

분산전원 보호용 디지털 보호계전기 개발

조철희*, 이병호*, 오의석*, 고철진**, 강상희**

*: 현대중공업(주) **: 명지대학교 전기공학과

Development of the digital protection relay for protecting distributed generation

Chul-Hee CHO*, Byeong-Ho LEE*, Eui-Seok OH*, Chul-Jin KO**, Sang-Hee KANG**

*: Hyundai Heavy Industries Co.,Ltd. **: Dept. of Elec. Eng. Myongji Univ.

Abstract - The existing distribution networks are growing with an increase of power demand more and more. Therefore, for efficient operation of distribution networks, operators are much in need of distributed generation. This paper describes a development of the digital protection relay(HIMAP) for protecting distributed generation which is expected to play an increasing role in electric power systems in the near future. This paper particularly introduces frequency protective algorithm and reverse power protective algorithm among the relaying algorithms for protecting distributed generation in distribution networks and presents capability of a developed digital protection relay including these algorithms.

1. 서 론

오늘날 경제성장과 산업의 고도화에 따라서 전력수요가 급증하고 있다. 하지만 주가적인 대규모 발전소 건설은 화석연료의 고갈 및 환경오염 등의 원인으로 점차적으로 제한될 수밖에 없다. 그러므로 전력수급의 장기적 안정을 확보하기 위해서 다양한 에너지원의 효율적 활용을 목적으로 한 분산전원의 도입이 매우 시급한 현황이다. 하지만 분산전원이 배전계통에 도입되어 연계 운전하게 되면 출력용량에 따라서 양방향의 전력조류가 발생할 수 있으므로 전압 변동이나 주파수 변동 등의 문제를 야기할 수 있다. 그러므로 분산전원이 도입되었을 경우 적절히 대처하기 위하여 기존의 계통보호에 사용되고 있는 보호 알고리즘에 대해서 분석하고 적용 범위를 새롭게 설정하여야 한다.

본 논문에서는 상용전원과 분산전원의 상호 연계시 고려되어야 하는 연계기준과 보호 계전기의 적용원칙에 대하여 소개한다. 또한 다양한 분산전원 보호용 계전 알고리즘 중에서 주파수 계전 알고리즘과 역전력 계전 알고리즘에 대하여 설명하고, 모의실험을 통하여 이 두 가지 알고리즘이 탑재된 디지털 보호계전기(HIMAP)의 성능을 평가한다.

2. 본 론

2.1 상용전원과 분산전원의 상호 연계 기준

2.1.1 일반적인 요구사항

상용전원과 분산전원의 상호 연계를 위한 일반적인 요구사항으로는 Local EPS(Electric Power System: 전력 공급 시설)와 Area EPS가 연결된 지점에서의 전압변동이 $-5\% \sim +5\%$ 이내여야 하며 설치부하와 차단 용량을 초과되지 않도록 연계해야 한다. 또한 EPS 지역에 고장이 발생하면 분산전원은 중지되어 있어야 하며 EPS 지역이 일정전압 범위 안에 있고, $59.3Hz \sim 60.5$

Hz 이내일 경우에 재폐로를 한다.

2.1.2 상호 연계를 위한 전압·주파수 기준

계통에 이상이 발생시 연계된 시스템의 전압 및 주파수가 표1,2와 같은 범위에 있을 경우 차단시간 안에 분산전원은 전력공급을 중단해야 한다. 이때 분산전원의 출력이 $30kW$ 이하 이면 현장 조건에 따라 조정가능이나 표1,2의 차단시간이 최대가 되어야 하고 $30kW$ 보다 클 경우는 표1,2의 차단시간이 기본값이며 현장조건에 따라 조정가능하다.

표 1. 이상전압에서의 차단시간

전압범위 (정격전압의 %)	차단시간 (sec)
$V < 50$	0.16
$50 \leq V < 88$	2.00
$110 < V < 120$	1.00
$V \geq 120$	0.16

표 2. 이상주파수에서의 차단시간

분산전원 용량	주파수 범위 (Hz)	차단시간 (sec)
$\leq 30kW$	>60.5	0.16
	59.3	0.16
	<59.8~57.0	0.16
$> 30kW$	>60.5	0.16
	<59.8~57.0	0.16 ~ 3.00
	<57.0	0.16

2.1.3 상호 연계를 위한 고조파 기준

분산전원이 선형부하에 전력을 공급할 경우 표3의 각 차수별 고조파 함유량을 초과해서는 안된다.

