

저압용 전력 케이블 결함 진단 장치 개발

전정채*, 김택희*, 최명일*, 김재진*, 유재근**, 오훈***

한국전기안전공사 전기안전연구원*, 제주국제대학교 전기공학과**, 원광대학교 전기공학과***

Development of Low Voltage Power Cable Fault Diagnosis System

Jeong-Chay Jeon*, Taek-Hee Kim*, Myeong-Il Choi*, Jae-Jin Kim*, Jae-Gen Yoo**, Hun Oh***

Electrical Safety Research Institute, KESCO*,

Department of Electrical Engineering, Jeju International University**,

Department of Electrical Engineering, Wonkwang University***

ABSTRACT

본 논문에서는 케이블 결함과 위치를 검출하기 위한 SSTDR(spread spectrum domain reflectometry) 기반의 진단 장치를 개발하였다. 개발된 진단 장치는 sstdr 기법의 검출 성능을 향상시키기 위해 시간-주파수 상관 분석을 이용하여 기준신호(reference signal)의 상관계수 최댓값 위치를 검출 한 후 기준신호를 제거하여 반사신호의 상관계수의 최댓값 위치를 검출하는 2단계 과정을 갖는다. 개발된 케이블 결함 진단 장치는 실증 시험장을 구축하고, 성능시험을 실시한 결과, ±1% 내·외의 오차를 갖는 것으로 확인되었다.

1. 서론

케이블 결함을 진단하기 위한 방법으로 반사파 계측법이 많이 사용되고 있다^[1]. 반사파 계측법은 케이블에 측정용 신호인 펄스를 인가한 후 케이블의 중단 혹은 특성 임피던스가 변화하는 이상점에서 반사파 생성하게 되고, 반사된 펄스를 검출하는데 걸리는 시간을 측정하여 케이블의 중단 혹은 이상점의 거리를 계산하게 되며, 고장의 형태(단선 혹은 단락)은 반사되어 검출된 펄스의 모양을 통해 판단하게 된다^[2].

케이블 고장 위치까지의 거리를 계산하기 위해 케이블에서 전자파가 진행하는 속도를 나타내는 변수인 VOP(velocity of propagation)를 사용하여 식 (1)로 계산한다.

$$D = \frac{V_p \times (t_r - t_i)}{2} \quad (1)$$

D = 케이블 길이

V_p = 전파속도(VOP)

t_r = 반사파 검출 시간

t_i = 주입신호(기준신호) 시작 시간

이러한 반사파 계측법을 이용한 케이블 고장 위치 검출 장치는 대부분 TDR(time domain reflectometry) 방식이다. TDR은 인가신호로 펄스를 사용하고, 사용자가 반사되는 신호의 파형을 보고 고장 유형과 거리를 분석하기 때문에 거리가 멀거나 노이즈 환경에서 반사파형이 변형될 경우, 사용자의 숙련도에 따라 고장을 잘못 판단하거나

오차가 커질 우려가 있다^[3].

이러한 TDR의 문제를 극복하기 위해 방법 중 하나로, 대역확산 기술을 응용하여 케이블에 인가되는 신호로 수열을 사용하는 SSTDR 기법이 개발되었다^[4].

본 논문에서는 SSTDR에서 같은 길이의 수열을 사용하더라도 보다 먼 거리의 고장 위치 탐지가 정확하게 이루어질 수 있도록 인가 신호 제거 기법과 시간-주파수 상관(time-frequency correlation) 분석을 적용한 케이블 결함 진단 장치를 개발하였고, 그 성능 시험을 실증 시험장을 구축하여 실시하였다.

2. 케이블 결함 진단 장치 설계 및 개발

2.1 케이블 결함 진단 장치의 알고리즘

SSTDR의 케이블 고장 판별 및 위치 탐지 성능을 향상시키기 위하여 그림 1에서와 같이 기준신호를 제거하고 시간-주파수 상관 분석 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법은 먼저 그림 1에서와 같이 기준신호와 반사신호의 시간-주파수 상관 분석을 이용하여 기준신호의 최댓값의 위치 τ_1 를 찾아 기준신호의 위치를 구한다. 다음으로 반사된 신호 $r(t)$ 로부터 기준신호 $s(t)$ 를 제거하여 $a(t) = r(t) - s(t - \tau_1)$ 를 만들고 $a(t)$ 와 $s(t)$ 의 시간-주파수 상호 상관함수의 최댓값 τ_2 를 찾는다. 마지막으로 최댓값간의 시간 차이 $\tau_D = \tau_2 - \tau_1$ 를 계산하여 케이블 고장위치까지의 거리를 계산하게 된다.

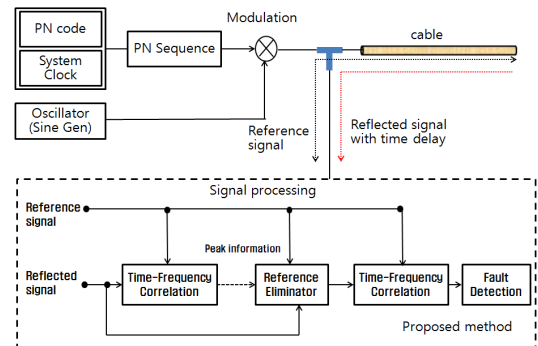


그림 1 제안된 방법

Fig. 1 The proposed method

1.2 케이블 결함 진단 장치 설계 및 개발

그림 2는 케이블 결함 진단 장치의 기본 구조로써 시간영역 및 시간-주파수 영역의 반사파를 도출하기 위한 기준신호 발생부와 반사신호를 수신 증폭하여 신호처리부로 전송하는 수신신호 처리부, 처리된 신호를 알고리즘화 하는 FPGA부로 구성 되어 있다.

