연계선로 보호계전기 개발

박경원, 안흥선, 신종한, 박장수
LG산전 전력연구소

Development of Interconnection Protective Relay

K. W. Park, H. S. Ahn, J. H Shin, J. S. Park
LGIS ElectroTechnology R&D Center

Abstract - There have been public attraction and studies about distributed generation systems. But protective relay must be installed between utility system and customer owned distributed generation system has not been developed. So this paper describes the development of a digital protective relay for interconnection. The developed protective relay includes protective elements required by KEPCO at the interconnection point.

1. 서 론

현재의 에너지원은 석유, 석탄과 같은 유한한 화석연료가 주류를 이루고 있어, 잔존량과 에너지 변환 과정에서 대두되는 환경적인 문제로 인하여 대체 에너지 개발과 청정의 효율적인 에너지 사용이 요구되고 있다. 국내의 경우 풍력과 태양력, 연료전지 등의 무한한 자연 대체 에너지에 대한 연구개발이 활발하게 진행되고 있으며, 기존 화석 연료의 효율적인 사용을 위하여 구역형 집단에너지 사업(CES, Community Energy System)과 같은 효율적인 에너지 사용을 국가 정책적으로 지원하고 있다. 이로 인하여 자체 발전기를 보유한 분산형전원의 도입이 증대하고 있으며, 수용가의 입장에서 소규모 분산형전원의 안정적인 운전을 위해 전체계통과의 연계운전의 증대가 예상된다.[2] 하지만 분산형전원이 계통에 연계될 경우 단락용량 증대, 순시전압 저하 등의 현상이 발생할 수 있으며, 기존계통이 가지는 설비간의 상호협조체제의 변화가 발생할 수 있다. 또한 단독운전에 따른 전력품질 저하 등의 문제가 발생할 수 있다.[2][7] 이러한 문제에 대한 대책으로 각국의 전력회사에서는 연계지점에 추가적인 계전기의 설치를 의무화하고 있다.[7][1] 국내의 경우에도 연계선로 보호기준이 마련되어 있고, 분산형전원을 한전계통과 병렬운전하기 위해서는 해당 계전기를 설치해야 한다. 하지만, 디지털계전기의 발전에도 불구하고 국내에서 정한 기준을 만족하는 모든 요소를 구비한 계전기는 개발되지 않고 있으며, 특정 보호요소의 경우 기준을 만족하는 계전기를 찾기가 힘들다.

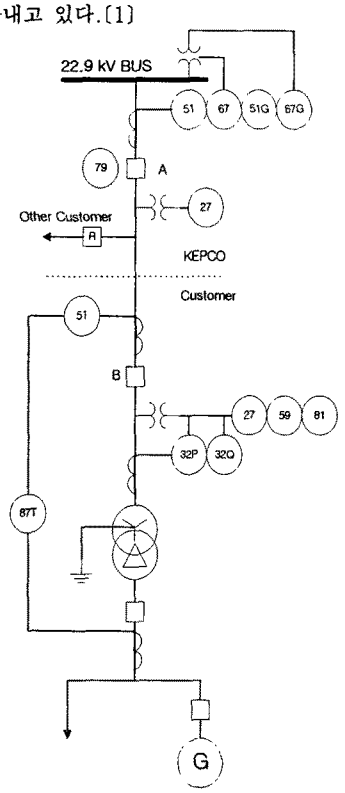
본 논문에서는 분산형전원의 계통연계 시 필수적인 계전요소들에 대해 논하고 이러한 계전요소들로 구성된 연계선로 보호계전기의 개발에 대해 살펴보고자 한다.

2. 본 론

2.1 분산형전원의 계통연계 보호계전방식

전력회사의 입장에서 볼 때 분산형전원의 단독운전으로 설비 유지보수를 진행하는 기술자의 안전문제와 전력회사 측 차단기의 비동기 재폐로의 문제가 일차적으로 제기된다. 또한 분산형전원으로 섹션널라이저의 무전압 Count 오류, 리클로저의 오동작 가능성과 차단용량초과 등의 문제가 제기될 수 있다. 결국 분산형전원의 도입으로 야기될 수 있는 각종 문제점은 크게 전력회사 계통이 분리되었음에도 불구하고 분산형전원은 계통에 남아 부하를 담당하는, 예상치 못한 단독운전이 발생한 경우와 배전계통에 1선지락고장 등 각종 사고에 신속하게 분산형전원을 계통에서 분리하는 문제로 나누어 생각할 수 있다.

