

Carrier 신호를 이용한 배전계통의 새로운 재폐로 방식

논문
58-11-6

A Novel Reclosing Scheme in Distribution System using Carrier Signal

고 윤 태[†] · 서 훈 철^{*} · 이 상 봉^{**} · 김 철 환^{***} · 김 재 철[§] · 현 옥 배^{§§}

(Yun-Tae Ko · Hun-Chul Seo · Sang-Bong Rhee · Chul-Hwan Kim · Jae-Chul Kim · Ok-Bae Hyun)

Abstract - This paper proposes the new reclosing scheme considering the recovery time of SFCL in distribution systems which is based on variable dead time control. The main idea is that it uses the carrier signal to distinguish whether the fault is instantaneous or permanent after tripping the line by recloser. The system and SFCL is modeled by using Electromagnetic Transient Program(EMTP) and the validity of the reclosing scheme presented in this paper is analyzed according to the fault resistance, the recovery time of SFCL and the fault clearing time.

Key Words : Superconducting fault current limiter, Recloser, EMTP

1. 서 론

배전계통 보호기기중 하나인 재폐로 차단기(recloser)는 일시고장의 경우 계통을 복구하기 위한 목적으로 사용되며, 배전계통의 경우 대부분의 고장이 일시고장이므로 재폐로 동작을 통하여 전력 품질 및 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

현재, 우리나라 배전계통에 사용되고 있는 재폐로 차단기의 운용 규칙은 고정된 무전압 시간으로 인해 일시 고장과 같이 고장이 빠르게 제거된 경우에도 정해진 재폐로 시간 후에 재투입 하도록 정해져 있다. 그러나 재폐로 차단기의 개로 동작에 따른 무전압 시간 동안 고장이 제거된 경우에는 고장 제거를 확인하여 시간 지연 없이 빠른 폐로 동작이 계통의 안정도 및 신뢰성향상에 효율적인 방안이 될 수 있다. 이러한 재폐로 차단기의 무전압 시간 단축에 관한 연구는 주로 송전계통에서 진행되었으며, 고장 전압의 실효치 값을 사용하여 2차 아크 소호시간을 판별하는 방법 [1], 고장 전압의 Total Harmonic Distortion(THD)를 이용하여 2차 아크 소호시간을 판별하는 방법 [2] 등 고장 판별을 위한 연구가 진행 되어 졌으나, 배전계통에서는 고장제거 여부 판단에 대한 연구가 미미한 실정이다.

전력계통의 대규모화 및 복잡화로 고장전류 또한 크게 증가하여 보호기기들이 큰 고장전류를 견디지 못하고 차단에

실패하는 경우도 발생하게 된다 [3]. 이에 대한 대책으로 최근 초전도 한류기(SFCL : Superconducting Fault Current Limiter)의 적용에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 초전도 한류기의 계통 투입을 위해서는 다른 보호기기와의 보호협조를 고려해야 한다. 재폐로 차단기와 보호협조 측면에서는 pick-up 전류 설정에 따른 오동작의 문제, 초전도 한류기의 회복시간이 재폐로 차단기의 재폐로 시간과 상충되는 문제가 발생할 수 있다. 여기서 pick-up 전류 설정 문제는 제품 제조 시의 설정을 통하여 해결 가능하지만, 초전도 한류기의 회복시간과 재폐로 차단기의 재폐로 시간의 상충 문제에 대해서는 개선방안이 필요하다 [4].

따라서, 본 논문에서는 초전도 한류기를 고려한 재폐로 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 고장 제거 여부를 판단하기 위하여 임의의 carrier 신호를 주입하여 [5] 고장이 제거 될 경우, 재폐로 시간은 초전도 한류기의 회복시간을 고려하여 결정된다. 제안된 기법의 타당성을 증명하기 위하여, 초전도 한류기와 재폐로 차단기 및 배전계통을 EMTP(Electromagnetic Transient Program) ATPDraw를 이용하여 모델링 한 후 초전도 한류기의 회복시간, 고장 저항 및 고장 제거 시간을 변화시키면서 모의하였다. 시뮬레이션 결과, 초전도 한류기의 회복시간과 재폐로 시간의 상충 없이 성공적으로 재폐로가 수행됨을 확인하였다.

2. 재폐로 차단기와 초전도 한류기

2.1 재폐로 차단기

배전계통에서 사용되는 재폐로 차단기는 계통의 신뢰도 및 안정도 확보와 지속적인 전력의 공급을 유지하기 위한 목적으로 사용되는 보호기기이다. 이러한 재폐로 차단기는 22.9kV 배전선로에서 발생하는 바람에 의한 전선의 흔들림 또는 수목접촉과 같은 일시고장을 판단하여 계통을 차단시키

† 교신저자, 준회원 : 성균관대 전자전기공학과 석사과정
E-mail : hmm100@nate.com

* 정 회 원 : 성균관대 대학원 전자전기공학과 박사과정

** 정 회 원 : 성균관대 정보통신공학부 전력IT센터
선임연구원 공박

*** 펠로우회원 : 성균관대 정보통신공학부 교수 · 공박

§ 펠로우회원 : 숭실대 공대 전기공학부 교수 · 공박

§§ 정 회 원 : 한전 전력연구원 수석연구원 · 공박

접수일자 : 2009년 7월 20일

최종완료 : 2009년 9월 28일

는데 효과적인 기기이다.