표 3. 정격전류에 대한 각 고조파 전류의 왜형률

고조파 차수 (h)	%
$h < 11$	4.0
$11 \leq h < 17$	2.0
$17 \leq h < 23$	1.5
$23 \leq h < 35$	0.6
$35 \leq h$	0.3
TDD(Total demand distortion)	5.0

2.2 분산전원 연계시 계전기 적용 원칙

- 과전류 계전기(51,51G)

고장점의 위치에 따라 고장전류의 방향이 변하지 않으며 고장전류의 방향이 변하는 계통이라도 보호협조를 기대할 수 있는 계통에 적용한다.

- 방향성 과전류 계전기(67,67G)

적용원칙은 고장전류의 방향이 변하는 계통으로서 과전류 계전기로써 충분한 보호협조를 기대할 수 없고 연계선으로 구성되어 있으며 연계선로 긍장이 너무 짧아 거리 계전기 적용이 어려운 계통에 적용한다.

- 유효전력 보호 계전기(32P)

상용전원 측으로 전력의 역송을 불허하는 계통에 적용한다. 분산전원으로부터 전력의 역송을 검출하는 목적으로 적용한다.

- 무효전력 보호 계전기(32Q)

고장전류의 크기가 작아 방향성 과전류 계전방식 및 거리계전방식을 적용할 수 없고 최소용량 발전기 1기 운전시 방향성 과전류 계전기 및 거리계전기의 동작이 불확실한 계통에 적용한다.

- 부족전압 계전기(27)

분산전원 측에서 적용원칙은 고장전류의 크기가 작아 과전류 및 방향성 과전류 계전방식을 적용할 수 없고 무효전력 보호 계전방식을 사용하는 보호방식 구성에서 고장검출 요소 및 3상 단락 후비보호용으로 적용한다. 상용전원 측에서 적용원칙은 재폐로 및 비동기 투입 방지용으로 적용한다.

- 주파수 계전기(81)

주파수 계전방식은 부하차단의 목적으로 상용전원 측의 전원 공급이 중단 될 경우 분산전원은 단독으로 수용 가의 부하를 담당할 수 없어 주파수가 떨어지게 되며 이 때 주파수가 규정치 이상까지 회복될 때까지 비 중요 부하로부터 순차적으로 차단하는데 적용한다.

- 파일럿 계전기

특히 중요한 계통으로서 연계선로 전 구간의 고장을 신속히 제거할 필요가 있고 전류차동방식, 방향 비교방식 중에서 선정하는 것을 원칙으로 한다.

2.3 역전력 계전 알고리즘

역전력 계전 알고리즘은 분산전원으로부터 상용전원으로의 역송방지를 위한 유효전력 계전 알고리즘과 일반 과전류나 방향성 과전류 계전기로 고장검출이 용의하지 않은 민감한 고장을 판별하기 위한 무효전력 계전 알고리즘으로 분류할 수 있다.

역전력 계전 알고리즘의 순서도는 그림1과 같으며, 계측데이터의 오차를 줄이기 위하여 저역통과 필터 및 FIR 필터를 설계하였고, DFT기반 직교변환법으로 전압과 전류의 real값과 imaginary값을 구하여 유효·무효전력을 계산하였다.

$$\begin{aligned} P &= VI \cos \theta & \text{(식2.1)} \\ Q &= VI \sin \theta & \text{(식2.2)} \end{aligned}$$

식(2.1)과 식(2.2)는 각각 유효전력과 무효전력의 계산식이며, θ 는 전압과 전류의 위상차를 나타낸다.

역전력 계전 알고리즘의 동작 특성은 동기 투입시나 계통의 동요시 일시적인 전력반전으로 오동작하지 않도록 하기 위하여 한시 동작 특성을 갖는다.

