

산업현장 정전 및 결상사고 감지회로 토폴로지 연구

박동훈, 곽동걸, 정회중, 전호진*
 강원대학교, *비엘룩스(주)

A Study on Circuit Topology for the Electrical Power Failure and Open-Phase Fault Detection of Industrial Field

Dong-Hun Park, Dong-Kurl Kwak, Hoe-Joong Jeong, Ho-Jin Jeon*
 Kangwon National University, *BL Lux Co.

ABSTRACT

This paper proposes an open-phase fault control system using 3-phase neutral voltage. The proposed control system is designed as a new topology which uses the potential difference between neutral point and ground of three phase.

The open-phase detection system is also configured to Y-wiring of three capacitance devices of the same capacity to each line of three phase power source R-S-T. This paper also designs a mobile phone application for remote alarm of open-phase fault

1. 서 론

본 연구는 산업현장의 전기분전반 및 전동기 제어반에서 발생하는 결상사고의 피해를 최소화하기 위하여 새로운 결상사고 감지장치를 개발하고 결상사고 발생 시 현장 관리자의 모바일 폰으로 경보 메시지를 전송하는 IoT(internet of things) 기반의 결상사고 원격 알람시스템을 제안한다. 제안한 IoT 기반의 결상사고 감지장치는 소형·경량으로 제작되고 신뢰성과 정밀성이 우수하여 각종 전기분전반 및 전동기 제어반 내에 용이하게 부착되는 특징과 저가로 제작되는 장점을 가진다.

2. 연구개발 필요성 및 내용

2.1 연구개발 필요성

산업현장의 전기사고에서 단락, 절연열화 그리고 과전류사고는 전체 전기사고의 50%이상을 차지하고 있으며, 사고의 주요 원인은 3상 전원을 사용하는 전동기, 변압기 등의 결상으로 인한 전압불평형, 과부하, 절연노화 등이 주요 요인으로 분석되고 있다.^{[1][2]}

3상 부하를 이용하는 3상 전력계통에서 상간 단락이나 1상이 결상되면 계통에는 불평형 전류가 흐르거나 단상전력이 공급되어 변압기 및 전동기 코일의 과전류로 인한 화재발생은 물론이고 전력계통에 큰 피해를 주게 된다. 또한 산업현장에 많이 사용되는 3상 전동기의 경우, 1상이 결상될 경우 전동기에는 정격전류의 약 1.5배의 전류가 흐르게 되고 이에 따른 전동기 내부권선의 열화에 의한 화재의 원인으로 주목되고 있으며, 결상된 상태에서 전동기의 기동 투입 시에는 정격전류의 6~8배의 기동전류가 흐르게 되어 모터의 소손은 물론 심각한 재해

를 야기할 수 있다. 이러한 3상 전동기의 결상사고에 대한 보호 대책은 의무 사항이 아니어서 실제 현장에서는 거의 무방비한 상태이며, 현장 관리자의 인식과 필요에 따라 부가적으로 설치하는 실정이다. 산업현장의 결상사고를 예방하기 위하여 열동 과전류계전기(THR) 또는 전자식 모터 보호계전기(EMPR)를 대표적으로 사용하고 있으나, 이러한 보호장치들은 과전류나 과열이 발생되어야지만 검출이 가능하고, 또한 결상사고 시에 3초 이내에 트립 하도록 설계되어 그 응답속도가 느리고 현장에서의 잦은 오동작과 정밀도가 저하되는 문제점을 가진다. 특히 전자식 모터 보호계전기의 경우는 고가로 판매되고 있어 산업현장에서 관리자들의 필요성에 비해 사용정도는 저조한 편으로 분석되고 있다.^[3]

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구를 통하여 동작속응성이 우수하고 회로 토폴로지가 간결한 소형·경량의 결상사고 감지장치를 제안하고자 한다. 또한 결상사고 발생 시 현장 관리자의 모바일 폰으로 경보 메시지를 전송하는 IoT 기반의 결상사고 원격 알람시스템을 구축하여, 24시간 가동되는 자동화 제어반의 상시 감시가 가능하도록 하여, 결상사고로 인한 산업현장의 피해규모를 최소화하고자 한다.

