

교류 스위치-퓨우즈 조합기기의 차단특성에 관한 고찰

노창일, 나대열, 김선구, 정홍수, 김원만, 이동준
한국전기연구원

The study of short-circuit breaking characteristics of high-voltage alternating current switch-fuse combinations

Chang-il Roh, Dae-Ryeol La, Sun-Koo Kim, Heung-Soo Jung, Won-Man Kim, Dong-Jun Lee
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - Alternating current switch-fuse combinations shall be designed so as to protect for load circuit of distribution line. this switch system shall be test on making and breaking at short-circuit current. the test dutys were performed to prove correct coordination between the switch and fuses in applied test conditions. This paper describes characteristics and test method for prove to performance of alternating current switch-fuse combinations.

므로 퓨우즈를 부착하여 퓨우즈 차단에 의하여 회로를 보호하는 방식을 채택하고 있다. 실제적으로 퓨우즈를 차단하기 위한 전이전류(transfer current)는 다음 식으로 표시되는 변압기의 단락전류보다 적다

$$I_{\infty} = \frac{100I_f}{Z} (I_f = \text{정격전류}, Z = \% \text{임피던스}) \quad (1)$$

2.1.1 Fuse 정격 선정방법

3phase 25.8kV 1,000kVA 변압기 부하회로에서 최대예상 사고전류 25kA인 회로에서 회로 특성 값은

- 정격전류: 22A
- 순시 전류 정격: $22A \times 1.05 \times 1.5 = 34A$
- * K. T형 fuse의 연속전류정격은 정격전류의 150%이며 변압기 tap에 대한 factor 5%를 적용)
- 여자들입전류 : $22A \times 12 = 264A$
- * 0.1sec에서 여자들입전류는 정격전류의 10~12배가 되며 최대 값인 12배를 적용

회로 특성값을 적용하여 fuse 정격 25.8kV 40A 25kA fuse를 다음의 특성요소를 고려하여 선정할 수 있다.

- Fuse는 통전시간 0.1s에서 264A의 여자들입전류에 견딜
- 순시정격전류 34A에서 통전이 가능하고 온도상승한 계치를 초과하지 아니할 것
- Fuse의 초기 아크전류는 fuse의 시간-전류 특성의 10s 지점에서의 값보다 적어야 한다.
- 변압기 1차측 단락전류는 식 (1)을 적용 %임피던스를 5%라하면 $\frac{1,000 \times 100}{\sqrt{3} \times 25.8 \times 5} = 446A$ 로 되며 fuse 정격 25A의 2.1.2항의 전이전류(transfer current)보다 큰 값이다

2.1.2 전이전류(transfer current)

전이전류는 striker 조작방식에 의한 차단동작 즉 fuse의 차단으로 스위치의 striker를 조작하여 스위치를 동작하기 위한 인가전류를 의미 한다. 첫 상의 fuse가 동작하여 striker 동작에 의한 스위치의 동작할 때 까지의 시간 즉 첫 상 fuse가 소손되어 나머지 두 상의 fuse가 소라 소손될 때까지의 시간의 차를 ΔT 라 하면 첫 상의 차단전류는 3상전류로서 최소동작전류가 되어서 각각 시간 T_{m1} , 전류 I_1 이 되며

두 번째 상의 차단전류는 I_2 는 $0.87I_1$ 이 되며 동작시간 T_{m2} 로 나타낼 수 있다.

이 시간-전류 특성을 log-log 좌표로 표시하면 $\log T_m = \alpha \log I + \log C$ 가 되며

$$\text{최소 시간-전류에 대한 식은} \quad I_1 \times T_{m1} = C \quad (2)$$

$$\text{최대 시간-전류에 대한 식은}$$

1. 서 론

부하회로에 전원을 공급하기 위한 스위치는 선로고장에 따른 회로를 보호하기 위하여 보호계전기 또는 퓨우즈 등을 이용하고 있으며 특히 계통을 연계하지 아니하고 단일 분기회로 보호에 사용되고 있는 스위치는 부하측에 퓨우즈를 설치하여 퓨우즈와 협조하여 회로를 구성하고 있다. 스위치에 설치된 퓨우즈로 보호되는 경우는 계통 보호에 설치된 계전기처럼 동작 전류치와 시간을 임의로 원하는 값에 조정하는 것이 불가능하기 때문에 정격용량과 설치위치 등을 고려하여 상호협조가 가능하고 스위치 및 회로의 손상을 최소한 방지할 수 있도록

