

PTC 소자의 저압차단기 적용에 관한 연구

강종성, 이방욱, 최원준, 오일성
LS산전 전력연구소

Study of the Application of PTC elements for Low Voltage Circuit Breakers

J.S. Kang, B.W. Lee, W.J. Choe, I.S. Oh
LS Industrial Systems

Abstract - 일반적으로 저압계통의 고장전류를 차단하기 위해서, 기중차단기(LVPCB, ACB), 배선용차단기 등을 사용하고 있는데, 저압차단기는 저압계통의 고장전류를 차단할 수 있으나, 고장전류를 효과적으로 제한하지 못하며, 차단기 내부의 아킹시간이 상대적으로 길므로, 저압차단기는 물론 주변 전력기기에 전기적/열적/기계적 스트레스를 주게 된다. 또한 지속적인 부하의 증가로 인해 저압계통의 단락전류는 점점 증가하는 추세에 있으므로 저압계통은 물론 고압계통에서도 고장전류를 보다 빠르고 효과적으로 제한 및 차단할 수 있는 한류형 차단기가 제안되고 있다.

본 연구에서는 정온도계수(PTC, Positive Temperature Coefficient) 특성을 가지는 소자를 이용하여 저압계통에 적용가능한 한류소자를 개발하였으며, 기존 차단기에 직렬 혹은 병렬로 연결하여 저압계통의 고장전류를 매우 빠르고 효과적으로 제한 및 차단할 수 있으며, 아울러 저압계통의 차단보호 협조를 효과적으로 구현할 수 있는 한류형 차단기를 제안하였다.

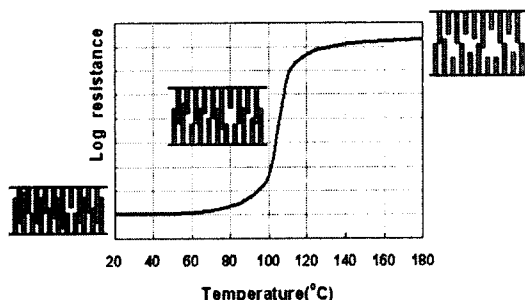
한류소자를 전력기기에 적용하는 방법은 크게 기존 차단기와 직렬로 연결되는 방식과 기존 차단기를 수정하여 차단기 내부의 접점과 비직렬 연결되는 방식으로 구분 할 수 있는데, 본 논문에서는 직렬방식/비직렬방식으로 기존 차단기에 한류소자를 적용함에 있어서 대응가능한 대전류 PTC소자를 개발하였으며, 또한 각 방안에 대한 시제품을 제작하여 제한 성능을 검증하였다.

1. 서 론

일반적으로 전력계통에는 낙뢰 및 지락, 단락과 같은 사고가 발생하면 정상시 부하전류에 비해 매우 큰 고장전류가 흐르게 되는데, 이 고장전류를 차단하기 위해서 다양한 차단기가 설치되어 있다. 저압계통의 경우, 고장전류 차단을 위하여 기중차단기(LVPCB, ACB) 및 배선용차단기(MCCB) 등이 설치되어 있는데, 저압차단기는 주로 역전압발생법을 이용하여 고장전류를 제한하여 전류영점에서 차단하는 방식이다. 이 역전압발생법은 효과적으로 저압계통의 고장전류를 차단할 수 있으나, 고장전류를 제한하는 성능에 한계가 있으며, 상대적으로 긴 아킹시간은 차단기는 물론 주변 전력기기에 전기적/열적/기계적 스트레스를 주게 된다. 또한 지속적인 부하의 증가로 인해 저압계통의 단락전류는 점점 증가하는 추세에 있으므로 저압계통은 물론 고압계통에서도 고장전류를 보다 빠르고 효과적으로 제한 및 차단할 수 있는 한류형 차단기가 요구되고 있다.

본 연구에서는 정온도계수(Positive Temperature Coefficient) 특성을 가지는 한류소자를 기존 차단기에 적용하여 저압계통의 고장전류를 매우 빠르고 효과적으로 제한 및 차단하는 방식을 제안하며, 또한 저압계통의 차단보호협조를 효과적으로 구현하고자 한다. PTC 소자는 크게 금속/세라믹/폴리머 PTC로 구분되는데, 본 연구에서는 주로 휴대폰 배터리 보호용 저전력 폴리머 PTC 소자를 이용하여 전력기기에 적용코자 하였다.

