

신재생에너지원이 연계된 22.9[kV] 배전계통의 양방향 리클로저와 섹셔널라이저 보호협조 방안

이연화, 최준호
전남대학교

A study of the directional recloser and sectionalizer protective coordination at 22.9[kV] distribution system with new renewable energy generation

Lee Yeon-Hwa, Choi Joon-Ho
Chonnam national University

Abstract - Recently, there has been growing interest in utilizing distributed generation (DG). However, an insertion of DG to existing distribution system can cause several problems such as voltage variations, harmonics, protective coordination, increasing fault current etc.. The typical protection system of the existing distribution system is designed for radial network. But penetration of DG to distribution system changes existing unidirectional power flow to bidirectional power flow. Therefore, investigation to cover whole field of distribution system must be accomplished such as changing of protection devices rating by increasing fault current, reevaluation of protective coordination.

This paper presents that PSCAD/EMTDC simulations was accomplished to analyze effect of DG on the distribution protective coordination. In addition, directional recloser-sectionalizer coordination are evaluates distribution system with DG by using PSCAD/EMTDC simulation.

1. 서 론

기후변화협약의 규제 대응 등 국내의 환경변화에 따라 신재생에너지원의 중요성이 대두되고 있다. 그러나 신재생에너지원이 배전계통에 연계될 경우, 역조류로 인해 전압변동, 고조파, 보호협조, 고장전류 증가 등의 문제를 일으키므로 이에 대한 적절한 보호협조 방안에 대한 재검토가 필요하다. 또한 신재생에너지원이 배전계통에 연계됨에 따라 역방향 고장전류가 일어나게 되는데, 이 때문에 보호 장치의 오동작이 일어나게 된다. 따라서 방향성 리클로저가 필요하다[5].

본 논문에서는 신재생에너지원이 배전계통에 연결되어 있을 경우 양방향 리클로저와 섹셔널라이저의 간단하고 효율적인 보호협조 방안에 대해 살펴보았다.

2. 본 론

2.1 리클로저와 섹셔널라이저의 설정방법

2.1.1 리클로저와 섹셔널라이저의 최소동작전류와 최대고장전류

리클로저와 섹셔널라이저의 최소동작전류와 최대고장전류의 선택을 위해서 오프라인 사고해석과 조류계산을 수행하여야 한다. 리클로저의 최소동작전류는 부하에 따라 다르게 설정된다. 전등부하의 경우 설치점 최대부하전류의 2.8배, 동력부하는 4.0배로 설정해 준다. 섹셔널라이저의 최소동작전류는 후비 리클로저의 최소동작전류의 0.8배로 설정해준다. 최대고장전류는 3상단락사고와 1선지락사고를 통해 큰 값을 최대고장전류로 산정한다.

2.1.2 T.C.C(Time-Current Character) 곡선 협조

전자식 리클로저에는 다양한 순시동작과 지연동작 곡선이 존재한다. 리클로저와 리클로저 보호협조시 최적의 T.C.C곡선은 최대고장전류와 조류계산을 통해서 선택한다. 최대고장전류는 고장저항을 0[Ω]으로 설정하여 계산을 수행한다. 리클로저와 리클로저 보호협조를 위해서 T.C.C 곡선은 다음 아래의 식을 만족하는 곡선을 선택하여야 한다[3].

$$\text{전위 차단의 } C.T * 1.1 < \text{후비 차단의 } R.T * 0.9 \quad (1)$$

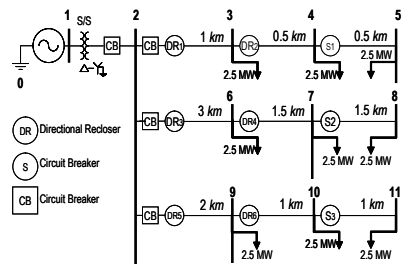
여기에서, C.T : 고장제거시간, R.T : 응답시간

사례 1 : 전형적인 배전계통

신재생에너지원이 연계되지 않은 배전계통의 모델은 <그림 1>과 같고, 이에 쓰인 입력 파라미터(Parameter) 값들은 다음과 같다.