현재 배전계통에서 사용되고 있는 재폐로 방식은 그림 1과 같이 첫 번째 차단 후 0.5s, 두 번째 차단 후 15s의 무전압 시간을 가지고 있다. 이러한 재폐로 차단기는 무전압 시간이 경과하고 재폐로 되었을 때의 전류를 바탕으로 고장의 제거 여부를 판단하므로 무전압 시간 동안 고장이 제거 되었을 경우, 잔여 무전압 시간을 기다려야 하는 단점을 가지고 있다 [6].

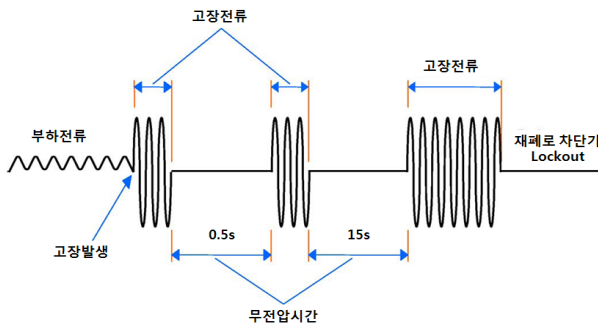


그림 1 고장전류에 따른 재폐로 차단기 동작 순서
Fig. 1 The operation sequence of recloser by the fault current

2.2 초전도 한류기

초전도 한류기는 상전도체로의 전이 시 발생하는 임피던스의 종류에 의해 저항형과 유도형으로 구분할 수 있지만, 본 논문에서는 저항형 초전도 한류기를 모델링하고 모의하였다. 초전도 한류기의 동작을 결정하는 중요한 특성은 켄칭, 회복, 한류기 동작전류, 그리고 한류기 임피던스에 관한 특성이다. 그림 2는 초전도 한류기의 동작특성을 나타낸다 [7].

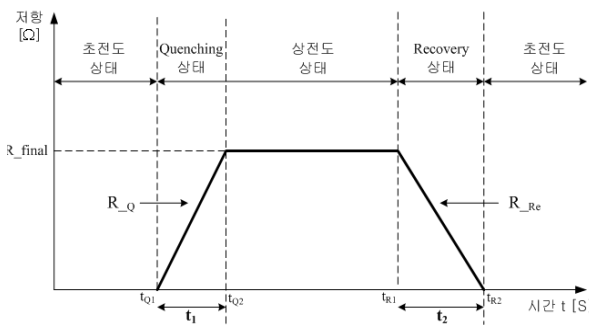


그림 2 초전도 한류기의 특성
Fig. 2 A characteristics of SFCL

a. 켄칭 특성

초전도 한류기는 계통의 사고 발생 시 사고전류의 증가로 인한 초전도체의 온도 상승으로 저항값을 갖게 되어 상전도체로의 전이를 시작한다. 초전도체가 상전도체화 되는 특성을 켄칭특성이라 한다. 켄칭 시작부터 완료시까지의 시간 t_1 은 켄칭 저항의 기울기에 의해 결정 되는데 이는 초전도체의 재료, 냉각 방식, 사이즈, 용량 등에 의해 결정된다 [8].

b. 회복 특성

계통 고장 시 상전도체가 되어 고장 전류를 제한하고 있던 초전도 한류기는 사고가 제거 된 후 선로에 흐르는 전류 감소를 검출하여 자동적으로 다시 초전도체로 특성이 복귀해야 하는데 이 상태를 회복 특성이라고 한다. 회복 특성을 결정하는 중요 요소는 냉각 특성이며 일반적으로 켄칭시간 보다 상당히 길다고 알려져 있다.

초전도 한류기의 배전 계통 적용에 있어서 회복 특성의 영향 분석이 중요하며 이는 기존 보호기기인 재폐로 차단기 등의 동작특성까지 고려해야 하기 때문이다. 즉, 회복시간이 재폐로시간 보다 늦어질 경우 초전도체로 완전히 전이하지 못해 초전도 한류기가 임피던스를 갖고 있는 경우 정상 전류까지 제한하게 된다. 초전도체의 회복시간을 단축하고자 하는 연구는 여러 가지 방안으로 진행되고 있으며 가장 최근의 연구에서는 초전도체의 단계별 냉각방식이 주로 사용되고 있다. 단계별 냉각방식을 갖는 초전도체의 경우에는 회복특성 곡선 역시 단계별로 다른 양상을 갖게 된다. 그림 2는 단계별 냉각 방식을 갖는 초전도체의 회복특성 곡형이다 [9,10].