폴리머 PTC 소자의 경우 그림 1과 같이 열팽창이 큰 비전도성 성분과 열팽창이 작은 전도성 성분으로 구성되며, 비전도성 성분의 비결정 영역에 전도성 성분이 채우고 있다. 정상시 폴리머 PTC 소자는 전도성 성분이 서로 도전 통로를 이루고 있으므로 저항값이 매우 작으나, 온도가 상승하면 열팽창이 큰 비전도성 성분이 큰 부피 팽창을 하여 전도성 성분의 연결고리를 대부분 끊어, 소자의 저항이 급격히 증가하는 트립현상이 발생하게 되는데, 트립에 의한 저항 증가를 이용하여, 고장전류를 제한하게 된다.



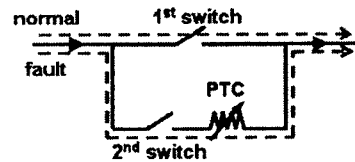
〈그림 1〉 폴리머 PTC소자의 동작원리

2. 본 론

2.1 PTC소자 적용성 연구 현황

현재 ABB, SquareD, GE, Eaton 등의 선진업체들도 폴리머 및 세라믹 PTC 소자를 저압차단기에 적용하고자 하는 연구를 진행하고 있으며, 소자 개발 및 여러 가지 적용 방안에 대한 특허 및 논문들이 나오고 있다. 특히 ABB의 경우, 기존의 MCCB, MMS, MCB 등의 차단성능을 높이기 위해서 PTC 소자를 모듈화하여, 차단기 외부에 직렬로 연결하는 한류기 제품(PROLIM)을 출시하였다. PROLIM은 ABB에서 생산되는 저압차단기의 전 원측 또는 부하측에 직렬로 연결되어, PROLIM은 고장전류를 제한하고, 제한된 고장전류를 저압차단기기가 차단 완료하여, 저압차단기의 차단용량 및 장수명을 가능하게 하였다. PROLIM과 같이 직렬연결 방식은 고장전류 뿐만 아니라, 정상시 부하전류도 PTC소자를 통해서 흐르게 되므로 부하전류에 의한 발열 문제 및 발열에 따른 PTC 소자의 열화 문제가 해결되어야 하므로, PROLIM은 상대적으로 부피가 크고, 정격전류값도 100A 이하의 제품만 출시되고 있는 상황이다. 그러나 저압차단기 시장에서 100A 이하의 저압차단기의 시장이 가장 크므로, PROLIM과 같은 한류소자를 이용한 고차단/장수명 저압차단기는 큰 이점이 아닐 수 없다.

또한 SquareD의 경우, 금속 PTC 소자를 이용하여 그림 2와 같이 순차차단 방식의 차단기를 세계 최초로 제안하였다. 순차차단 방식은 두개의 스위치와 PTC소자를 가지는데, PTC소자는 작지만 초기저항을 가지므로 정상시 대부분의 부하전류는 제 1 스위치로 흐르게 된다. 선로에 고장이 발생하여 고장전류가 흐르게 되면, 제 1 스위치가 먼저 개리되고, 고장전류는 제 2 스위치 및 PTC소자 쪽으로 전환된다. 제 1 스위치는 기존의 소호원리에 의해서 소호되고, 전환된 고장전류는 PTC소자가 제한하고, 제한된 고장전류는 제 2 스위치가 차단 완료하게 된다. 순차차단 방식은 고장전류를 재빨리 PTC소자 쪽으로 전환시켜주어야 하는데, PTC소자의 빠른 저항상승 때문에 전환된 고장전류가 다시 제 1 스위치로 복귀하는 현상이 발생하므로, 적절한 수단을 통해서 고장전류의 원복(back-commutation)을 막는 것이 필요하다. 그러나 순차차단 방식은 정상시 부하전류가 PTC소자 쪽으로 거의 흐르지 않으므로 매우 큰 전류정격을 가지는 저압차단기에 적합한 응용방법이다.

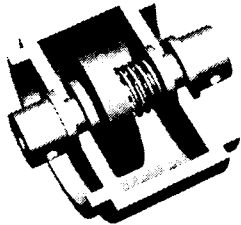


〈그림 2〉 순차차단 방식의 원리

2.2 대전력 PTC소자 개발

일반적으로 폴리머 PTC 소자의 경우, 휴대폰의 배터리 등에 저전력 과전류 보호 소자로 사용되고 있는데, 본 연구에서는 기존의 폴리머 PTC 소자를 이용하여 전력기기에 적용가능한 대전력 한류소자를 개발하였다. 개발된 PTC 소자를 저압차단기에 적용하여, 차단기 접점간 아크발생을 최소화하고, 단락용량의 획기적 향상 및 장수명을 보장할 수 있는 저압차단기를 개발코자 하였다.