리클로저와 섹셔널라이저의 최대고장전류와 최소동작전류 값을 <표 2>에 나타내었다. 리클로저는 순시동작과 지연동작이 있는데, 지연동작은 순시동작에서 제거되지 않은 순간고장을 제거하며, 리클로저의 정격과 고장전류의 크기, 최소동작전류에 따라서 다르게 동작한다. 고장전류의 [%]PU값에 따라 재폐로 시간이 결정되기 때문에 [%]PU값을 구한

결과는 <표 3>과 같다.



<그림 1> 전형적인 배전계통 모델 단선도

<표 1> 배전계통 모델 입력 파라미터

전원측	영상분 임피던스[%]	0.257+j1.336
	정상,역상분 임피던스[%]	0.072+j0.757
	정격전압[kV]	154
배전용변전소 주변압기	정격용량[MVA]	45/60
	임피던스[%]	j11
배전선로 (ASCR1600mm ²)	영상분 임피던스[%/km]	11.99+j29.26
	정상,역상분 임피던스[%/km]	3.47+j7.46

<표 2> 리클로저와 섹셔널라이저 설정값

	DR ₁	DR ₂	DR ₃	DR ₄	DR ₅
I _{ma}	510.85[A]	340.72[A]	514.38[A]	342.97[A]	512.62[A]
I _{fm}	13.38[kA]	9.41[kA]	13.38[kA]	5.89[kA]	13.38[kA]
	DR ₆	SE ₁	SE ₂	SE ₃	
I _{ma}	341.53[A]	272.576[A]	274.37[A]	273.22[A]	
I _{fm}	7.26[kA]	8.2[kA]	4.58[kA]	5.89[kA]	

<표 3> 리클로저의 정정 및 동작시간

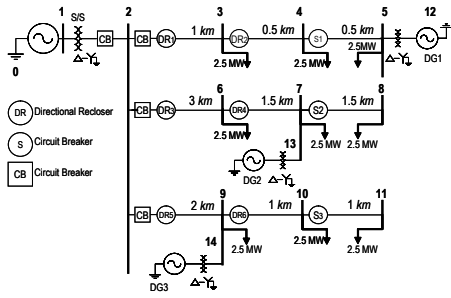
설치점	최소동작전류	% PU	순시동작	지연동작	동작특성	기기종류
최대고장전류						
1.338[A]	560[A]	239	4.194	24.85	2D2F	IJB-VE
941[A]	340[A]	277	4.599	27.26	2D2F	IJB-VE

고장전류의 [%]PU값에 따라 재폐로 시간이 결정되며, [%]PU를 구하는 식은 다음의 식(2)과 같다.

$$\%PU = \frac{\text{고장전류}}{\text{최소동작전류}} \times 100 \quad (2)$$

사례 2 : 신재생에너지원이 연계된 배전계통

신재생에너지원이 연계된 배전계통의 모델은 <그림 2>와 같다. 그림 2에서 쓰인 신재생에너지원은 동기기를 사용하였으며, 용량은 2.5[MVA], 정격전압 480[V], X_a는 0.2[P.U.], 변압기 용량은 2.5[MVA], 전압비는 480[V]/22.9[kV], 변압기 임피던스는 j2를 사용하였다. 나머지 파라미터들은 <표 1>과 같다. 리클로저와 섹셔널라이저의 최대고장전류와 최소동작전류 값을 <표 5>에 나타내었다. 리클로저의 정정을 위해서 [%]PU값과 고장전류의 크기, 최소동작전류 등을 다음 <표 6>에 나타내었다. 사례 2에서 6번 모선에서 사고가 났을 경우 동작해야하는 보호기기는 DR₄이다. 신재생에너지원으로 인한 역방향 사고전류 때문에 DR₂가 감지하는 전류값은 2[kA]이다. 역방향 사고전류 때문에 DR₂가 오동작 할 우려가 존재하기 때문에 방향성 리클로저의 도입이 필요하다. 본 논문에서 사용되는 리클로저는 모두 방향성 리클로저를 사용하였기 때문에 역방향 사고전류에 의한 오동작에 관해서는 모두 무시하였다.