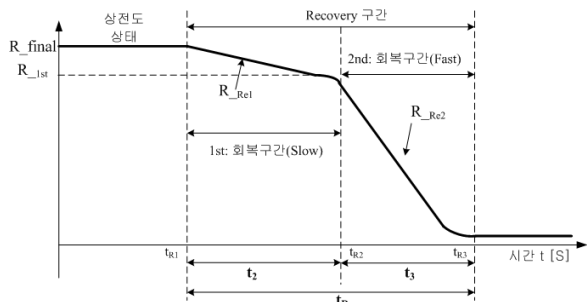


그림 3 초전도 한류기의 회복 특성
Fig. 3 A recovery characteristic of SFCL

3. 초전도 한류기를 고려한 재폐로 동작 방안

3.1 영구, 일시 고장 판별

본 논문에서 제시한 방법은 우선, 무전압 시간동안의 고장 제거 여부를 판단한다. 이를 위해 재폐로 차단기 1차 차단과 동시에 임의의 carrier 신호 주입을 통하여 고장제거 여부를 판단한다. 다음 그림 4는 carrier 신호를 적용한 계통의 구성도이다.

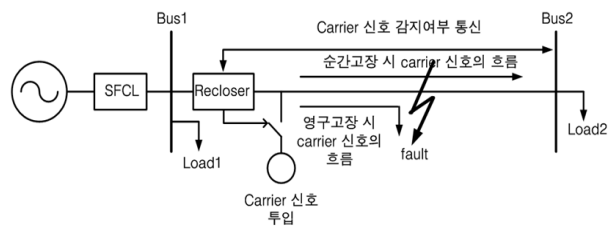


그림 4 Carrier 신호를 적용한 계통 모델
Fig. 4 The system model to apply the carrier signal

그림 4와 같이 구성된 계통에서 재폐로 차단기에 의한 선로의 차단 시 carrier 신호가 투입된다. carrier 신호는 영구 고장의 경우 고장지점으로 흐르게 되어 BUS 2에서 감지되지 않지만, 일시 고장의 경우 고장이 제거되는 순간 전류를 통하여 전송되어 BUS 2에서 carrier 신호가 감지된다. BUS 2에서 carrier 신호가 감지되면 고장이 제거 되었다고 판단하고 통신을 통하여 carrier 신호를 중지하고 초전도 한류기의 잔여 회복시간을 고려한 후 재폐로 하게 된다.

영구 고장일 경우에는 carrier 신호로 고장을 판별하므로 다시 재투입 하지 않는다. 그림 5의 전류파형은 0.2s에 고장이 제거 되는 경우 carrier 신호를 이용하여 고장이 제거됨을 판별하고 재폐로 차단기가 재폐로 동작을 한 그래프이며, 그림 6은 영구 고장일 경우의 그래프이다.

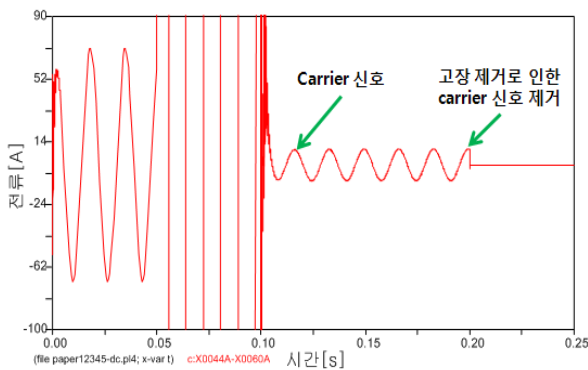


그림 5 일시 고장일 경우 전류 그래프
Fig. 5 A current waveform of temporary fault

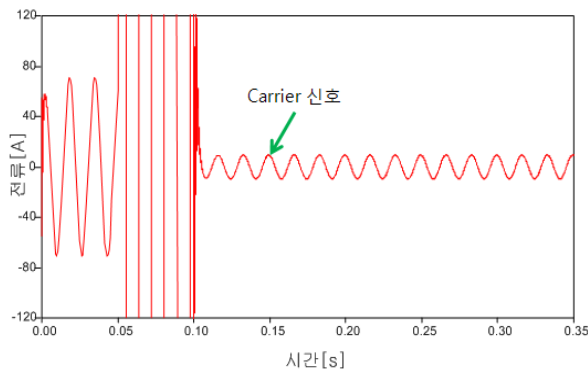


그림 6 영구 고장일 경우 전류 그래프
Fig. 6 A current waveform of permanent fault

3.2 초전도 한류기를 고려한 재폐로 동작

고장 제거 시, 초전도 한류기의 잔여 회복시간이 완료되기 전에 재폐로 차단기가 재투입 할 경우 초전도 한류기의 잔여 저항성분은 정상전류를 감소시켜 오히려 계통에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 이러한 악영향을 막기 위해 carrier 신호를 통해 고장이 제거되었음을 판단한 재폐로 차단기는 고장 제거 시점에서 초전도 한류기 잔여 회복시간을 계산하여 동작한다.