2.2 연구개발 내용

제안한 결상사고 감지장치는 전기분전반 또는 전동기 제어반의 결상사고를 감지하기 위하여, 성형 결선된 3상 다이오드의 합성전압을 이용한 제어 알고리즘으로 설계되고, 회로 토폴로지를 그림 1에 나타낸다.

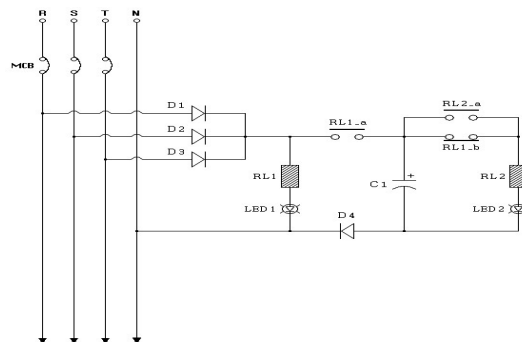


그림 1 3상 다이오드 합성전압을 이용한 결상사고 감지회로
 Fig. 1 open-phase fault detection circuit using 3-phase diode combined voltage

제안한 결상사고 감지장치의 회로구조는 3상 전원 R, S, T 각 라인에 동일 다이오드(D1~D3)를 성형 결선하고, 3상 다이오드 합성전압과 접지(N)간의 전위차를 이용하여 결상사고를 검출하는 회로구조를 가진다.

제안한 감지장치의 동작원리를 살펴보면, 정상상태에서는 3상 다이오드 합성전압(V_n)과 접지(N)간의 전압이 3상 반파 정류회로로 동작하여 그림 2와 같이 약간의 리플(ripple)을 포함한 일정한 전압을 가진다. 그러므로 합성전압에 의해 릴레이 RL1이 여자(excitation)되고 접점 RL1_a이 턴-온 되어, 커패시터 C1에는 상전압의 최댓값으로 전압이 충전되어 유지된다.

그러나 1상 또는 2상 결상사고가 발생하면 3상 다이오드 합성전압(V_n)이 그림 3과 그림 4와 같이 단상 반파 정류회로의 출력파형과 유사한 형태로써, 전압이 영으로 감소하는 구간이 발생하게 된다. 이 구간에서 릴레이 RL1은 소자(non_excitation) 되어 RL1_a이 턴-오프 되고, 커패시터 C1의 전압은 접점 RL1_b를 통하여 릴레이 RL2를 여자시킨다. 이에 접점 RL2_a는 턴-온 되어 릴레이 RL2의 자기를 유지시키게 된다. 이는 릴레이 RL1이 여자되어 접점 RL1_b가 턴-오프 되어도 릴레이 RL2의 여자를 유지시키는 역할을 하여, 그 다음에 오는 결상 사이클(cycle) 파형들에 대해 오동작을 방지하기 위한 것이다.

사용된 다이오드 D4는 결상사고가 발생하여 다이오드 합성전압이 영으로 감소될 때 커패시터 C1의 전압이 릴레이 RL1의 여자를 차단하기 위해 사용된다. 그리고 LED1은 정상상태 또는 전원공급 표시등으로 사용되고, LED2는 결상사고 발생 표시등이다.

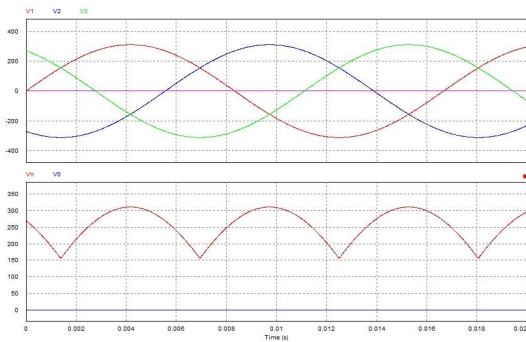


그림 2 3상 다이오드 합성전압 (정상상태)
Fig. 2 Three-phase diode combined voltage (steady state)