〈그림 2〉 신재생에너지원이 연계된 배전계통 모델 단선도

〈표 5〉 리클로저와 섹셔널라이저 설정값

	DR ₁	DR ₂	DR ₃	DR ₄	DR ₅
I _{ma}	510.85[A]	340.72[A]	514.38[A]	342.97[A]	512.62[A]
I _{fm}	14[kA]	9.88[kA]	14[kA]	6.21[kA]	14[kA]
	DR ₆	SE ₁	SE ₂	SE ₃	
I _{ma}	341.53[A]	272.576[A]	274.37[A]	273.22[A]	
I _{fm}	7.63[kA]	8.61[kA]	4.87[kA]	6.14[kA]	

〈표 6〉 리클로저의 정정 및 동작시간

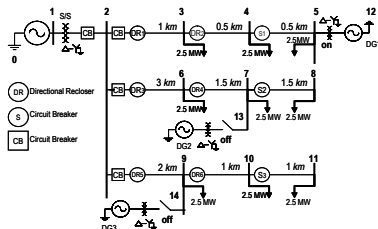
설치점	최소동작전류	% PU	순시동작	지연동작	동작특성	기기종류
1,400[A]	560[A]	250	4.145	24.38	2D2F	IJB-VE
988[A]	340[A]	291	4.544	26.92	2D2F	IJB-VE

2.3 제안된 보호협조 방안

신재생에너지원이 연계된 배전계통에서는 역방향 사고전류가 발생하게 되고, 이로 인해 보호기기의 동작이 발생할 수 있다. 그러나 방향성 계전기를 사용하게 되면, 역방향 사고전류에 대한 불필요한 trip 동작을 하지 않을 수 있다. 따라서 본 논문에서 사용되는 보호기기인 리클로저와 섹셔널라이저는 모두 방향성이 있다고 가정하였다. 그러나 배전계통의 시스템 구성이 달라지면, 부하전류가 바뀌게 되고 보호기기의 최소동작전류 또한 바뀌게 된다. 또한 최대고장전류도 바뀌게 되고 T.C.C곡선에 의한 보호협조 시간 선택도 재설정 해주어야 한다. 그러므로 온라인 사고해석과 조류계산을 통해 최대고장전류와 최소동작전류를 다시 계산해야 한다. 따라서 신재생에너지원의 연계 여부와 시스템 구성여부의 실시간 감시가 필요하다. 신재생에너지원이 연계된 배전계통에서 보호협조 알고리즘을 제안하기 전에 전제조건은 다음과 같다. (1) 보호기기(리클로저, 섹셔널라이저)는 모두 방향성을 가지고 있다. (2) SCADA 시스템과 DAS 시스템을 통해서 배전계통의 on/off 상태를 파악할 수 있다. (3) SCADA 시스템과 DAS 시스템을 통해서 신재생에너지원의 on/off 상태를 파악할 수 있다. 제안한 보호협조 방안을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 신재생에너지원 on/off 상태, 배전계통의 시스템 구성상태, 계전기 상태 등의 계통에 관한 데이터를 수집한다.
- (2) (1)에서 바뀐 것이 있는가? 바뀐 것이 있다면 (3)단계에서 이어지고, 바뀐 것이 없다면 (5)단계로 건너간다.
- (3) 고장해석과 조류해석을 실시한다.
- (4) 단계 (3)의 결과를 가지고 보호기기들의 설정값을 재설정해주어야 한다.
- (5) 사고가 발생하였다면 단계 (6)으로 이어지고, 없다면 단계 (1)로 간다.
- (6) 신재생에너지원에 trip신호를 보내서 사고지점으로부터 분리시킨 후 사고제거 후, 신재생에너지원에 연결 신호를 보내서 연결한다.
- (7) 정상적으로 계통인 운전되면, 단계 (1)로 출발하여 대기한다.

사례 3 : 한 개의 신재생에너지원이 연계된 배전계통



〈그림 4〉 한 개의 신재생에너지원이 연계된 배전계통 모델 단선도

〈그림 4〉은 한개의 신재생에너지원이 연계된 배전계통의 단선도를 나타낸 것이다. 리클로저와 섹셔널라이저의 최대고장전류와 최소동작전류 값을 <표 7>에, 리클로저의 정정을 위해서 [%]PU값과 고장전류의 크기, 최소동작전류 등을 다음 <표 8>에 나타내었다. 고장전류를 이용

하여 리클로저와 섹셔널라이저의 최적의 T.C.C.곡선을 찾는다. 방정식 (1)을 만족하면 보호협조는 완성된다.