그림 7은 본 논문에서 제시한 재폐로 동작 기법의 전체적인 세부 구성도이다. 초전도 한류기 두 개가 병렬로 연결되어 있으며, 이것은 operation에 따라서 스위칭 동작을 통하여 초전도 상태를 유지하고 있는 초전도 한류기를 투입해 줌으로써 재폐로 차단기가 초전도 한류기의 잔여 회복시간을 고려하지 않고 고장이 제거 되는 즉시 재폐로 할 수 있도록 해주기 위함이다.

Recloser & sw controller는 carrier 신호를 투입해주며 BUS2에서 고장 제거 신호를 받으면 초전도 한류기의 잔여 회복시간을 계산하고 Operation을 선택하여 초전도 한류기의 스위칭 동작 [11], 재폐로 차단기의 재폐로 시간, carrier 신호 정지 제어를 한다.

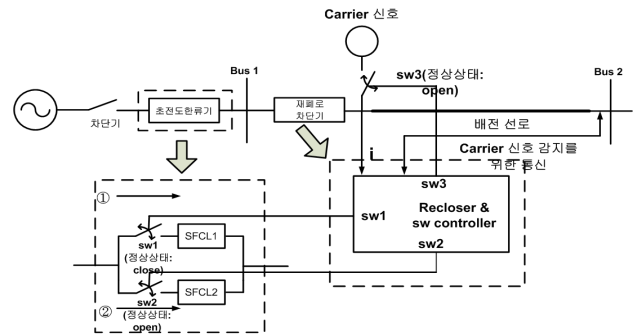


그림 7 제안한 방안을 구현하기 위한 계통 모델
Fig. 7 The system model to implement the scheme suggested in this paper

다음의 그림 8은 이러한 세부 구성이 충족된 경우 본 논문에서 제시한 재폐로 차단기 동작 기법의 전체적인 흐름도이다. 고장 제거 시간과 초전도 한류기의 회복시간을 고려하여 조건에 따라 3가지의 operation으로 동작한다.

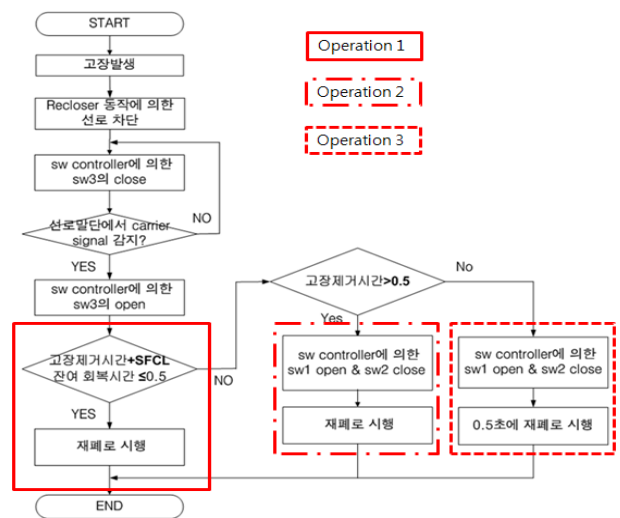


그림 8 재폐로 기법의 동작 흐름도
Fig. 8 The operation flow chart of the reclosing scheme

a. Operation 1

본 논문에서 제시한 재폐로 동작에서는 고장 제거 시간(재폐로 차단기 차단 후)과 초전도 한류기 잔여 회복시간의 합이 0.5s 이하인 경우 Operation 1으로 인식을 하며, 이 경우 재폐로 차단기는 초전도 한류기의 잔여 회복시간 이후 재투입 하게 되는데 이것은 건전상과 고장상의 용량성 결합에 의하여 발생하는 2차 아크의 크기가 배전계통에서는 아주 작은 값이긴 하지만 존재하므로 재폐로 차단기의 operation 1 동작을 통해 2차 아크의 충분한 소호시간을 주고, 초전도 한류기의 잔여회복시간을 기다림으로써 재폐로 차단기 차단시간과의 상충되는 문제를 해결할 수 있다.

b. Operation 2

Operation 2는 고장 제거 시간(재폐로 차단기 차단 후)이 0.5s 를 초과하는 경우이다. 이 경우 2차 아크가 소호될 수 있는 충분한 시간 이후에 고장이 제거되었으므로 스위칭 동작을 통해 초전도 상태인 초전도 한류기를 투입하여 재폐로 차단기가 초전도 한류기의 회복시간을 기다리지 않고 바로 재폐로 할 수 있다.

c. Operation 3

Operation 3은 고장은 재폐로 차단기 차단 후 0.5s 이전에 제거되지만 초전도 한류기의 잔여 회복시간이 길어 고장 제거 시간(재폐로 차단기 차단 후)과 초전도 한류기의 잔여 시간의 합이 0.5s 를 넘을 경우이다. 이 경우 일시 고장이 제거 되고 나서 초전도 한류기의 긴 회복특성 시간은 오히려 불필요하기 때문에 스위칭 동작을 통해 초전도 상태인 초전도 한류기로 전환을 한 후 Operation 1과 마찬가지로 2차 아크의 소호 시간을 고려하여 기존의 0.5s 의 무전압 시간 이후 재폐로를 수행한다.