- 스위치의 정격전압 \geq 계통전압
- 스위치의 정격전류 \geq 설치 점 최대 부하전류
- 스위치 최대차단정격 $>$ 보호구간 최대 고장전류
- 스위치의 절연 level \geq 계통의 절연 level
- 스위치의 최소동작전류 $<$ 보호구간 최소 동작전류

등 기본적인 사항을 고려하여 이에 따른 스위치 및 설치 fuse들의 정격용량을 선정하여야 한다.

스위치와 fuse와 조합하여 회로를 차단하는 동작방식으로는 스위치의 striker를 동작시켜서 차단하는 striker 방식과 release 조작에 의한 release 방식으로 구분할 수 있으며 동작방식에 따른 사고전류를 고려하여 제품설계에 반영하여야 한다.

본 논문에서는 회로의 사고전류를 고려하여

- 스위치 및 fuse 협조 관계
- fuse 정격 선정 방법
- 전이전류(transfer current)
- 인계전류(take-over current)

등에 대하여 기술하였으며 또한 이 성능을 증명하기위한 대전력 시험방법 등에 대하여 서술하였다.

2. 본 론

2.1 스위치 및 fuse의 협조 관계

Fuse와 연계된 정격단락 차단전류는 설치위치에서의 예상 사고전류보다 동등하거나 크기 때문에 이를 설계 시 고려하여야 한다. 변압기 보호회로인 경우 1차 측의 고장조건은 변압기 부하회로의 영향으로 과도회복전압(TRV : transient recovery voltage) 및 단락전류가 발생되므로 스위치로만 고장에 대하여 해결할 수가 없으

$$I_2 \times T_{m2} = C(1+x)^\alpha \quad (4)$$

(3), (4)식에서 동작시간-전류에 대한 특성은
 $I_2 T_{m1} + (0.87I_1)^\alpha \times (T_{m2} - T_{m1}) = C(1+x)^\alpha \quad (5)$

식 (3)과 (5)에서

$$\Delta T = T_{m2} - T_{m1} = T_{m1} \left[\frac{(1+x)^\alpha - 1}{0.87^\alpha} \right] \quad (6)$$

transfer point ΔT 는 fuse 동작점 스위치 개극시간 T_0 와 동일하다. 식 (6)을 fuse의 동작시간-전류특성 오차 $\pm 6.5\%$ ($2\sigma \pm 10\%$)이면 $x=0.13$ 이 되며

$$T_{m1} = T_0 \left[\frac{0.87^\alpha - 1}{(1+0.13)^\alpha - 1} \right] \quad (7)$$

으로 표시된다. 이와같이 전이전류는 최소동작시간-전류 특성으로 알 수 있다.

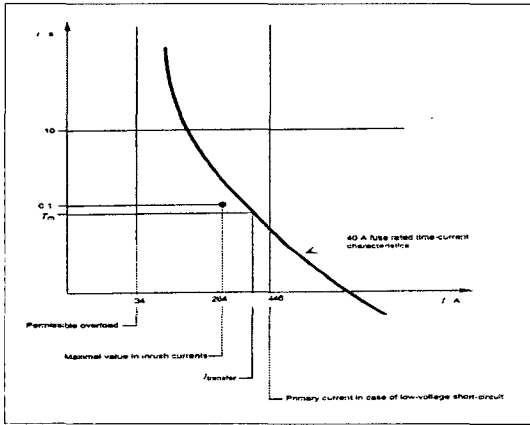
slope α 는 T_{m1} 에 의하여 결정되며 $\alpha=4$ 라고 가정하고 퓨우즈동작시간이 0.05s-0.3s라 하면

$$\Delta T = T_{m2} - T_{m1} = T_{m1} \left[\frac{(1+0.13)^4 - 1}{0.87^4} \right]$$

$$T_0 = \Delta T = 1.1 \times T_{m1} \text{ 또는 } T_{m1} = 0.9 T_0$$

따라서 전이전류는 pre-arcing time과 동등한 0.9T₀ fuse 동작시간-전류특성과 동일한 전류로서 정해진다.