〈표 7〉 리클로저와 섹셔널라이저 설정값

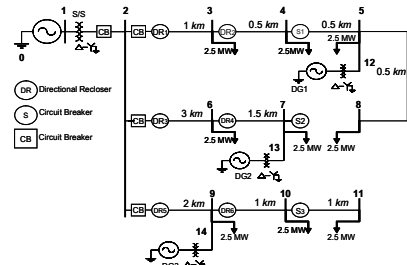
	DR ₁	DR ₂	DR ₃	DR ₄	DR ₅
I _{ma}	510.85[A]	340.72[A]	514.38[A]	342.97[A]	512.62[A]
I _{fm}	13.44[kA]	9.65[kA]	13.44[kA]	5.94[kA]	13.44[kA]
	DR ₆	SE ₁	SE ₂	SE ₃	
I _{ma}	341.53[A]	272.576[A]	274.37[A]	273.22[A]	
I _{fm}	7.33[kA]	8.43[kA]	4.62[kA]	5.94[kA]	

〈표 8〉 리클로저의 정정 및 동작시간

설치점	최소동작전류	% PU	순시동작	지연동작	동작특성	기기종류
1,344[A]	560[A]	240	4.17	24.55	2D2F	IJB-VE
965[A]	340[A]	284	4.972	27.08	2D2F	IJB-VE

사례 4 : 시스템구성이 바뀐 신재생에너지원이 연계된 배전계통

일반적인 배전계통에서 SE₂가 trip이 되었을때 정전구간을 최소화하기 위해서 5번 모선과 8번 모선을 연결하면 시스템 구성이 <그림 5>와 같이 바뀌게 된다. <그림 5>와 같이 바뀌게 되면 8번 모선은 정전을 피할 수 있다. 리클로저와 섹셔널라이저의 최대고장전류와 최소동작전류 값을 <표 9>에 나타내었다. 리클로저의 정정을 위해서 [%]PU값과 고장전류의 크기, 최소동작전류 등을 다음 <표 10>에 나타내었다. 고장전류를 이용하여 리클로저와 섹셔널라이저의 최적의 T.C.C.곡선을 찾는다. 방정식 (1)을 만족하면 보호협조는 완성된다.



〈그림 5〉 시스템구성이 바뀐 신재생에너지원이 연계된 배전계통 모델 단선도

〈표 9〉 리클로저와 섹셔널라이저 설정값

	DR ₁	DR ₂	DR ₃	DR ₄	DR ₅
I _{ma}	682.48[A]	512.18[A]	314.45[A]	170.65[A]	512.62[A]
I _{fm}	13.44[kA]	9.65[kA]	13.44[kA]	5.94[kA]	13.44[kA]
	DR ₆	SE ₁	SE ₂	SE ₃	
I _{ma}	341.68[A]	409.744[A]	136.52[A]	273.344[A]	
I _{fm}	7.33[kA]	8.43[kA]	4.62[kA]	5.94[kA]	

〈표 10〉 리클로저의 정정 및 동작시간

설치점	최소동작전류	% PU	순시동작	지연동작	동작특성	기기종류
1,344[A]	560[A]	240	4.17	24.55	2D2F	IJB-VE
965[A]	340[A]	284	4.972	27.08	2D2F	IJB-VE
594[A]	200[A]	186	5.22	30.76	2D2F	IJB-VE

3. 결 론

본 논문에서 신재생에너지원이 배전계통에 연계되어 있을 때 온라인 보호협조 방법에 대해 제안하였다. 방향성 리클로저와 섹셔널라이저의 도입으로 인해 역방향 사고전류에 의한 불필요한 trip 동작을 없앨 수 있었다. 제안된 알고리즘은 신재생에너지원이 연계되어 있고, 자동화 시설이 완비된 배전계통에서 보다 능률적이고 효율적으로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Cooper Power System, Electrical Distribution System Protection - Third Edition, 1990
- [2] 배전보호기술서, 한국전력공사 배전처, 1995
- [3] SEL-651 Recloser Control Instruction Manual, SCFWETIZER ENGINEERING LABORAIES INC.
- [4] Joon-Ho Choi, "The Inter-tie Protection Schemes of the Utility Interactive Dispersed Generation Units for Distribution Automatic Reclosing" KIEE international Transactions on PE, Vol, 2-A, No.4, pp 166-173, 2002