4. 시뮬레이션 및 결과 검토

4.1 모의 계통

본 논문에서 제시한 재폐로 기법을 모의하기 위한 배전계통은 그림 9와 같다.

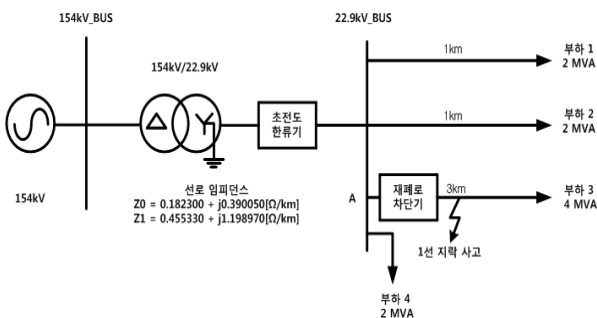


그림 9 초전도 한류기가 적용된 계통 모델

Fig. 9 The system model with SFCL

모의 계통은 한전 실배전계통을 토대로 EMTP ATPDraw를 이용하여 구현하였으며, 초전도 한류기와 재폐로 차단기는 MODELS를 이용하여 모델링 하였다.

다음의 표 1과 표 2는 그림 9의 모의 계통을 구성하기 위한 계통 파라미터와 초전도 한류기의 모델링을 위한 파라미터이다. 선로는 표 1과 같이 비교적 단거리 선로이므로 집중정수 모델을 사용하였다.

초전도 한류기의 한류 저항값은 2Ω 이며, 회복시간은 각 operation의 검증을 위해 0.3s, 0.7s 로 조정하여 모의 하였다.

표 1 계통 파라미터

Table 1 The system parameter

항 목	값	
전원 임피던스	5 + j3 [Ω]	
선로 임피던스	정상	0.182300 + j0.390050 [Ω/km]
	영상	0.455330 + j1.198970 [Ω/km]
선로 길이	Line 1	1 [km]
	Line 2	1 [km]
	Line 3	3 [km]
부하 역률	0.9	

표 2 초전도 한류기 파라미터

Table 2 The parameter of SFCL

항 목	값
켄칭 개시전류	300 [A]rms
켄칭 시간	1 [ms]
한류 저항값	2 [Ω]
회복 시간	0.3, 0.7 [s] (Operation에 따라 변경)

4.2 모의 조건

모의 조건은 표 3과 같다. 0.05s 에 1선 지락사고를 발생시키고 재폐로 차단기의 선로 차단 후 고장 제거 시간과 고장 저항 값, 초전도 한류기의 회복시간을 다르게 하여 모의 하였다. 또한, carrier 신호의 크기와 주파수는 10V, 6000Hz 로 선정하여 모의하였다.

표 3 Operation에 대한 모의 조건

Table 3 The simulation conditions for the operation

Operation	고장 저항	SFCL의 회복시간	실제 고장 제거시간
Operation 1	0 Ω	0.3 s	차단 후 0.1 s
	30 Ω	0.3 s	차단 후 0.1 s
Operation 2	0 Ω	0.3 s	차단 후 0.7 s
	30 Ω	0.3 s	차단 후 0.7 s
Operation 3	0 Ω	0.7 s	차단 후 0.1 s
	30 Ω	0.7 s	차단 후 0.1 s

4.3 시뮬레이션 결과

4.3.1 Operation 1에 대한 결과 파형

다음 그림 10은 operation 1에서 고장저항이 0Ω이며 고장 제거 시간이 재폐로 차단기 차단 후 0.1s 인 0.2s 에 고장이 제거 되는 경우이다. 재폐로 차단기의 차단동작과 동시에 carrier 신호가 투입되며 고장이 제거되기 전까지 고장 지점으로 흐르게 된다. Carrier 신호는 고장이 제거됨과 동시에 BUS2로 흐르게 되며 이 순간의 전류의 실효치 값은 변하게 된다. 실효치의 변화를 통해 고장이 제거되었음을 판단하고 재폐로 차단기의 controller에 신호를 전송한다. 고장 제거 신호를 받은 controller는 재폐로 차단기의 차단동작 후 고장 제거 시점까지의 경과시간을 계산한다. 이 경과시간을 통해 초전도 한류기의 잔여 회복시간을 계산하고, 잔여 회복시간 이후에 재폐로 차단기 재폐로 동작 명령을 내린다.

모델링한 초전도 한류기는 재폐로 차단기가 차단을 하여도 전류의 실효치 값이 임계전류 값보다 작아질 때까지는 회복특성을 보이지 않기 때문에 초전도 한류기의 저항값은 재폐로 차단기가 차단한 후 약간의 시간이 경과한 후부터 회복특성을 보인다.