2.1.1 과 2.1.2의 특성을 고려하여 전이전류를 표시하면 다음의 그림1과 같이 나타낼 수 으며 0.05s 지점에서의 전이전류는 298A이다.



(그림 1) 전이전류 표시

2.1.3 인계전류(Take-over current)

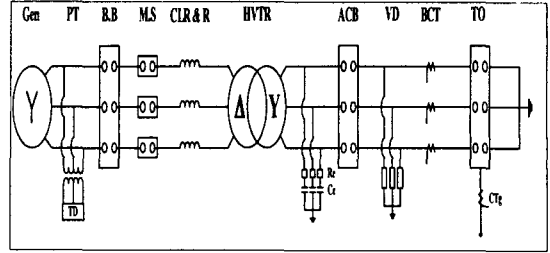
인계전류는 release 동작 개극시간과 fuse 동작시간-전류특성에 의하여 결정된다. 동작시간은 fuse 최대 pre-arcing 시간(최소 release 동작 개극시간과 동일)+ 외부 접속 relay 최소동작시간 0.02s으로 된다. 이 인계전류(take-over current)는 switch-fuse 제작자가 제시한 정격 인계전류(rated take-over current)보다는 작아야 한다.

2.2 실증 시험방법

Switch-fuse combination에 대한 성능을 검증하기 위하여 다음과 같은 시험을 실시하고 있으며

- TD_{ISC} : 단락전류 투입 및 차단시험
- TD_{IWmax} : 최대 차단 I²t의 투입 및 차단시험
- TD_{Itransfer} : 전이전류 차단시험
- TD_{Ilo} : 인계전류 차단시험

시험회로는 그림2와 같다.



(그림 2) 시험회로

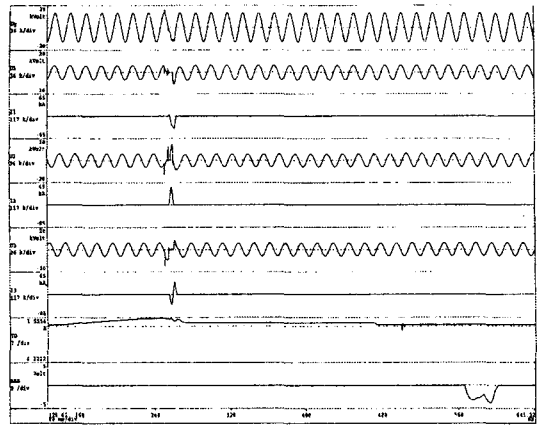
* 시험설비 용어설명

- Gen: 단락발전기
- BB: back-up breaker,
- MS: Making switch,
- ACB : auxiliary breaker
- CLR: Current Limited Reactor & resistor
- HVTR: high voltage transformer
- ACB : auxiliary breaker
- TO: test object

2.2.1 TD_{ISC} 단락전류 투입 및 차단시험

이 시험의 실시 목적은 정격단락전류에서 스위치가 투입시 인가전압으로 인하여 접점이 기계적으로 접촉하기 전에 절연파괴가 생기며 pre-arc가 발생하여 접점을 용착시키거나 내부의 온도를 상승시켜서 접점의 마모를 유발하여 대전류 통전능력을 감소시킨다. 차단시에는 아아크로 인한 열적인 능력을 검증하고 규격의 TRV조건에서 회복전압에 의한 절연성능의 검증이 필요하다. 이와 같은 이유로 차단(O)-1회 및 투입-차단(C-O)1회의 시험을 실시하며 스위치는 fuse의 용단에 의한 striker의 동작으로 스위치가 차단이 된다.

