec
Kf	Feedback Gain Kf	0.030	
Tf	Feedback Time Constant Tf	0.500	sec
Kp	Constant Kp	1.190	
Ki	Constant Ki	0.000	
Kc	Constant Kc	0.700	
EfmX	Upper Limit EFDmax	4.500	pu

표 4 울산화력 6호기 GENROU

Table 4 Modeling Parameter GENROU_UlsanT/P#6

Name	Description	Value	Unit
Tdo'	D: Unsat. Transient Open T Const.	5.712	sec
Tdo''	D: Unsat. Sub-Trans. Open T Const.	0.043	sec
Tqo'	Q: Unsat. Transient Open T Const.	0.635	sec
Tqo''	Q: Unsat. Sub-Trans. Open T Const.	0.069	sec
H	Inertia Constant	5.834	MWs/MVA
D	Speed Damping	0.000	pu/pu
Xd	D-axis: Unsaturated Reactance	1.739	pu
Xq	Q-axis: Unsaturated Reactance	1.700	pu
X'd	D: Unsaturated Transient Reactance	0.293	pu
X'q	Q: Unsaturated Transient Reactance	0.469	pu
X''d=X''q	D,Q: Unsaturated Sub-Trans. Reactance	0.230	pu
X1	Positive Sequence Reactance	0.180	pu
SE10	Sat. Factor at 1.0 pu open-circuit V	0.250	
SE12	Sat. Factor at 1.2 pu open-circuit V	1.023	





울진4 계통 축약

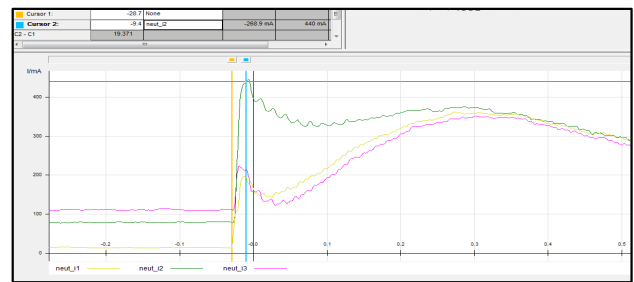


그림 7 울진NP#4 병입 파형

Fig. 7 Synchronizing Waveform WooljinNP#4

3.3 비동기 투입 보호를 위한 임피던스 정정 제안

비동기 보호 요소 동작 신뢰도를 확보할 수 있고 동기 투입 시 오동작 하지 않는 최소 고장전류가 얼마인가 하는 문제는 3.2항의 simulation 결과로부터 해결되었다. simulation 결과의 현장 적용 가능성 검증 및 정정 신뢰성 확보를 위해 실제로 운전 중인 발전기의 정상적인 계통병입 시 500msec 이내 시점의 출력전류가 얼마인지 알아보았다. 여기에서 분당복합 ST#2나, 평택화력 2호기의 병입 파형을 예로 선정한다. 사유는 Steam Turbine의 경우 병입 현상이 대부분 유사하기 때문에 화력발전기의 병입 사례로 선정하였음을 알려준다. 측정에 측정에 의하면 정상적인 계통병입의 병입 위상차는 2~3도를 초과하지 않은 것으로 측정되었다.

