

# 케이블 고장 위치 검출을 위한 STDR 및 SSTDR의 성능 향상

한가람<sup>1</sup>, 김재진<sup>1</sup>, 전정채<sup>1</sup>, 최명일<sup>2</sup>

한국전기안전공사 전기안전연구원

한국폴리텍대학 구미캠퍼스 전기과

## Performance Improvement of STDR and SSTDR for Cable Fault Location Detection

Jae Jin Kim<sup>1</sup>, Ga Ram Han<sup>1</sup>, Jeong Chay Jeon<sup>1</sup>, Myeong Il Choi<sup>2</sup>

Electrical Safety Research Institute, KESCO<sup>1</sup>

Gumi Campus of Korea Polytechnics<sup>2</sup>

### ABSTRACT

본 논문에서는 케이블 고장 위치 검출을 위해 사용되고 있는 STDR(sequence time domain reflectometry) 및 SSTDR (spread spectrum TDR) 기법의 성능을 향상시키기 위한 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 시간 주파수 상관 분석을 이용하여 기준신호(reference signal)의 상관계수 최댓값 위치를 검출한 후 기준신호를 제거하여 반사신호의 상관계수의 최댓값 위치를 검출하는 2단계 과정을 갖는다. 제안된 알고리즘은 저압 전력 케이블의 단선 및 합선 고장 검출 실험에서 보편적인 STDR 및 SSTDR 방법과의 성능 비교를 통해 입증하였다.

### 1. 서론

STDR 및 SSTDR은 자기상관(Auto correlation) 성질이 좋은 의사 잡음 수열(PN code) 신호 또는 의사 잡음 수열을 정현파 신호를 사용하여 변조(modulation)한 신호를 케이블에 기준신호(reference signal)로 인가한 뒤, 고장 지점에서 반사되어 되돌아오는 신호와의 상호 상관(cross correlation)을 통해 상관계수의 최댓값을 계산하고 최댓값 간의 시간차와 위상을 검출하여 고장 위치와 고장 유형을 판별한다<sup>[1, 3]</sup>. 이러한 SSTDR은 케이블 고장 위치가 멀어 신호 감쇠가 클 경우 고장의 정확한 구분이 불명확해지고 고장 위치 계산이 어려워져 오 탐지율이 높아지게 된다.

본 연구에서는 STDR 및 SSTDR을 이용한 케이블 고장 검출에 있어 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 사용하였고, 그 성능을 실험을 통해 입증하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 STDR 및 SSTDR의 개선 알고리즘

STDR 및 SSTDR은 시간 상관 분석에 의해 인가신호와 반사신호의 시간차를 구하고 고장 위치를 계산하게 된다. 이러한 방법은 시간 영역에서 분석하기 때문에 고장 거리가 멀어 신호 감쇠가 크거나 경미한 고장으로 인해 반사신호가 작게 될 경우, 인가신호에 대한 상관함수 부분의 사이드로부(sidelobe)가

반사신호에 대한 상관함수 부분의 메인로부(mainlobe)보다 크기 때문에 정확한 반사신호의 위치를 검출하기 어렵게 된다.

STDR 및 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 반사신호에 대해 위그너 분포(WVD, Wigner Vill distribution)를 이용하여 시간 주파수 상관분석을 이용하여 기준신호의 최댓값의 위치  $\tau_1$ 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  $\tau_2$ 를 찾는다. 마지막으로 최댓값간의 시간 차이  $\tau_D = \tau_2 - \tau_1$ 를 계산하여 케이블 고장위치까지의 거리를 계산하게 된다.

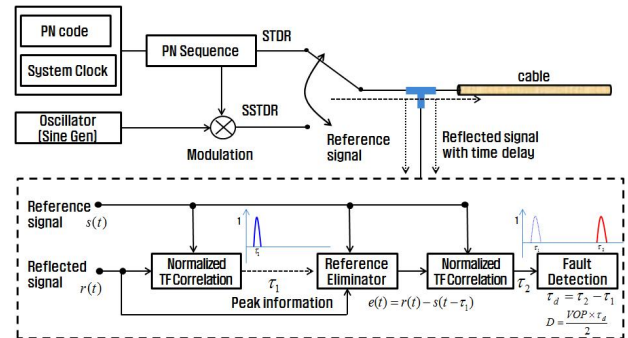


그림 1 제안된 방법  
Fig. 1 The proposed method

#### 2.2 실험 및 결과

STDR 및 SSTDR을 이용한 케이블 고장 위치 검출 실험을 위해 그림 2에서와 같이 NI사의 임의파형 발생장치 모듈, 디지털 오실로 스코프 모듈 그리고 제어용 PC로 구성된 실험 시스템을 구축하였다. 실험을 위해 사용된 NI사의 임의파형 발생장치와 디지털 오실로 스코프는 LabView 프로그램을 이용하여 PC에서 신호 발생 및 측정의 제어가 가능하다. 케이블 인가되는 PN sequence는 길이 7(M=3)인 M 수열을 사용하였고, 1chip의 길이는 10으로 하여 최종 수열의 길이는 70으로 하였다. 이러한 수 인가신호는 NI사의 LabView를 이용하여 개발된

프로그램을 통해 생성하고 임의파형 발생장치를 제어하여 케이블에 인가되며, 반사된 신호는 디지털 오실로 스코프 모듈을 이용하여 측정하게 된다.

케이블에 신호를 인가하고 반사된 신호를 수신하기 위한 임의파형 발생장치 및 오실로 스코프에 연결된 케이블 접속점까지의 신호선의 길이는 약 2m이고, 그 연결은 그림 3과 같이 T connector를 이용하였다. 그리고 실험 대상 케이블은 FR CV 2C6SQ 59.9m, 120m, 152.5m 그리고 FR CV 3C10SQ 200m로 단선 및 합선 고장을 발생시켜 사용하였다.