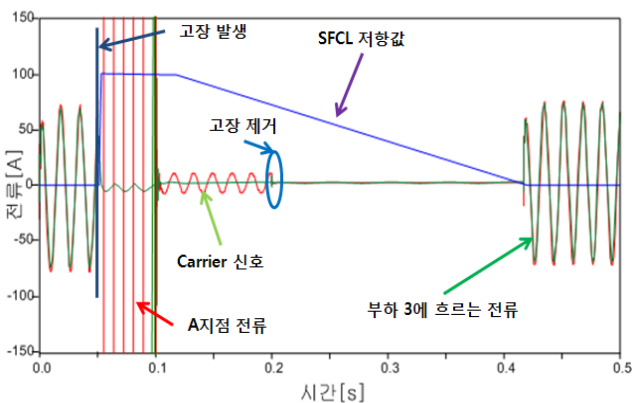


그림 10 고장 저항 0Ω 일 경우 operation 1의 결과 파형
 Fig. 10 A simulation results for operation 1 in case of 0Ω fault resistance

다음의 그림 11은 고장 저항이 30Ω 일 경우 operation 1에 대한 결과 파형이다. 그림 11을 통하여 BUS2에서 고장 저항이 커짐에 따라 감소하는 carrier 신호의 실효값을 감지하고 고장 제거 여부를 판단 가능함을 확인 할 수 있다. 그림 11에서와 같이 고장저항이 큰 경우에도 전류의 실효값 변화를 검출함으로써 고장 제거 여부를 검출할 수 있으며 그림 10, 11을 통해 현재 사용되고 있는 재폐로 차단기의 첫 번째 무전압 시간 0.5s 보다 짧은 시간에 재폐로 동작이 가능함을 확인 할 수 있다.

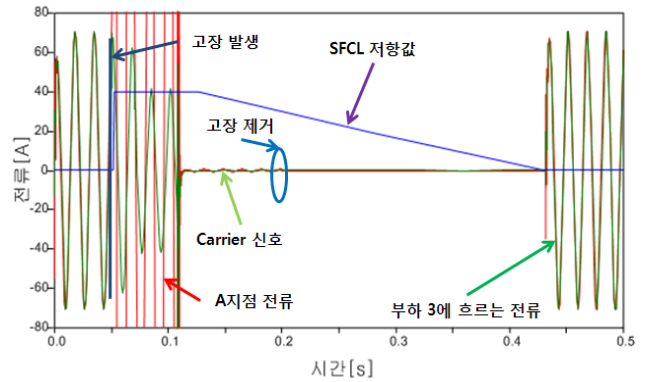


그림 11 고장 저항 30Ω 일 경우 operation 1의 결과 파형
 Fig. 11 A simulation results for operation 1 in case of 30Ω fault resistance

4.3.2 Operation 2에 대한 결과 파형

다음의 그림 12는 operation 2에서 고장저항이 0Ω, 고장 제거 시간이 재폐로 차단기 차단 후 0.7s 인 0.8s 에 고장이 제거되는 경우로 초전도 한류기 특성 곡선과 같이 고장이 제거되기 이전에 초전도 한류기의 회복시간이 완료된 경우에는 고장의 제거가 판단되는 0.8s 에 바로 재폐로 차단기가 재폐로 동작을 하게 된다.

그림 13은 고장 저항이 30Ω 인 경우 operation 2에 대한 결과 파형으로 그림 11과 마찬가지로 고장 저항의 증가에 따라 carrier 신호가 작아졌으나 전류의 실효치 값의 변화를 검출함으로써 고장 제거 여부를 판단할 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 12, 13을 통해 현재 사용되고 있는 재폐로 차단기의 첫 번째 무전압 시간 이후에도 고장이 제거 되지 않았음을 확인할 수 있기 때문에 고장전류를 계통에 투입시키지 않는다는 장점이 있다.

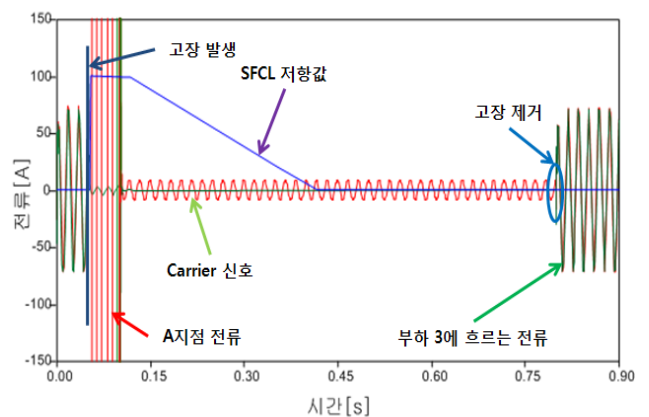


그림 12 고장 저항 0Ω 일 경우 operation 2의 결과 파형
 Fig. 12 A simulation results for operation 2 in case of 0Ω fault resistance