이러한 문제의 해법으로 전력회사에서는 병렬운전연계 지침을 제시하고 있다. 한전의 경우 비동기 재폐로(79) 방지를 위한 저전압계전기(27), 단독운전 방지용으로 주파수계전기(81), 역방향 유효전력계전기(32P), 신속한 고장전류의 검출을 위해 유효접지조건을 만족시키도록 접지계통을 설계할 것과, 고감도의 역방향 무효전력계전기(32Q)와 저전압계전기의 설치를 의무화 하고 있다. [그림2.1]은 한전의 가이드라인에서 요구하는 보호요소 나타내고 있다.[1]

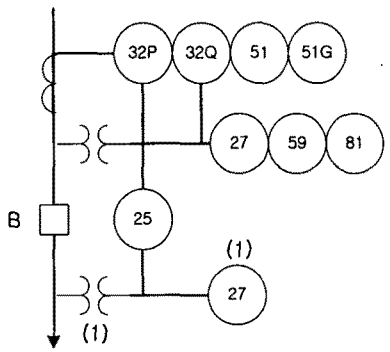


[그림 2.1] 연계선로 표준 보호계전방식(10MVA이하)

한전의 입장에서 볼 때 [그림 2.1]의 보호계전방식은 병렬운전으로 인해 야기될 수 있는 한전 측 문제의 대부

분을 해소 할 수 있다. 하지만 수용가의 입장에서 볼 때 폭설 등으로 인해 배전선로에 사고가 발생하여 한전 측 차단기([그림 2.1]의 A 차단기)가 개방되더라도 수용가 구내의 주요부하에 대해서는 무정전 운전을 희망하고 이것을 위해 연계차단기([그림 2.1]의 B 차단기)를 개방하고 Load Shedding 등을 통하여 계통의 중요부하에 대해 무정전운전하는 즉, 고립운전을 하도록 계통을 설계할 수 있다. 이러한 경우에 한전 차단기가 복귀되면 연계차단기가 비동기 투입될 우려가 있다.

수용가측에 제기될 수 있는 문제까지 해결하기 위해서는 연계차단기가 동기투입 되도록 동기계전기를 설치하거나 연계차단기 하단의 전압을 확인하여 무전압시에만 투입이 가능하도록 하는 방안을 고려해야 한다[그림 2.3].



[그림 2.2] 비동기투입 방지를 고려한 보호계전방식

2.2 디지털 다기능 연계선로 보호계전기 개발

다기능 연계선로 보호계전기는 기본적으로 한전에서 요구하고 있는 보호계전방식을 구현가능 하도록 설계하였으며, [그림 2.2]에서 제시된 수용가측 연계차단기의 비동기 투입 방지를 고려하여 동기검출 계전요소를 포함하고 있다.

2.2.1 신호 추출

식 (2.1), (2.2), (2.3)에서 보여지는 것처럼 recursive DFT를 사용하여 입력신호로부터 전압, 전류의 기본파 실효치와 위상각을 추출 하였다.

$$X_{rk} = X_{rk} + \frac{2}{N}(x_k - x_{k-N})\cos\frac{2\pi k}{N} \qquad (2.1)$$

$$X_{ik} = X_{ik} + \frac{2}{N}(x_k - x_{k-N})\sin\frac{2\pi k}{N} \qquad (2.2)$$

$$\theta_k = atan\frac{X_{ik}}{X_{rk}} \qquad (2.3)$$

여기서 X_{rk}: 실수부, X_{ik}: 허수부, x_k : k번째 입력신호, N : 주기 당 Sampling 수

2.2.2 주파수 계전요소

일반적인 주파수 계전기의 사용목적은 발전기가 과부하 부하 차단을 하는 경우 사용되나 연계선로 보호에 사용되는 주파수 요소는 배전선로의 이상 등으로 한전계통이 분리되었음에도 불구하고 수용가 계통이 배전계통에 계속 연계되어 단독운전을 하고 있는 상황을 검출하는데 사용된다.

전통적인 방법으로는 입력된 전압이 두개의 영점을 통과하는 시간을 측정하여 추정하였다. 이론적으로는 가장 정확한 방법이라 할 수 있으나 실제적으로 계통에 고조파 등이 발생하여 입력전압이 왜곡될 경우 정확한 주파수를 추정할 수 없다. 최근까지도 주파수를 추정할 수 있는 다양한 알고리즘이 개발되고 있으나, 많은 기능을 갖는 다기능 계전기의 성능에 영향을 끼치지 않으면서도 노이즈에 영향이 거의 없는 DFT(Discrete Fourier Transform)를 사용하여 주파수를 추정하였다.

$$v = V\cos(\omega_0 t + \delta(t)) \qquad (2.4)$$

계통 전압은 식 (2.4)와 같이 나타낼 수 있고, 식 (2.5)의 각주파수의 정의를 이용하면 각주파수와 위상각과의 관계를 구할 수 있다.

$$\omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} = \frac{d(\omega_0 t + \delta(t))}{dt} = \omega_0 + \frac{d\delta(t)}{dt} \qquad (2.5)$$