폴리머 PTC 소자의 경우 배터리 및 PCB 기판에 주로 사용되고 있으므로, 정격전류값이 매우 작으며, 또한 예상되는 고장전류의 값도 작고, PTC 소자의 양 극간의 절연이 취약하다. 그리고 PTC소자가 트립될 때 양 전극에서 발생하는 반발력은 양 전극을 PTC 재료와 분리할 수 있다. 따라서 PTC 소자를 전력기기에 적용하기 위해서는 빠른 한류특성을 확보하고 양 극간의 절연파괴를 방지할 수 있으며 PTC 재료와 접촉된 전극의 분리를 막는 구조를 개발하였고 자사의 단락발전기 시험실에서 400V 100kArms의 단락전류로 한류시험을 하였다. 시험결과 400V 100kArms의 단락전류를 0.15ms 이내에 1.5kApeak로 제한하는 것을 확인하였고 기존차단기에 비해 소음이 적은 것을 확인하였다.

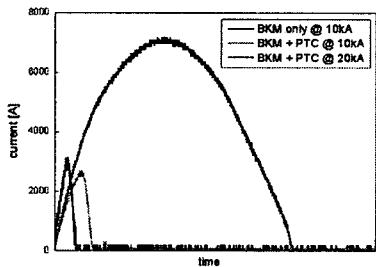


〈그림 3〉 대전력 PTC 모듈

2.3 직렬 연결 방안

앞서 기술한 바와 같이 PTC소자를 기존의 다양한 저압차단기에 적용함에 있어서 직렬 및 비직렬 방안으로 구분할 수 있다. 직렬 연결 방안은 기존의 저압차단기를 거의 수정하지 않고 적용할 수 있는 장점이 있다.

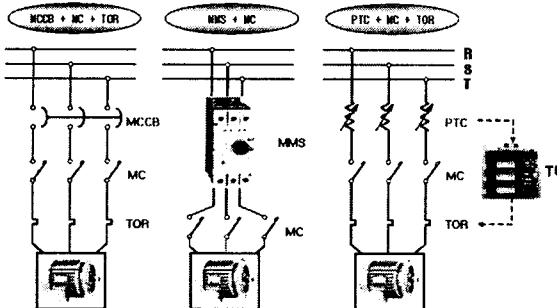
기존의 저압차단기는 차단기 소호부의 Arc를 이용한 차단 방식으로 차단 에너지는 전부 아크에 의해 소모되어 전자기적/기계적/열적 손상을 유발하고 상대적으로 긴 차단시간이 소요되어, 차단기 설계시 아크에 대비한 강한 기기의 설계가 필요하였다. 그러나 기존의 저압차단기와 직렬 연결할 수 있는 PTC소자를 적용한 한류기는 단락전류를 매우 빠르게 제한하므로, 한류기와 직렬로 연결된 저압차단기는 무아크, 무소음이며, 접점 마모가 거의 없으며, I_p (peak current)와 I^2t (let through current)의 현격한 감소로 기존 저압차단기의 설계가 용이하며 단락용량 및 기기의 제조원가 절감에 도움이 된다. 또한 한류기를 적절히 선정하면, 단락사고시에 저압계통의 확실한 차단보호협조가 가능하다.



〈그림 4〉 한류기 및 MCB 직렬연결 차단파형

그림 4는 PTC소자를 적용한 한류기를 자사의 저압차단기의 일종인 MCB에 직렬연결하고, 400V 10kA/20kA 고장전류를 인가한 실험의 결과 파형이다. 그림에서 알 수 있듯이, MCB 자체도 역전압발생법에 의한 한류 성능을 가지나, 한류기를 MCB와 직렬연결하고 같은 조건으로 실험을 하였을 경우, 고장전류는 훨씬 효과적으로 제한되며, 고장전류 지속시간 즉 차단시간도 매우 단축되는 것을 알 수 있다. 또한 고장전류가 증가함에 한류기의 한류성능은 극대화 되어, 예상전류에 반비례하여 차단시간이 단축되는 것을 알 수 있다. 즉 한류기를 직렬연결함으로써 차단에너지가 현격하게 줄어, MCB의 차단용량 상승 및 장수명이 가능하게 되었다.

개발된 한류기를 모터보호시스템에 적용하여 그림 5와 같이 신모터보호 시스템을 설계하였다. 신모터보호시스템은 PTC/MC/TOR 로 구성되는데, 선로에 고장이 발생하여 고장전류가 흐르면 PTC소자가 고장전류를 재빨리 제한시키고, 제어부(TU)는 PTC소자의 트립신호를 받아 MC의 구동코일의 전원을 차단하여 MC의 접점을 개리시킨다. 결국 MC는 선로의 개폐기능 뿐만 아니라, PTC소자에 의해 제한된 고장전류를 차단완료하는 기능도 수행하게 되어, 신모터보호시스템은 MCCB 혹은 MMS와 같은 저압차단기가 필요 없게 된다.



