

새로운 분전반용 3상 결상보호기 개발에 관한 연구

곽동걸, 김진환, 박영직, 정도영, 김동균*, 김풍래*
강원대학교, 나누리시스템*

A Study on Development of New 3-Phase Open-Phase Protector used in Distribution Panel

D. K. Kwak, J. H. Kim, Y. J. Park, D. Y. Jung, D. K. Kim*, P. R. Kim*
Kangwon National University, Nanuri System co.*

ABSTRACT

In the three phase power system using the three phase load, when any one phase is open phase, the unbalanced current flows and the single phase power supplied by power supply produces over current. As a result, the enormous damage and electrical fire can be given to the power system. In order to improve these problems, this paper is proposed a new control circuit topology for open phase protection using semiconductor devices. Therefore, the proposed open phase protection device (OPPD) enhances the sensing speed and precision, and has the advantage of simple fitting in the three phase distribution panel in the field, as it manufactures into small size and light weight. As a result, the proposed OPPD minimizes the electrical fire from open phase, and contributes for the stable driving of the power system.

1. 서론

3상 전력계통 사고의 주요 원인은 결상에 의한 전압불평형을 동반한 과부하, 절연노화 등이 주요 요인으로 분석되고 있다.^[1] 이는 3상 부하 특히, 전동기를 이용하는 3상 전력계통에서 상간 단락이나 1상이 결상되면 계통에는 불평형 전류가 흐르거나 단상전력이 공급되어 전동기 코일의 과전류로 인한 화재발생은 물론이고 전력계통에 큰 피해를 주게 된다. 현장의 전기사고 예방은 전적으로 분전반 내의 배선용차단기에 의존하고 있으며, 배선용차단기는 상시 상태의 전로를 수동 또는 전기조작에 의해 개폐가 가능하고 과부하 및 단락 등의 사고 발생시 자동으로 전로를 차단하는 기구로써 최근에는 누전과 과부하 검용으로 제작되고 있다.^[2] 그러나 이러한 배선용차단기는 전압불평형 및 결상사고에 대한 검출 기능이 없으므로 3상 부하나 3상 전동기를 사용하는 곳에는 필히 열동 과전류계전기(THR) 또는 전자식 모터 보호계전기(EMPR)를 사용하도록 규정하고 있다. 이러한 보호장치들은 과전류나 과열이 발생되어야지만 검출이 가능하고 또한 전압불평형률이 70%이상에서 3초 이내에 트립하도록 설계되어 그 응답속도가 느리고 현장에서의 잦은 오동작과 정밀도가 저하되는 문제점을 가진다. 이러한 이유로 산업현장의 전기사고는 매년 증가하고 인명피해는 물론 재산피해의

손실은 우리사회의 문제점으로 대두되는 실정이다.^[3]

이들을 개선하기위하여 본 논문에서는 3상 성형 결선한 커패시터 소자들의 합성전위와 중성점 전위차를 이용한 새로운 전압불평형 결상보호용 제어회로 토폴로지를 설계하여 감지속도와 정밀도를 향상시키고, 또한 고속형 반도체 소자를 이용한 제어회로 설계가 참신하고 간단하여 소형, 경량으로 제작되어 현장의 3상 전동기 제어반에 용이하게 장착시킬 수 있는 장점이 주어진다. 그 결과 제안한 결상보호기는 3상 부하 특히 3상 전동기를 보호하고 전압불평형으로 발생하는 전기사고를 최소화시키고 그리고 전력계통의 안정적인 운전에 기여하게 된다. 제안한 방재 제어장치는 다양한 동작특성 실험을 통하여 그 성능과 신뢰성이 입증된다.

2. 새로운 3상 결상보호기 회로구성 및 특성 해석

제안한 3상 결상보호 장치를 그림 1에 나타낸다. 3상 전원 R, S, T 각 라인에 동일 용량의 커패시터를 성형 결선하여 3상 합성전위와 중성점 또는 접지(G)간의 전위차를 이용하고, 고속의 반도체 소자들을 이용한 새로운 개념의 결상보호용 제어회로 토폴로지를 제안한다.