또한 각주파수와 주파수와 관계식은 식 (2.6)과 같고,

$$f \equiv \frac{1}{2\pi}\omega = \frac{1}{2\pi}\omega_0 + \frac{1}{2\pi}\frac{d\delta(t)}{dt} = f_0 + \triangle f \qquad (2.6)$$

이를 구현하기 위하여 수열로 표현하면,

$$\triangle f = \frac{1}{2\pi}\frac{\theta_k - \theta_{k-N}}{T_0} = \frac{1}{2\pi}(\theta_k - \theta_{k-N})f_0 \qquad (2.7)$$

여기서, T_0 : 정격주파수의 주기

따라서 식 (2.7)을 적용하면, 주파수를 검출할 수 있다.

2.2.3 역전력 계전요소

유효 역전력 계전요소는 정상상태에서 수용가측 부하의 급격한 탈락으로 인해 수용가에서 한전측으로 전력을 송출하는 상황을 검출하고(분산형 전원을 소유한 수용가의 입장에서는 주파수 계전기와 같이 사용되는 것이 유리하나, 연계선로 표준지침은 단독사용을 요구하고 있다.), 무효 역전력 계전요소는 고장상태에서 수용가 발전기가 기여하는 고장전력을 차단하는 역할을 수행하고, 진상역률에 오동작을 방지하기 위해 저전압 계전요소와 같이 사용된다.

전력계산은 식(2.7), (2.8)에서 보여지는 것처럼 일반적인 전력계산방식을 취하였으나, 전압과 전류는 DFT를 통해 취득한 기본파 전압, 전류를 사용, 고조파 등으로 인한 노이즈에 영향을 받지 않도록 하였다.

$$P = V_a I_a \cos\theta_a + V_b I_b \cos\theta_b + V_c I_c \cos\theta_c \qquad (2.7)$$

$$Q = V_a I_a \sin\theta_a + V_b I_b \sin\theta_b + V_c I_c \sin\theta_c \qquad (2.8)$$

2.2.3 동기계전요소

분리된 계통이 비동기 투입 될 경우, 스위치기어와 발전기가 손상을 받을 수 있으며, 특히 두 계통의 위상각 차가 큰 상태에서 차단기를 투입하면 큰 과도전류와, 이 전류에 의하여 고정자 및 회전자 권선 모두에 과도한 진동토크를 발생시키게 되므로 발전기에 손상이 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해 동기계전기가 사용된다.

동기요소는 양측의 계통 주파수와 전압 크기, 위상각의 차이를 검출하여 동기지점을 찾아내야 한다. 또한 차단기 투입에 소요되는 시간과 계전기 출력접점의 응동시간을 고려해야 한다. 이를 위해 슬립주파수와 차단기 투입시간을 정정할 수 있도록 구성하였으며, 식 (2.9)으로 투입신호를 인가해야할 위상각을 계산, 정확한 동기지점에서 차단기가 투입 될 수 있도록 하였다.

$$\delta = 360(t_{CB} + t_{RY})s \qquad (2.9)$$

여기서, δ : 위상각, t_{CB} : 차단기 투입시 소요되는 시간, t_{RY} : 계전기 접점 응동시간, s : slip 주파수

2.2.5 출력 로직

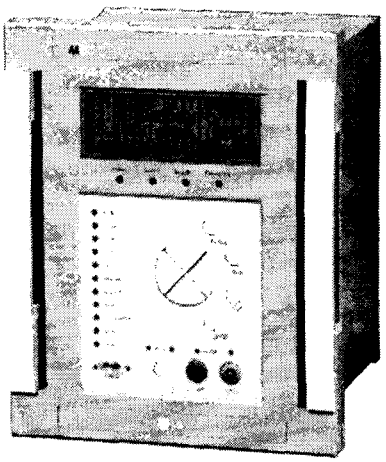
일반적인 보호계전기의 입출력 접점들은 각각 그 사용용도가 정해져 있어서 적용 현장에 적합한 트립로직이나 운전 시퀀스를 구성하기 위해서는 외부에 별도 시퀀스를 구성하여야만 하였다. 하지만 제한된 접점 개수와 정해진 기능으로 다양한 운전조건에 맞도록 설계하는 데 일정정도의 한계가 있고, 추가적인 비용이 요구되었다.