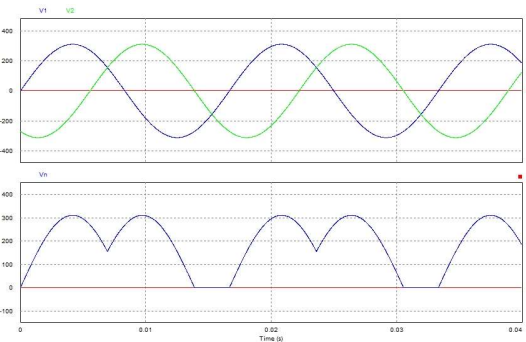


그림 3 3상 다이오드 합성전압 (1상 결상)
Fig. 3 Three-Phase diode combined voltage (1-open phase fault)

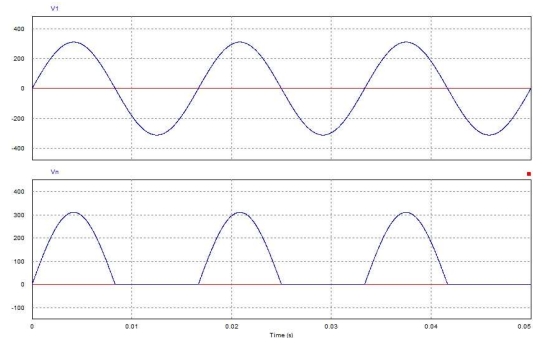


그림 4 3상 다이오드 합성전압 (2상 결상)
Fig. 4 Three-Phase diode combined voltage (2-open phase fault)

2.2.1 IoT 기반의 결상사고 원격 알람시스템 개발

본 연구에서는 결상사고가 발생하였을 경우 현장 관리자 또는 사용자의 모바일 폰으로 경보 메시지를 전송하는 IoT 기반의 결상사고 원격 알람시스템을 제안한다.

그림 5는 결상사고 감지장치와 IoT 원격 알람시스템의 전체 회로 토폴로지를 나타낸다.

IoT 결상사고 원격알람시스템의 동작원리는 결상사고가 발생하여 결상사고 감지회로의 릴레이 RL2가 여자되면 접점 RL2_a에 의해 IoT 마이컴이 동작된다. IoT 마이컴의 IoT 플랫폼 시스템이 구동되고 WiFi 무선통신에 의한 사용자 모바일 폰의 결상사고 알람 애플리케이션(application, 앱)이 구동되어 결상사고를 통보하는 일련의 동작원리를 가진다.^{[4][5]}

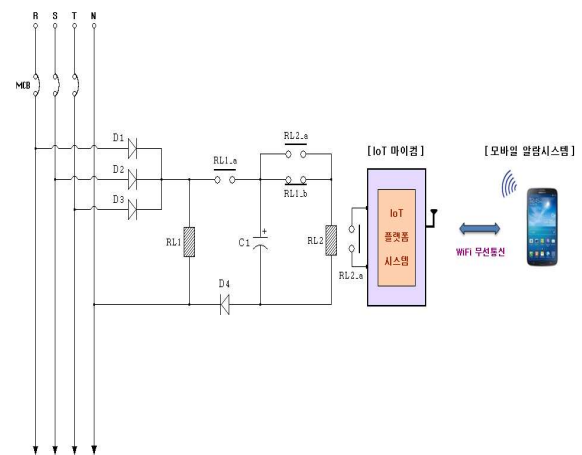
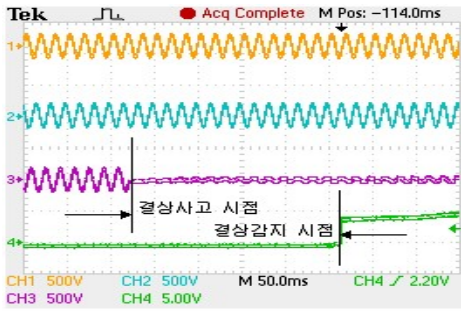


그림 5 IoT 기반의 결상사고 원격 알람시스템
Fig. 5 IoT-based open phase fault remote alarm system

3. 실험결과

제안한 결상사고 감지장치와 IoT 기반 결상사고 알람시스템의 동작특성을 분석하고 실용성을 검증하기 위하여 실험을 실시하였다.