회로구성은 성형 결선된 커패시터 C_1, C_2, C_3 와 전과정류를 위한 다이오드 $D_1 \sim D_4$, 전해 커패시터 C_4 그리고 방전용 저항 R_1 을 제어회로 전원단으로 구성되고, 전압 조정용 제너다이오드 D_2 와 트립회로 동작을 위한 릴레이 RL 그리고 전류제한용 저항 R_2 와 R_3 으로 제어회로를 구성하였다. 또한 릴레이 동작의 유무를 표시하기 위하여 LED를 부가하였다.

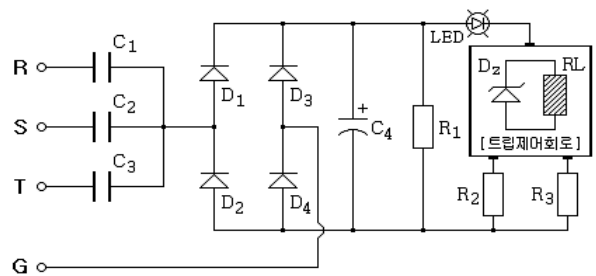


그림 1 제안한 결상보호기 회로토폴로지

Fig. 1 Circuit topology of a proposed open phase protector

제안한 결상 보호회로의 동작원리를 살펴보면, 정상상태에서

는 성형 결선된 3상 커패시터의 중성점 전압이 0[V]이므로 이상전압 검출없이 안정상태가 유지된다. 그러나 결상이나 3상 전압불평형이 발생하면 3상 커패시터의 중성점 전압이 나타나게 되고 다이오드 전파정류에 의한 전해 커패시터 C₄에는 직류 전압이 발생된다. 이 직류전압의 크기가 제너다이오드 D₂의 제너전압보다 크게 되면 제너다이오드는 도통되고 스위칭 소자 SCR의 게이트를 트리거(trigger)시킨다. 그리고 릴레이 RL이 여자(excitation)되고 릴레이 접점의 동작에 의한 트립회로를 동작시키는 일련의 동작원리를 가진다. 그리고 결상사고 또는 3상 전압불평형에 의한 보호회로의 동작을 표시하기위한 LED가 점등된다. 여기서 제너다이오드(D₂)는 일시적 전압변동이나 미세한 불평형 전압에 대해서 결상 보호회로가 동작하는 것을 방지하기위하여 일정 제너전압 이상에서만 동작하도록 설정하는 기능을 가진다. 여기서 제너다이오드의 제너전압 선정은 결상 또는 3상 불평형 전압을 고려하여 다음의 중성점 전압 \dot{V}_n 결과식[식(1)]을 이용하여, 현장의 전력계통 조건과 주위 환경을 고려하여 선정된다.

$$|\dot{V}_n| = |\dot{V}_a + \dot{V}_b + \dot{V}_c| \quad (1)$$

$$= \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 - V_1V_2 - V_2V_3 - V_3V_1}$$

정격전압 380[V], 3상 4선식 전력계통에서 전압불평형률은 30%이하로 규정하고 있으므로, 제안한 보호회로의 전압검출용 제너다이오드의 제너전압은 약 50~120[V] 사이에서 현장의 여건과 사용 환경을 고려하여 선정하면 된다.

그림 2는 제작한 결상 보호장치의 내부 회로도의 외형도를 나타낸다. 회로구성이 간단하여 소형·경량으로 제작되고 설치의 용이한 장점이 있다. 또한 제안한 결상보호기는 기술적 제어원리가 간단하며 고속형 반도체 소자들을 이용한 구조로 설계되어 감지속도가 우수하고 정밀도가 높아 그 신뢰성이 증대되는 이점이 주어진다.