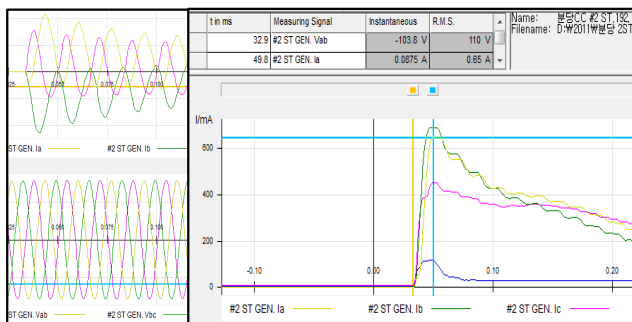


그림 5 분당복합 4호기 병입 파형

Fig. 5 Synchronizing Waveform BundangCC#4

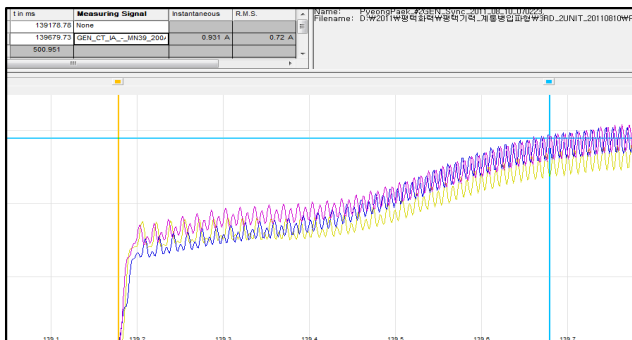


그림 6 평택화력 2호기 병입 파형

Fig. 6 Synchronizing Waveform PyongtakTP#2

[그림5~7]은 정상적인 계통병입 시 병입시점의 발전기 출력 전류를 기록한 것으로 계통병입 시 전압, 주파수, 병입 위상각차등 변수가 존재하여 다양한 양상으로 나타나기는 하나 병입 후 0.2초 내외에서 발전기 구속과 함께 역전력 현상이 잠깐 나타났다가 발전기 초기 출력 정정에 맞게 정상 부하 출력 운전을 하는 양상을 공통적으로 보여 준다. 또한 파형 분석에서 알 수 있듯이 정상적인 계통병입 시에는 발전기의 출력 전류가 정격전류의 0.1~0.15p.u를 초과하지 않는다는 공통적 사실이다.

이때의 전압 전류를 임피던스로 환산해보면 발전기 Base 임피던스의 약10배정도로 큰 값으로 환산된다. 즉 거리계전기는 동작하지 않는 영역이라는 것이다.

일반적으로 계통병입 후 발전기의 Initial Load setting치는 2~3% 정도이므로[6] CT 2차측 전류로 0.1A 밖에 되지 않는다. 만약 병입 후 500msec 이내에 발전기 정격에 가까운 큰 전류가 흐른다면 이는 전력 설비 고장 아니면 비동기 투입이라고 할 수 있다. 실제로 비동기 투입에 의해서 흐르는 전류일 가능성이 훨씬 크다. 왜냐하면 병입을 위해 이미 양계통의 설비가 정상 상태로 문제없이 운전하고 있었으므로 전기적 고장일 확률 보다는 비동기 투입으로 인한 과전류일 가능성이 훨씬 큰 것이라 할 수 있는 것이다.

고장이라면 그에 맞는 보호계전기가 동작을 하겠지만 비동기 투입에 의한 과전류라면 현재의 보호 계전 방식으로선 보호할 길이 없다. 비동기 투입시 후비 보호용 거리 계전기가 pick up은 하겠지만 2.5sec를 기다려야 하고 Reverse power 계전기(32)역시 pick up은 하지만 3sec를 기다려야 한다. pick up이 가능한 계전기 중 가장 빠른 계전기는 loss of field(40)이나 이마저도 계전기 pick up 후 0.5sec를 기다려야 하니 100~150msec 정도면 전력설비는 파괴되는데 충분한 시간이므로 보호할 길이 없는 것이다.

3.2항의 simulation 결과를 이용하여 하동화력과 울진원자력 발전기의 거리계전기를 이용한 비동기 투입 보호용 거리 계전기 정정에 대해 계산해 보면

3.3.1 하동화력발전기 비동기 보호 임피던스 정정

sample : 하동화력 7.8호기 발전기
 PRated : 613.5MVA, VRated : 22kV, 0.9P.F, 60Hz,
 IRated : 16,100A, 3600rpm
 CT Ratio 20,000:5A, PT Ratio : 24,000:120V
 $X''d = 0.195p.u$