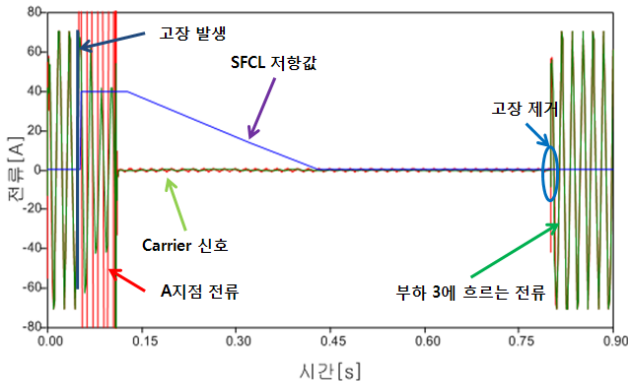


그림 13 고장 저항 30[Ω] 일 경우 operation 2의 결과 파형
 Fig. 13 A simulation results for operation 2 in case of 30Ω fault resistance

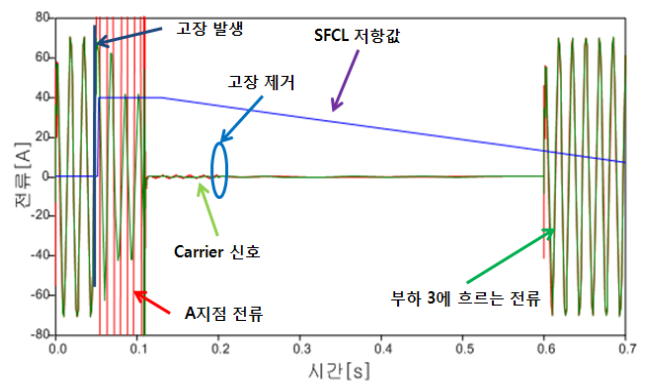


그림 15 고장 저항 30[Ω] 일 경우 operation 3의 결과 파형
 Fig. 15 A simulation results for operation 3 in case of 30Ω fault resistance

4.3.2 Operation 3에 대한 결과 파형

그림 14는 operation 3에서 고장 저항이 0Ω, 고장 제거 시간이 재폐로 차단기 차단 후 0.1s 즉, 0.2s 에 고장이 제거 되는 경우이나 operation 1과의 다른 점은 초전도 한류기의 회복시간이 0.7s 로 긴 시간을 필요로 하는 경우이다. 이 경우 고장 제거 시간이 0.2s 로 짧지만 초전도 한류기의 회복 시간이 0.7s 로 현재 사용되고 있는 재폐로 차단기의 1차 무전압 시간(0.5s) 보다 긴 경우로 이 경우는 병렬 연결된 초전도 한류기를 스위칭 동작을 통해 초전도 상태인 한류기를 투입해줌으로써 초전도 한류기의 잔여 회복시간을 고려하지 않고 현재의 재폐로 차단기 1차 무전압 시간 이후 재폐로 동작을 수행하게 된다. 따라서, 그림 12와 같이 재폐로 차단기 차단 동작 후 0.5s 이후인 0.6s 에 재폐로 동작을 수행한다.

그림 15는 operation 3에서 고장 저항이 30Ω 인 경우의 그래프이며 그림 13과 유사하게 고장 저항의 증가에 따라 carrier 신호가 작아졌으나 전류의 실효치 값의 변화를 검출함으로써 고장 제거 여부를 판단할 수 있음을 확인할 수 있다.

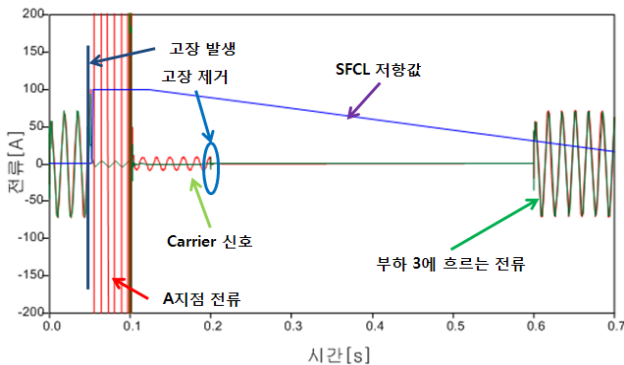


그림 14 고장 저항 0[Ω] 일 경우 operation 3의 결과 파형
 Fig. 14 A simulation results for operation 3 in case of 0 fault resistance