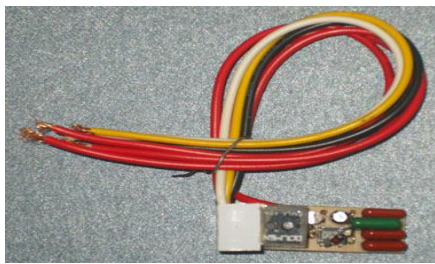


그림 2 제작한 결상보호기 내부회로 외형도
Fig. 2 Inner circuit photograph of manufactured OPPD

그림 3은 전동기 제어반과 제안한 결상 보호회로와의 결선도 일례를 보인다. 결상 또는 불평형 전압이 발생하였을 경우, 제안한 보호회로의 트립동작에 의한 전동기 구동용 전자접촉기를 강제적으로 트립시키는 원리를 가진다. 이는 3상 전원부의 결상 검출은 물론이고 전자접촉기의 노후와 접촉불량에서 발생하는 결상 또는 전압불평형 사고도 검출하기위하여 제안한 결상 보호장치는 전자접촉기와 3상 전동기 부하단 사이에 설치된다.

그림 4는 R, S, T 각상의 전압은 120° 위상차를 가지는 평형 전원이 공급되는 상태에서 인위적인 1상 결상을 유도하여 측정된 동작파형을 나타낸다. 3상 전동기 운전상태에서 측정된 파

형으로 결상시점에서 약 26ms에서 차단기 트립동작을 가진다.

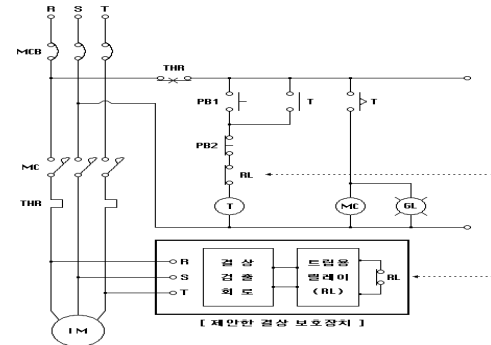


그림 3 전동기 제어회로와 제안한 OPPD 결선도
Fig. 3 Wiring connection diagram between motor control circuit and proposed OPPD

동일조건에서 측정된 열동 과전류계전기와 제안한 결상 보호장치의 동작특성을 분석해보면, 기존 열동 과전류계전기의 경우 전기화재의 요인이 되는 결상사고에 대해 지연된 동작 차단시간에 의한 비신뢰성과 특히 경부하시에는 오동작과 동작불능의 문제점을 보였으나, 제안한 결상 보호장치는 양호한 차단 응답 특성과 높은 신뢰성을 보였다.

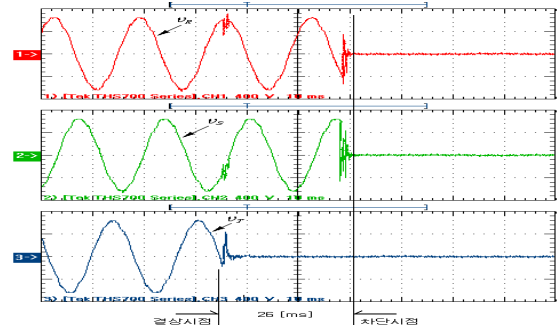


그림 4 1상 결상에 대한 제안한 결상보호기의 동작특성 파형
Fig. 4 Operation performance waveforms of proposed OPPD for 1-phase open-phase fault (3φ-motor load)

3. 결론

본 논문에서는 3상 부하를 이용하는 전력계통에서 결상이나 불평형 전압에 의한 전기화재를 최소화하고 전력계통의 안정적인 운전을 위한 새로운 결상 보호회로를 제안하였다. 제안한 결상 보호회로는 3상 성형 결선한 커패시터의 합성전위와 중성점의 전위차를 이용한 제어기법과 고속의 반도체 소자를 이용한 회로 토폴로지로 설계하여 감지속도와 정밀도를 향상시켰다. 특히 제어장치의 구조와 제어방식이 간단하여 소형·경량으로 설계제작이 가능하였고 이에 따른 현장의 3상 분전반이나 전동기 제어반에 용이하게 설치할 수 있는 장점이 부여되었다.

참고 문헌

- [1] 행정안전부, “2010년도 화재통계연보”, 2010.
- [2] 김성호, “저압모터는 왜 결상보호를 해야만 되는가”, 계장기술, No. 11, pp. 1 4, 2002.
- [3] 동양기술단, “전압위상감지방식 결상보호기술”, 전기의 세계, Vol. 55, No. 4, p. 16, 2006.