$X'd = 0.25p.u$
 $X_d = 1.98p.u$ 인 화력 발전기 경우

계전기에서 바라본 발전기 Base Impedance를 Z_{BASE_Ry} 라 할 때

$$Z_{BASE_Ry} = \frac{kV^2}{MVA} \times \frac{CT_{RATIO}}{PT_{RATIO}}$$

$$= \frac{22^2}{613.5} \times \frac{4000}{200} = 15.78\Omega$$

3.2항의 표 1에서 simulation 결과 3600rpm 화력발전기의 전기각 10도의 최대 과도 전류가 정격의 70%정도 되므로 CT 오차 5%, PT 오차%, 보호계전기 오차 5%를 고려하여 최대 전류를 85%로 가정 할 경우

$$I_{Rated} = \frac{613.5 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 22} = 16,100A$$

$$I_{Rated.2ND} = \frac{I_{Rated}}{CTRatio} = \frac{16,100A}{4,000} = 4.025A$$

비동기 보호용 Impedance Relay 계전기의 정정 Impedance를 Z_{SET_Asyn} 라 할때

$$Z_{Set_Asyn} = \frac{110/\sqrt{3}}{4.025 \times 0.85} = 18.56\Omega @22kV$$

비동기 보호용 임피던스 계전기 정정 임피던스 18.56Ω은 Generator Base Impedance 15.78Ω의 118%에 해당하므로 3600rpm 화력발전기 비동기 투입 보호용 Impedance 정정은 Base Impedance의 120%에 정정하고 과전류 요소는 정격전류의 85%에 정정한다면 비동기 투입 시 보호가 가능하다.

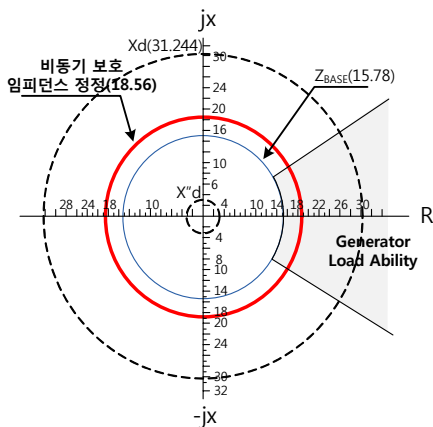


그림 8 화력 발전기비동기 보호용 임피던스 정정
 Fig. 8 Example of Thermal power plant Impedance Ry

3.3.2 원자력발전기 비동기 보호 임피던스 정정

sample : 울진 원자력1.2호기 발전기
 $P_{Rated} : 1,236.8MVA, V_{Rated} : 22kV, 0.9P.F, 60Hz,$

$I_{Rated} : 32,458A, 1800rpm$
 CT Ratio 40,000:5A, PT Ratio : 22,000:100V
 $X''d = 0.290p.u$
 $X'd = 0.415p.u$
 $X_d = 1.710p.u$ 인 원자력 발전기 경우

계전기에서 바라본 발전기 Base Impedance를 Z_{BASE_Ry} 라 할 때

$$Z_{BASE_Ry} = \frac{kV^2}{MVA} \times \frac{CT_{RATIO}}{PT_{RATIO}}$$

$$= \frac{22^2}{1236.8} \times \frac{8000}{220} = 14.23\Omega$$

3.2항의 표1에서 simulation 결과 1800rpm 원자력발전기의 전기각 10도의 최대 과도 전류가 정격의 40%정도 되므로 CT 오차 5%, PT 오차%, 보호계전기 오차 5%를 고려하여 최대 전류를 55%로 가정 할 경우

$$I_{Rated} = \frac{1,236.8 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 22} = 31,244A$$

$$I_{Rated.2ND} = \frac{I_{Rated}}{CTRatio} = \frac{32,244A}{8,000} = 4.03A$$

비동기 보호용 Impedance Relay 계전기의 정정 Impedance를

Z_{SET_Asyn} 라 할때

$$Z_{Set_Asyn} = \frac{100/\sqrt{3}}{4.03 \times 0.55} = 25.872\Omega @22kV$$

비동기 보호용 임피던스 계전기 정정 임피던스 25.872Ω은 Generator Base Impedance 14.23Ω의 181%에 해당하므로 1800rpm 원자력발전기 비동기 투입 보호용 Impedance 정정은 Base Impedance의 180%에 정정하고 과전류 요소는 정격전류의 55%에 정정한다면 비동기 투입 시 보호가 가능하다.