연계선로 계전기에는 현장에 적합한 트립 로직이나 운전 시퀀스를 사용자가 직접 설계하여 쉽게 수정, 운용할 수 있도록 하였다. (이를 위해 실무 운용 기술자들에게 익숙한 PLC(Programmable Logic Controller)의 전통적인 프로그래밍 방식과 같은 개념의 로직 구성 방식을 채택하였다.) 사용자는 일반 PC나 노트북 컴퓨터에서 프로그래머블 로직 편집기를 이용하여 적합한 로직을 설계한 후, 계전기와 비접촉 적외선 직렬 통신으로 쉽게 다운로드 할 수 있으며, 계전기로 다운로드 된 로직은 비휘발성 메모리에 저장, 계전기의 전원의 유무에 관계없이 프로그래밍 된 그대로 운전 된다. 또한 로직은 보호계전기의 동작에 매우 중요한 기능을 수행하므로, 편집기에서 사용자가 작성한 프로그램을 직접 모의할 수 있는 기능과 보호계전기와 연결하여 실시간으로 monitoring할 수 있는 기능 등을 지원, 다 방면으로 로직을 검증할 수 있도록 하였다.

2.2.6 부가요소

개발한 연계선로 보호계전기는 계전기 자체의 고장으로 인한 오동작을 미연에 방지하고, 상시감시 및 자동점검기능의 수행으로 유지보수에 필요한 인력과 비용을 절감할 수 있으며, 보호 신뢰도를 향상시키기 위한 추가적인 기능(사고 기록 기능, Event 기록 기능, 자기진단, 자동 점검 등의 기능)을 구현하고 있다.

사고 기록 기능으로는 사고시의 각상 전압, 전류, 영상분 등을 최대 200회까지 기록하는 한편, 최대 64 cycle 까지 사고 파형을 기록할 수 있도록 하였다. 사고 파형은 한 주기당 48 sample로 구성된다. 또한, 계전요소 동작, 접점들의 변화, 정정 값 변경, 제어 등의 Event들에 대해서 최대 800개 까지 1ms간격으로 기록할 수 있도록 하였다. 이를 통상 SOE(Sequence of Events)라 칭하는 데, 사고 기록과 SOE를 분석함으로써 사고 해석이나 운전 이력 열람 등을 쉽고 빠르게 수행할 수 있다. 자기 진단 기능과 자동 점검 기능은 디지털 보호계전기의 장점 중에 하나로써 자기 진단 기능은 자기 자신을 스스로 점검하여 이상 유무를 판단하고 그 결과를 사용자에게 알리는 기능이다. 이를 통해, 계통의 이상 발생시 계전기의 오부동작이나 건전시 오동작을 저지할 수 있다. 또한 내부 이상 검출시 전체의 보호계전기능을 멈추고 로직 기능도 멈추도록 하여 의도하지 않은 동작을 수행하지 않도록 구현하였다. 자동 점검 기능으로는 트립 회로의 개방 검출, 트립 접점의 이상 검출, 전압 변성기의 2차측 퓨즈 융단 검출(PT Fuse Failure), 차단기의 동작 이상 검출(CB Failure)등이 있으며 이 또한 계전기의 불필요한 오동작 등을 저지시킬 수 있으며 사고가 파급되지 않도록 예방할 수 있다.



[그림 2.3] 연계선로 보호계전기

3. 결 론

본 논문에서 분산형전원의 병렬운전에 따라 발생할 수 있는 문제점과 해결을 위한 보호계전방식 그리고 필수적인 보호계전요소을 갖춘 보호계전기의 개발에 대해 소개하였다. [그림 2.3]은 개발한 연계선로 보호계전기를 나타내고 있다.

앞으로 더욱 확대되고 있는 계통연계의 안정적인 운용을 위해, 최적의 보호계전방식 개발, 단독운전을 검출할 수 있는 신뢰성 있는 검출 알고리즘의 개발 등이 요구된다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국전력공사 계통운영처, "타사 발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침", 1996

[2] 김재철, 최준호, 김응상, 김재언, "열병합발전시스템의 배전계통 도입전망 및 운용대책", 전기학회지, Vol. 48, No. 3, pp 16-23, 1999

[3] Murty V.V.S. Yalla, "A Digital Multifunction Protection Relay", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 7 No. 1, pp193-201, 1992

[4] A.G.Phadke, J.S. Throp, "A New Measurement Technique for Tracking Voltage Phasors, Local System Frequency, And rate of Change of Frequency", IEEE Trans. PAS-102, No. 5, pp1025-1038, 1983

[5] Miroslav M. Begovic, Petar M. Djuric, Sean Dunlap, Arun G. Phadke "Frequency Tracking in Power Networks in the Presence of Harmonics", IEEE Trans. on Power Delevery, Vol 8, No. 2, pp480-486, 1993

[6] T.S. Sidhu, M.S. Sachdev, "An Iterative DSP Technique for Tracking Power System Frequency and Voltage Phasors", IEEE, CCECE'96, pp115 - 118, 1996

[7] IEEE Guide for Interfacing Dispersed Storage and Generation Facilities with Electric Utility Systems, ANSI/IEEE Std 1001-1998