아래의 그림2는 투입-차단시험을 실시한 결과를 나타 내는 시험결과 이상이 없음을 표시하는 OSC 파형이다.



(그림 3) 투입-차단시험 실시 파형

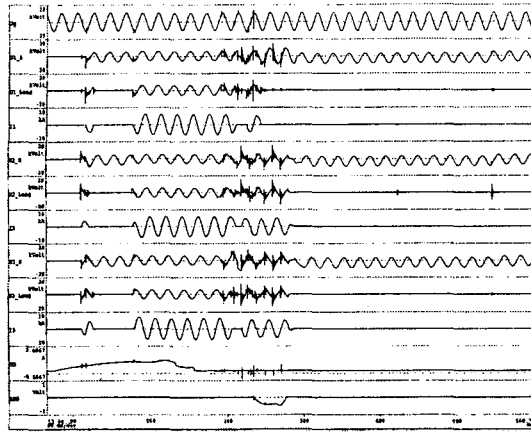
2.2.2 TD_{IWmax} 최대 차단 I²t 투입 및 차단시험

Fuse의 열적용량 I²t에서 스위치와 fuse의 combination 성능을 검증하기 위한 시험이다. 스위치가 투입된 상태에서 fuse의 열적용량 I²t전류로 투입(C)-2 회시험을 실시하여 striker에 의한 스위치의 성능이 이상 없이 개방됨을 입증하기 위한 시험이다.

2.2.3 TD_{Itransfer} 전이전류 차단시험

스위치와 fuse의 사용전류 범위내에서 스위치와 fuse의 전류에 의한 차단시험에 대한 combination 관계를 입증하기 위한 시험이다. 전이전류에 대하여 3회의 차단 시험을 실시하며 각 상에 교대로 실시한다. 3상중 1상에만 fuse를 설치하고 나머지 2상에는 임피던스가 없는 퓨우즈와 똑같은 형상의 도체로 대신할 수도 있다 아래의 그림3은 스위치가 striker에 의한 동작 시 제점호

(restrike)가 발생하여 절연파괴로 차단에 실패한 결과를 나타내는 OSC 파형이다.



(그림 4) 전이전류 차단시험 파형

2.2.4 TD₁₀₀인계전류 차단시험

Release 동작으로 투입 및 차단을 하는 스위치의 fuse 와의 combination에 대한 성능을 입증하기 위한 시험이다. 인계전류에 대하여 3회의 차단시험을 실시하며 각 상에 교대로 실시한다. 3상중 1상에만 fuse를 설치하고 나머지 2상에는 임피던스가 없는 퓨우즈와 똑같은 형상의 도체로 대신할 수도 있다.

3. 결 론

각 분기회로의 부하설비 보호용으로 설치하고 있는 스위치-fuse의 combination 설비는 설비의 성능을 입증하기 위하여 먼저 switch의 성능이 검증되어야 하며 또한 부하의 과전류 보호용으로 연결된 퓨우즈는 해당규격에서 정하는 성능이 검증되어야 한다. 그러나 각 해당기기를 적합하게 구성하여 제품을 설계할 실시함에 있어서 전이전류(transfer current) 및 인계전류(take-over current)에 대한 특성을 정확하게 파악할 필요가 있으므로 본 논문에서의 변압기 부하특성을 고려하여 산출했으며, 또한 이 성능을 검증하기 위한 대전력시험방법의 일반적인 시험회로 및 시험결과에 대하여 서술하였다. 추후 과제는 보다 더 세밀한 자료를 제공하여 제품설계에 도움이 되었으면 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 原田 達哉 外 “大電流工學 핸드ブック” コロナ社, pp. 140-143. 1994
- [2] Allan Greenwood. “Transient in power system” pp. 60-70. 1990
- [3] IEC 62271-105, “High-voltage switchgear and control gear. part 105: alternating current switch-fuse combinations” IEC TC-17,2002-08
- [4] IEC 60282-1, “High-voltage fuses part 1: Current-limiting fuses” IEC TC-32A,2002-01