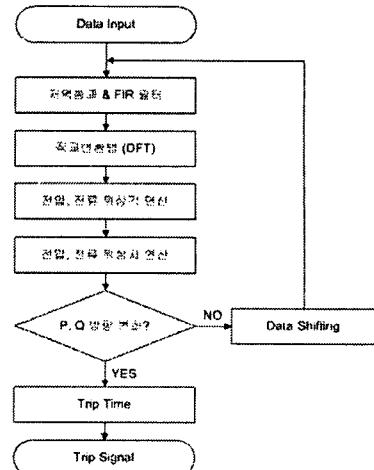


그림 1. 역전력 계전 알고리즘 순서도

2.4 주파수 계전 알고리즘

전력계통에서 발전기의 용량과 부하용량이 서로 맞지 않는 경우에 주파수의 변동은 발생하게 된다.

발전기의 용량이 부하의 용량보다 큰 경우 계통의 주파수는 증가하게 되고, 반대의 경우에는 감소하게 된다. 이러한 주파수의 변동으로 인해, 공급전력과 수요전력의 불균형 상태가 되게 되며, 기본주파수로의 회복이 안되는 경우에는 발전설비에 악영향을 주게 되며, 최악의 경우 발전기의 계속운전이 어려워져 대정전사고로 발전할 우려가 있다. 따라서 주파수의 변동을 상시적으로 감시해야 할 필요가 있으며, 필요에 따라서는 주파수 계전기를 통하여 계통을 차단해야 할 것이다.

주파수 계전 알고리즘의 순서도는 그림2와 같으며, 일반적으로 주파수 계전기는 저주파 요소 57Hz 이하, 고주파 요소 63Hz 이상의 설정치를 가진다. 그리고 동작특성은 한시 특성이다.

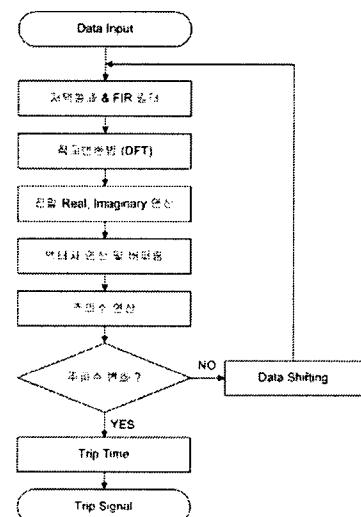


그림 2. 주파수 계전 알고리즘 순서도

2.5 시뮬레이션 및 결과 분석

본 논문에서는 역전력 계전 알고리즘과 주파수 계전 알고리즘의 실제 적용 여부를 판단하기 위하여 이 두 가지 계전 알고리즘을 실제 디지털 보호 계전기(HIMAP)

에 탑재하고 계전기 테스트 장비를 이용하여 성능을 평가하였다.

그림3,4는 역전력 계전 알고리즘의 결과를 표현하고 있으며, 표4는 각 테스트에 대한 평가표이다.

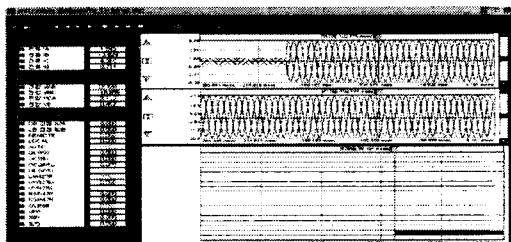


그림 3. 역전력 계전 알고리즘 테스트1(과전력)

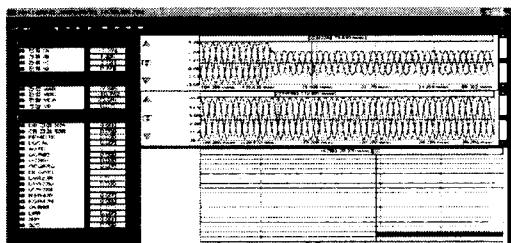


그림 4. 역전력 계전 알고리즘 테스트2(저전력)

표 4. 역전력 계전동작 결과

계전	설정 전력 [kW]	계전동작 전력 [kW]	계전 오차 [%]
과전력	65500	65515	0.023
계전	71500	71519	0.027
저전력	4500	4499	0.022
계전	3850	3847	0.026

표 4의 테스트 결과, 계전오차가 0.03%이하의 우수한 계전동작을 할 수 있으므로 계통변화에 따른 전력변동에 능동적 대처가 가능한 보호 계전기임이 확인되었다.