4.4 결과검토

본 논문에서 제안한 재폐로 기법을 검증하기 위해 고장 저항, 고장 제거 시간, 초전도 한류기의 회복시간에 따라 다양하게 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과, 본 논문에서 제안한 재폐로 기법이 영구, 일시 고장판별을 통해 초전도 한류기의 회복시간을 고려하여 정확하게 동작함을 확인할 수 있었다. 또한 고장 저항에 따른 carrier 신호의 실효치 값의 변화에도 영구, 일시 고장을 판별하고 초전도 한류기의 회복시간을 고려하여 정확하게 동작함을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 carrier 신호를 통해 배전시스템의 영구, 일시 고장을 판별하고 일시 고장일 경우 초전도 한류기의 회복시간을 고려하여 재폐로 차단기의 무전압 시간을 감소시킬 수 있는 재폐로 기법을 제안하였다. 고장 저항 및 고장 제거 시간, 초전도 한류기의 회복시간을 변화시켜 모의하였으며 모의 결과를 통해 본 논문에서 제시한 carrier 신호를 통한 고장 판별 및 초전도 한류기의 회복시간을 고려한 재폐로 차단기의 동작이 가능함을 확인할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도 응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] Sang-Pil Ahn, Chul-Hwan Kim, Raj K. Aggarwal, Allan T. Johns, " An Alternative Approach to Adaptive Single Pole Auto-Reclosing in High Voltage Transmission Systems Based on Variable Dead Time Control", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 16, No. 4, pp.676-686, Oct. 2001.

- [2] Zoran M. Radojevic, Joong-Bin Shin, "New Digital Algorithm for Adaptive Reclosing Based on the Calculation of the Faulted Phase Voltage Total Harmonic Distortion Factor", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, No. 1, pp.37-41, Jan. 2007.
- [3] Fault Current Limiters-Basic Concept and Associated Technologies, EPRI EL-6275, 1989.
- [4] 이상봉, 김철환, 김규호, 김재철, 현옥배, "초전도 한류기의 회복특성에 따른 재폐로 동작 분석", 대한전기학회 논문지, Vol. 58, No. 5, pp. 450-454, 2009.
- [5] Huang Qiang, Li Yongli, Li Bin, "A New Adaptive Autoreclosure Scheme to Distinguish Transient Faults from Permanent Faults", International Conference on Power System Technology, Vol. 2, pp. 13-17, October 2002.
- [6] 한국전력공사, "변전설비 현장 가이드북", 2000.
- [7] Lin Ye, Klaus-Peter Juengst, "Modeling and Simulation of High Temperature Resistive Superconducting Fault Current Limiters", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 14, No. 2, June, 2004.
- [8] Anders Wikstrom, Peter Bennich, Ake Ekstrom, Pasi Hyvonen, "Power Quality Improvement by Use of a solid State Current Limiting Device", Harmonics and Quality of Power, 2000. Proceedings. Vol. 3, 1-4 Oct. 2000.
- [9] 이상봉, 김철환, 김규호, 김재철, 현옥배, "배전계통 초전도 한류기 동작특성에 따른 계통 영향 분석", 대한전기학회 논문지, Vol. 57, No. 7, pp.1135-1140. 2008.
- [10] H.-R. Kim, S.-W. Yim, S.-Y. Oh, O.-B. Hyun, "Analysis on recovery inAu/YBCO thin film meander lines", Progress in superconductivity, Vol. 9, No.1, pp.119-125, 2007.
- [11] Seung Ryul Lee, Jong Yul Kim, Jae Young Yoon, "A Study on SFCL Systems for Korean power system application", IEEE PES Transmission and Distribution Conference and exhibition 2006.



서 훈 철 (徐 熏 徹)

1982년 1월 19일생. 2004년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2006년 동 대학원 정보통신공학부 졸업(석사). 2006년~현재 동 대학원 정보통신공학부 박사과정
 Tel : 031-299-4630
 Fax : 031-290-7955
 E-mail : hunchul12@snu.ac.kr



이 상 봉 (李 相 奉)

1968년 2월 22일생. 1994년 한양대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 성균관대학교 전력IT 인력양성센터 선임 연구원
 Tel : 031-299-4630
 Fax : 031-290-7955
 E-mail : rrsd@naver.com



김 철 환 (金 喆 換)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 성균관대 정보통신공학부 교수, 전력IT인력양성센터 센터장
 Tel : 031-290-4138
 Fax : 031-290-7179
 E-mail : hmwkim@hanmail.net



김 재 철 (金 載 哲)

1955년 7월 22일생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대 전기공학과 교수
 Tel : 02-817-0647
 Fax : 02-817-0870
 E-mail : jckim@ssu.ac.kr



현 옥 배 (玄 鈺 培)

1953년 2월 11일생. 1976년 연세대 물리학과 졸업, 1987년 Iowa State Univ. 대학원 물리학과 졸업(이학박사), Ames Lab., NIST, ISTEK 연구원 역임, 현재 한전 전력연구원 수석 연구원
 Tel : 042-865-7510
 Fax : 042-865-5206
 E-mail : hyun@kepri.re.kr

저 자 소 개



고 윤 태 (高 允 泰)

1982년 11월 11일생. 2008년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2008년 8월~현재 동 대학원 정보통신공학부 석사과정
 Tel : 031-299-4630
 Fax : 031-290-7955
 E-mail : hmm100@nate.com