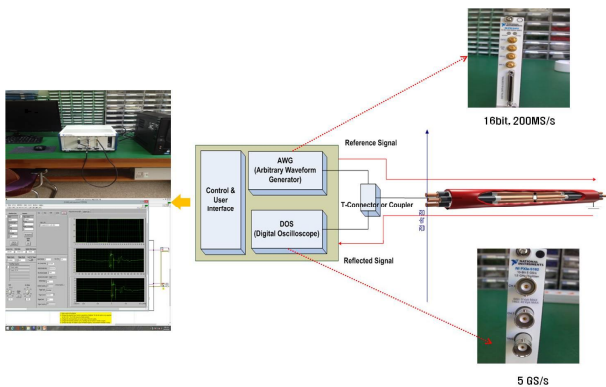


그림 2 실험 시스템 구성  
Fig. 2 Experimental system setup

보편적인 방법과 제안된 방법을 이용한 실험 결과를 표 1과 2에 나타내었다. 케이블 고장 검출 실험 결과 보편적인 STDR 및 SSTDR 두 가지 모두 120m 이상부터는 주변 접속점의 상관계수나 기준신호의 부엽보다 반사신호의 상관계수가 작아서 자동으로 고장을 판별하고 거리를 계산하는데 있어 오류가 발생하였다.

하지만 기준신호 제거와 시간 주파수 상관 분석 알고리즘을 적용한 결과 실험 대상 케이블에서 거리가 멀더라도 고장점의 상관계수 최댓값이 기준신호 제거와 시간 주파수 상관 분석 및 정규화 효과로 인해 거의 1에 가까워 고장 구분이 명확해졌다. 특히, 활선 상태에서 실험결과 보편적인 STDR과 SSTDR이 갖는 문제를 해결하여 고장 구분이 명확하게 되었고 측정 오차도 비교적 낮게 나타났다.

표 1 활선 상태에서 보편적인 STDR과 제안된 STDR을 이용한 케이블 고장 검출 실험 결과

Table 1 Experimental results of cable fault detection through the conventional and proposed STDR in live line

케이블 종류 및 길이	고장 종류	STDR_M=3(L=7)			
		보편적인 방법		제안된 방법	
		측정 거리 (m)	오차(%)	측정 거리 (m)	오차(%)
CV2C6SQ_59.9m	단선	59.06	0.14	59.06	0.14
	합선	59.822	0.13	59.822	0.13
CV2C6SQ_120m	단선	Error	Error	120.2	0.17
	합선	120.2	0.17	120.2	0.17
CV2C6SQ_152.5m	단선	Error	Error	154.31	0.12
	합선	Error	Error	154.31	0.12
CV3C10SQ_200m	단선	Error	Error	198.924	0.5
	합선	Error	Error	202.014	1.01

표 2 활선 상태에서 보편적인 SSTDR과 제안된 SSTDR을 이용한 케이블 고장 검출 실험 결과

Table 2 Experimental results of cable fault detection through the conventional and proposed SSTDR in live line

케이블 종류 및 길이	고장 종류	SSTDR_M=3(L=7)			
		보편적인 방법		제안된 방법	
		측정 거리 (m)	오차(%)	측정 거리 (m)	오차(%)
CV2C6SQ_59.9m	단선	57.155	4.58	59.06	1.4
	합선	59.06	1.4	59.06	1.4
CV2C6SQ_120m	단선	Error	Error	120.02	0.017
	합선	Error	Error	118.115	1.57
CV2C6SQ_152.5m	단선	Error	Error	150.5	1.31
	합선	Error	Error	150.5	1.31
CV3C10SQ_200m	단선	Error	Error	197.78	1.11
	합선	Error	Error	197.78	1.11

### 3. 결론

본 논문에서는 STDR 및 SSTDR를 이용한 케이블 고장 검출 방법에서 신호 감쇠 문제로 발생할 수 있는 케이블 고장과 거리 측정의 오차를 감소시키기 위해 시간 주파수 상관분석과 기준 신호를 제거하는 기법을 제안하였고 저압 케이블의 고장 검출 실험을 통해 그 성능을 입증하였다. 제안된 기준신호 제거 기법과 시간 주파수 상관 기법을 적용한 경우 기준신호의 위치를 먼저 구하고 나중에 기준신호가 제거된 반사신호의 상관계수를 정규화하여, 반사신호가 작더라도 상관계수 최댓값이 거의 1에 가까워져 사이드로브로 인한 오 탐지 문제를 해결할 수 있었고, 고장의 종류와 위치의 자동 탐지가 가능한 것을 확인할 수 있었다.

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

### 참고 문헌

- [1] Chirag R. Sharma, Cynthia Furse and Reid R. Harrison, "Low Power STDR CMOS Sensor for Location Faults in Aging Aircraft Wiring," IEEE Sensors Journal, Vol. 7, No. 1, pp. 43-50, Jan. 2007
- [2] Paul Smith, Cynthia Furse and Jacob Gunther, "Analysis of Spread Spectrum Time Domain Reflectometry for Wire Fault Location," IEEE Sensors Journal, vol. 5, no. 6, pp. 1469-1478, Dec. 2005
- [3] Cynthia Furse, Paul Smith, Mehdi Safavi and Chet Lo, "Feasibility of Spread Spectrum Sensors for Location of Arcs on Live Wires," IEEE Sensors Journal, Vol. 5, No. 6, pp. 1445-1450, Dec. 2005.