그림5는 주파수 계전 알고리즘의 검증을 위하여 입력 주파수를 60Hz에서 30Hz로 변화를 주었을 경우의 계전 동작을 보여주고 있으며 표5는 다양한 주파수 변동에 따른 주파수 계전기의 동작 결과를 나타내고 있다.

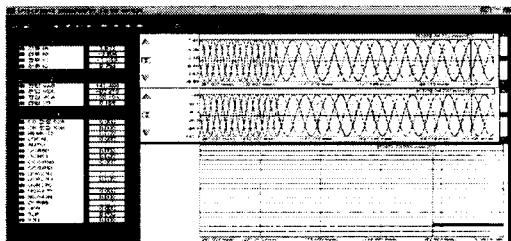


그림 5. 주파수 계전 알고리즘 테스트

표 5. 주파수 계전동작 결과

계전	설정 주파수 [Hz]	계전동작 주파수 [Hz]	계전 오차 [%]
주파수 계전	60.000	59.998	0.003
	59.995	59.994	0.001
	59.990	59.988	0.003
	59.985	59.983	0.003

주파수 계전기의 평가 결과, 최대 오차가 0.003%이내의 성능으로 평가되었다. 이는 한국전력에서 제시하는 주파수 계전기의 허용 오차인 0.005%보다 우수한 성능을 나타내므로 분산전원 보호용 주파수 계전기로 활용 가능할 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 논문에서는 항후 안정적인 전력수급을 위하여 요구되는 분산전원에 대하여 기존 상용전원과의 연계시 고려되어야 하는 연계기준과 보호 계전기의 적용원칙에 대하여 소개하였다. 그리고 다양한 분산전원 보호용 계전 알고리즘 중에서 역전력 계전 알고리즘과 주파수 계전 알고리즘을 디지털 보호계전기(HIMAP)에 탑재하여 성능을 평가하였다. 성능 평가는 역전력 계전 알고리즘의 경우는 전력의 방향 변화를 신속하게 검출하여 실시간의 모니터링이 가능함을 검증하였고, 주파수 계전 알고리즘의 경우는 최대 오차가 $\pm 0.003\%$ 으로 동작함으로써 한국전력의 주파수 계전 요소의 허용 오차 범위인 ± 0.005 를 만족함으로써 분산전원 보호용 계전기로 활용할 수 있음을 검증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 황진수, 김재언, “분산형전원이 도입된 배전계통에 대한 ISLANDING DETCTION METHOD” 2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2000.7.17~20
- [2] Woyte, A.; Belmans, R.; Nijis, J., “Testing the islanding protection function of photovoltaic inverters” Energy Conversion, IEEE Transactions on , Volume: 18 , Issue: 1 , Pages:157 ~ 162, March 2003
- [3] Jang, S.-I.; Kim, K.-H.; “An Islanding Detection Method for Distributed Generations Using Voltage Unbalance and Total Harmonic Distortion of Current” Power Delivery, IEEE Transactions on , Volume: 19 , Issue: 2 , Pages:745 ~ 752, April 2004
- [4] 한국전력, “타사 발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침”, August, 1996
- [5] IEEE Std. 1547, “IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems”, July, 2003
- [6] ANSI/IEEE Std 1001, “IEEE Guide for Interfacing Dispersed Storage and Generation Facilities with Electric Utility Systems”, April, 1989
- [7] 장성일, 김광호, “풍력발전단지 연계 전용선로 보호계전방식의 형상에 대한 연구”, 대한전기학회 전기학회논문지, 52권, 12호, 675~683쪽, May, 2003
- [8] 기초전력연구소, “21세기 디파워 질 전력공급 시스템 개발”, August, 2004
- [9] P.J Moore, AT Johns, “A New Approach to Digital Measurement of Power System Frequency”, IEEE International Conference on Advances in Power-System Control, Operation and Management, November, 1991
- [10] J.Szafran, W.Rebizant, “Power system frequency estimation”, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., vol. 145, NO.5, September, 1998
- [11] P.J. Moore, R.D.Carranza, A.T.Johns, “A new numeric technique for high-speed evaluation of power system frequency”, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., vol. 141, NO.5, September, 1994