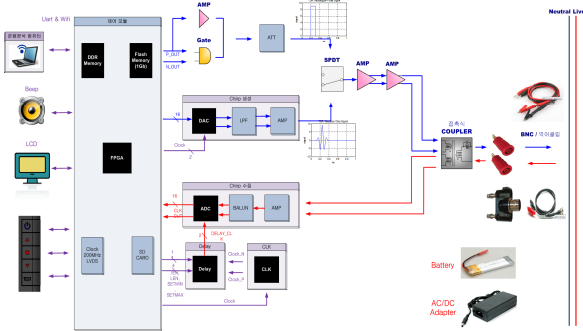


그림 2 제안된 시스템의 기본 구조
Fig. 2 Basic structure of the proposed system

그림 2의 시스템은 앞서 제안한 SSTDR의 성능 향상 알고리즘을 기반으로 12.1인치 터치 패널 장치를 사용하여 그림 3과 같이 개발되었다. 그림 3과 같이 개발된 케이블 결함 진단 장치는 인가신호 제거 기법을 이용한 상관 분석을 통해 고장 유형과 위치를 자동으로 판별할 수 있는 것이 큰 특징이다.



그림 3 개발된 시스템
Fig. 3 The developed system

1.3 케이블 결함 진단 장치 성능 시험 및 결과

개발된 케이블 결함 진단 장치의 성능 시험을 위해 그림 3과 같이 100m 케이블을 매설하였고, 최대 거리 실험을 위해 2km 케이블을 설치하였다.



그림 4 개발된 시스템 실증 시험장
Fig. 4 Test field for testing the developed system

표 1에서와 같이 개발된 장치의 성능시험은 탐지오차, Resolution(케이블 복합 고장 시 복합 고장에 대한 고장 판단 여부를 판별), 측정거리 시험을 실시하였고, 각각의 시험 종류에 사진과 활선상태에서 10회 측정하여 평균값을 구하여 오차를 계산하였다. 여기서 Resolution 시험은 100m 위치에 접촉불량을 발생시키고 102m 위치는 단선상태를 측정하였다.

시험결과 사진 및 활선 상태에서 단선, 합선 및 접촉 불량 고장 검출이 가능하였고 오차율도 최대거리 2km이하에서 최대 1.34%이하로 나타났다.

표 1 시험방법 및 결과
Table 1 Test method and results

| 시험종류 | 고장종류 (거리) | 케이블 상태 | 측정결과 (m) | 오차 (m) | 오차율 (%) |
|------------|-------------|--------|----------|--------|---------|
| 탐지 오차 | 단선(100m) | 사진 | 99.74 | 0.26 | 0.26 |
| | | 활선 | 100.76 | 0.76 | 0.76 |
| | 합선(100m) | 사진 | 100.67 | 0.67 | 0.67 |
| Resolution | 접촉불량 (100m) | 사진 | 99.4 | 0.6 | 0.6 |
| | | 활선 | 101.34 | 1.34 | 1.34 |
| | 단선(102m) | 사진 | 101.37 | 0.63 | 0.32 |
| | | 활선 | 103.16 | 1.16 | 1.14 |
| 측정거리 | 단선(2km) | 사진 | 2024.25 | 24.25 | 1.21 |
| | | 활선 | 2018.72 | 18.72 | 0.9 |
| | 합선(2km) | 사진 | 2025.91 | 25.91 | 1.3 |

3. 결론

본 논문에서는 저압 전력 케이블이 고장 종류와 위치를 정확히 검출할 수 있는 시스템을 개발하였다. 지금까지의 TDR 기반의 케이블 결함 진단 장치와 달리, 케이블 고장 유형과 위치를 자동으로 판별하는 기능을 포함시킴으로써 사용자에게 따른 고장 및 위치 판별 오류 문제를 하였다. 개발된 케이블 결함 진단장치는 향후 것으로 예상되며, 현장 테스트를 거쳐 상용화를 진행할 예정이다.

이 논문은 2013년도 민·군겸용기술사업(Dual Use Technology Program)의 연구비 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] G. H. Shirkoohi, K. Hansan, "Enhanced TDR Technique for Fault Detection in Electrical Wires and Cables," 2nd International Symposium on NDT in Aerospace 2010
- [2] N. G. Paulter, "An Assessment on the Accuracy of Time-Domain Reflectometry for Measuring the Characteristic Impedance of Transmission Lines," IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. 50, No. 5, pp. 1381-1388, 2001, Oct
- [3] Cynthia Furse, "A Critical comparison of reflectometry methods for location fo wiring faults," Smart Structure and Systems, Vol. 2, No. 1, pp. 25-46, 2006
- [4] Paul Smith, "Spread spectrum time domain refletometry," Ph. D. dissertation, Dept. Elect. Comput. Eng., Utah Univ., Logan, 2003