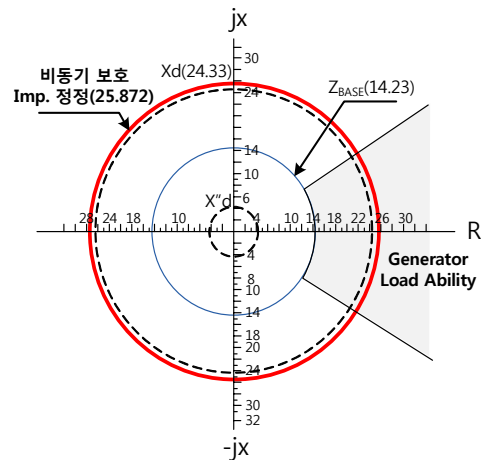


그림 9 원자력발전기 비동기 보호용 임피던스 정정
 Fig. 9 Example of Nuclear power plant Impedance Ry

4. 결 론

결론적으로 비동기 투입 보호를 위해서 3600rpm 화력 발전기 비동기 투입 보호용 Impedance 정정은 Base Impedance의 120%에 정정하며 과전류 요소는 정격전류의 85%에 정정하고, 1800rpm 원자력발전기 비동기 투입 보호용 Impedance 정정은 Base Impedance의 180%에 정정하며 과전류 요소는 정격전류의 55%에 정정하여 3.1항 그림4에서 제안한 로직을 적용한다면 인적 실수, 설비 특성 변화로 인한 비동기 투입 발생 시 전력설비 피해를 최소화 할 수 있을 것으로 판단한다. 우리계통의 광역 정전 발생 사례 중 전체의 75%가 보호 계전기와 관계가 있다고 한다[7] 보호 계전기는 넓게는 광역 정전, 좁게는 설비 피해를 최소화 하는 중요한 설비다. 발전소 건설 후 폐기 할 때 까지 단한 번도 동작하지 않은 계전기가 대부분 이다. 어쩌면 발생할 지도 모르는 고장이나 현상을 대비하여 설치한 계전기 이지만 동작하지 않았다고 해서 어느 누구도 필요 없다고 말하지 않는 것처럼 비동기 투입 보호 역시 발전기 운전 중 단한 번도 동작 하지 않을지 모른다. 아니 단 한 번도 동작 하지 않아야 할 계전기 이다. 그러나 우리계통에서 불행하게도 수년에 한 번씩 재현 되는 비동기 투입을 보면 더 이상 선택이 아닌 필수요소라고 생각 한다. 거의 모든 발전기 보호계전기가 Digital Type으로 설치되어 있으므로 비동기 투입 보호는 추가적인 비용이나 복잡한 기술이 요구되는 일이 아니다. 이미 설치되어 있는 계전기에 본 논문에서 제시한 간단한 로직을 추가하고 합리적인 동작치만 정정해 준다면 비동기 투입으로 설비가 손상되어 경제적 손실이 초래되는 일은 없을 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

[1] Eun-Woong Lee "The Analysis of Asynchronous Phenomenon and Electrical Characteristics of Synchronous Generator for Peak Load Operation" 대한 전기학회 논문집 제47권 제6호_1998.6 p.719.

[2] Cho Seong-jin의 "A study on the Development of protection relay applied a Generator protection Basic Algorithm"_2003 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A, 2003,7

[3] IEEE C37.102-2006 IEEE Guide for AC Generator Protection_5.7_ Synchronizing

[4] 정창호, 이재규,정병태,안복신"Adaptive 보호범위를 가진 송전선로 보호용 디지털 거리계전기,대한전기학회,1998 하계학술대회 논문집 C p7.

[5] 권영진외"발전기 과도현상에 따른 발전기 보호 계전기 동작 분석" 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집 379Page. 2006.11.

[6] Hyung-Kyu Kim, Sang-Hee Kang:Improved coordination Method for Back-up protection schemes Based on IEC 61850" 대한전기학회 논문집 제60권 제1호, 2011.1, p.43.

[7] 이승재"광역정전 방지를 위한 거리계전기 위험도 관리 시스템" 대한전기학회_전기의세계_제57권_제4호_2008.4_ p.66.

저 자 소 개



이 종 현 (李 鍾 煥)

1962년 1월 6일생. 1991년 전남대 전기공학 학과 졸업. 현재 한전 전력연구원 선임연구원

Tel : 042-865-7651

Fax : 042-865-7599

E-mail : protection@kepco.co.kr