그림 6은 R, S, T 각상의 전압이 120° 위상차를 가지는 평형전원이 공급되는 상태에서 1상 결상사고를 인위적으로 발생한 경우로써, 그림 6은 R상이 결상된 것으로 결상사고가 발생한 후 감지장치가 감지하는데 약 235ms의 응답특성을 보였다.



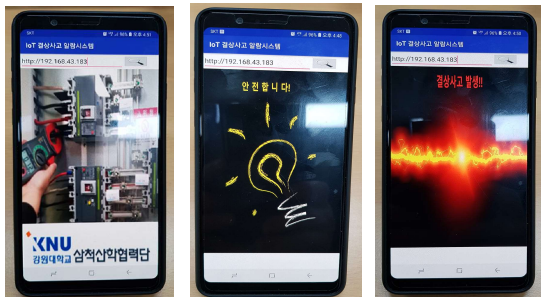
(감지 응답시간 : 235ms)

그림 6 R상 결상사고 동작특성 파형

Fig. 6 R-phase open-phase fault motion characteristic waveform

여러 차례의 결상사고 발생에 대해서도 제안한 결상사고 감지장치는 우수한 동작특성을 나타내었다. 또한 IoT 기반의 결상사고 알람시스템에 대한 신뢰성을 검증하기 위하여, 여러 차례의 결상사고를 시행하였고 이에 제안한 IoT 마이컴은 IoT 플랫폼 시스템을 구동시키고, WiFi 무선통신에 의한 모바일 폰의 앱이 구동하여 결상사고를 통보하는 양호한 성능특성을 보였다.

그림 7은 IoT 기반의 결상사고 알람시스템의 대기화면과 정상상태 그리고 결상사고가 발생한 상태에서의 모바일 폰 앱의 구동 화면을 보인다.



<모바일앱 대기화면 > <정상상태 동작화면 > <결상사고 발생상태 >

그림 7 모바일 폰 앱 구동 화면

Fig. 7 Mobile phone app activation screen

4. 결 론

본 논문에서는 전기화재의 주요원인이 되고 있는 결상 사고를 미연에 방지하여 수용가의 부하측 기기를 안정적으로 보호하기 위한 목적으로, 새로운 결상사고 감지회로를 개발하였으며, 또한 결상사고 발생 시 원격지 관리자의 모바일 폰으로 경보 메시지를 전송하는 IoT 기반의 원격알람 시스템을 개발하였다. 제안한 결상 제어장치는 삼상 중성점의 전위치를 이용한 회로 토폴로지로 설계하여, 제어장치의 구조와 제어방식이 간단한 장점이 주어졌고, 3상 다이오드 합성전압과 접지(N)간의 전위차를 이용하여 결상사고를 검출하는 회로를 이용하여 결상사고 감지에 대한 신뢰성을 향상시켰다.

- 본 연구는 중소벤처기업부에서 지원하는 2018년도 산학연협력 기술개발사업(No. S2658312)의 연구수행으로 인한 결과물임.
- 또한, 이 논문은 2019년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단 현장맞춤형 이공계 인재양성 지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2017H1D8A1028271).

참 고 문 헌

- [1] Ogawa Yoshihiko, "Protection System of 3-Phase Induction Motor", Japan Electric Engineer's Association Electric Technique Lecture, No. 8, pp. 1-6, 2010.
- [2] S. H. Kim, "Why do the low voltage motor must do open-phase protection, Instrumentation Technology, No. 11, 2002
- [3] S. H. Choi, D. K. Kwak, J. H. Kim, "A Study on Device Development for Electrical Fire Protection on Open Phase of Three-Phase Motor", J. of Korea Institute of Fire Sci. & Eng., Vol. 26, No. 1, pp. 61-67, 2012.
- [4] H. K. Lee, et al, "Developing IoT-based Construction Progress Measurement Prototype", J. of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 31, No.11, 2015.
- [5] S.M. Rue, "Survey on the Platform of IoT and Big Data", J. of Advanced Information Technology and Convergence, Vol. 13, No. 2, 2015.