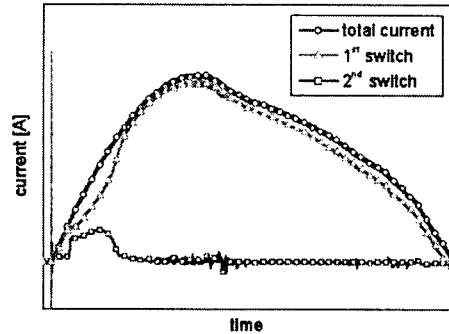
〈그림 5〉 모터보호시스템 비교

2.4 비직렬 연결 방안

PTC소자를 기존의 전력기와 직렬 연결하는 경우, 앞서 말한 바와 같이 고장전류 뿐만 아니라 정상시 부하전류도 PTC소자로 흐르게 되어, 발열 및 열화의 문제가 있다. 비직렬 연결 방안은 이러한 문제를 해결하기 위해서

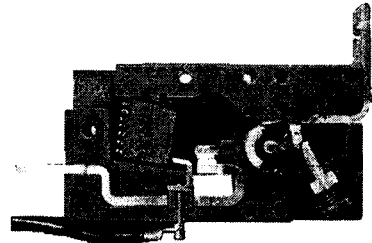
정상시에는 전체 혹은 대부분의 부하전류가 PTC소자로는 흐르지 않게 한다. 비직렬 적용 방안에는 단순병렬/순차차단/아크직렬과 같은 방법이 있는데, 본 연구에서는 순차차단 및 아크직렬 방안을 연구하였다.

순차차단 방식은 앞서 설명한 바와 같이 PTC소자와 두 개의 스위치로 구성된다. 그림 6은 순차차단 방식을 구현한 실험결과이다. 그림에서 알 수 있듯이, 제 1 스위치에서 PTC소자 쪽으로 전환된 고장전류는 PTC소자가 트립에 의한 저항 상승으로 다시 제 1 스위치쪽으로 복귀하는 것을 알 수 있다. 즉 순차차단 방식은 제 1 스위치의 잔류아크를 효과적으로 소호할 수 있는 수단이 필요하다.



〈그림 6〉 순차차단 방식 차단 파형

본 연구에서는 순차차단 방식과 별도의 아크직렬 적용 방안을 개발하였다. 아크직렬 적용 방안은 저압차단기 접점이 개리되고 접점 사이에 발생한 아크의 거동에 의해 PTC소자 쪽으로 고장전류가 흐르게 되는 방식이며, PTC소자에 의한 차단에너지의 분담으로 기존 차단기의 차단용량 증대 및 장수명 등의 이점을 가지게 된다. 그림 7은 아크직렬 방식을 적용한 저압차단기 소호부를 모의한 챔버이며, 해당 챔버를 이용하여 고장전류가 접점 사이에 발생한 아크의 거동에 의해 PTC소자 쪽으로 완전히 전환되고, 전환된 고장전류는 PTC소자에 의해 제한되고, 제한된 고장전류는 접점에서 소호하는 것을 증명하였다.



〈그림 7〉 아크직렬 방식 저압차단기 챔버

3. 결 론

본 연구에서는 일반적으로 배터리 보호용으로 사용되는 폴리머 PTC 한류소자를 이용하여 저압계통의 단락사고시 발생하는 단락전류를 효과적으로 제한할 수 있는 대전력 폴리머 PTC 소자를 개발하였다. 개발된 폴리머 PTC 한류소자는 400V 100kArms 단락고장전류를 0.15ms 이내에 매우 작은 전류값으로 효과적으로 제한하는 것을 검증하였으며, 개발된 대전력 PTC소자를 전력기에 직렬 및 비직렬 방식으로 적용하였다.

PTC소자의 직렬연결 방안의 경우 기존 저압차단기와 직렬연결 가능한 PTC모듈을 설계하였으며, 자사의 여러 가지 저압차단기와 직렬연결 실험을 통해 PTC소자의 효과를 검증하였으며, 신모터보호시스템을 제안하였다.

또한 비직렬 연결 방안의 경우, 아크직렬 방식을 개발하였으며, 모의 챔버 실험을 통해서 아크직렬 방식의 효과성을 검증하였다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] W. W. Chen, "Current commutation in arcless interruptions with PTC (positive temperature coefficient resistivity)", Proc. 47th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, pp. 141-147, September, 2001
- [2] W. W. Chen, "A method to achieve arcless interruptions in low current power circuits", IEEE Trans. Components and Packaging Technology, vol. 24, no. 3, pp. 363-369, September 2001
- [3] A. R. Duggal et. al., "High power current limiting with conductor-filled polymer composites", Proc. 44th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, pp. 75-81, October 1998
- [4] R. Strumpler et. al., "Novel Medium Voltage Fault Current Limiter Based on Polymer PTC Resistors", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 14, no. 2, pp. 425-430, April 1999