

## 인가신호 제거를 이용한 STDR의 성능개선

김택희\*, 전정채\*, 유재근\*  
한국전기안전공사 전기안전연구원\*

### Performance Improvement of STDR using the Removal of a Reference Signal

Taek-Hee Kim\*, Jeong-Chay Jeon\*, Jae-Geun Yoo\*  
Electrical Safety Research Institute affiliated with KESCO\*

**Abstract** - 본 논문에서는 케이블 고장 종류 및 위치를 탐지하는 기법으로 펄스 신호를 수열로 확산시켜 사용하는 STDR 기법의 측정성능 향상을 위해 인가신호 제거방식을 제안한다. 케이블의 고장위치가 가까워 인가신호와 반사 신호가 중첩이 되거나 반사 신호의 감쇠로 인해 고장종류와 위치추정이 어려울 때 제안한 인가신호 제거방식을 사용하면 고장위치 탐지성능을 크게 개선시킬 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} c_n p_{T_c}(t - nT_c) \quad (2)$$

$$p_{T_c}(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < T_c \\ 0, & \text{그밖} \end{cases} \quad (3)$$

### 1. 서 론

케이블 고장에 의한 과급사고를 예방하기 위해 다양한 케이블 결함 진단 및 위치를 탐지 하는 기법으로는 펄스신호를 사용하는 TDR(time domain reflectometry), 가우시안 칩(chirp)신호를 사용하는 TFDR(time-frequency domain reflectometry), 펄스를 수열로 확산시켜 사용하는 STDR(sequence time domain reflectometry), 수열을 정현파로 변조시켜 사용하는 SSTDR(spread spectrum time domain reflectometry) 기법이 있다.

TDR 기법은 가장 간단한 탐지 기법이지만 펄스신호가 감쇠에 취약하여 원거리 고장에서 탐지성능이 떨어지는 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 펄스신호를 수열(spreading sequence)로 확산하는 기법인 STDR과 원하는 주파수 대역을 활용할 수 있도록 하기 위해 확산수열에 정현파 변조를 적용한 SSTDR 기법이 제안되었다[1-4].

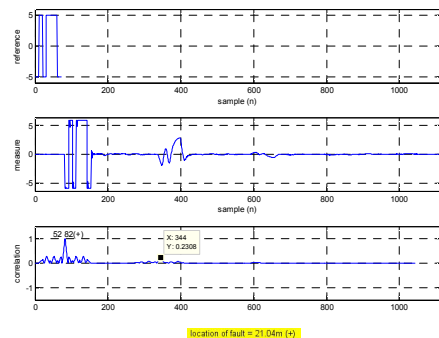
STDR 기법은 자기상관 성질이 좋은 수열을 케이블에 인가한 뒤 고장 지점에서 반사되어 되돌아오는 신호의 도착시간과 위상을 관측하여 고장위치와 고장유형을 탐지하는 기법이다. 이러한 STDR 기법도 결국 펄스의 연속적인 수열을 사용하므로 신호 감쇠에 따른 반사 신호의 상관계수 피크 검출에 문제가 발생하여 오 탐지 가능성이 존재하게 된다. 따라서 본 논문에서는 인가신호 제거를 통해 감쇠된 반사신호의 상관값을 정규화하여 피크치를 1에 가깝게 만들어 고장 판별 오류 문제를 해결하도록 하였다.

여기서,  $T_c$ 는 칩 구간(chirp duration)이다. 또한  $r(t)$ 를 신호 인가 후 전력선에서 관측된 신호라 할 때, 인가신호  $s(t)$ 와 관측신호  $r(t)$ 의 시간영역 상관함수  $R_{sr}(\tau)$ 는 다음과 같다.

$$R_{sr}(\tau) = \frac{1}{NT_c} \int_0^{NT_c} S(t)r^*(t+\tau)dt \quad (4)$$

$r(t)$ 에  $s(t)$ 의 반사신호가 포함되어 있을 때에는 고장위치의 상관함수 값이 크게 나타나므로 식(4)를 이용하면 반사신호의 시간지연 값인  $\tau_D$ 를 얻을 수 있고, 따라서 고장지점  $d$ 를 찾아낼 수 있다[5].

아래 그림 1에서 STDR 기법을 이용하여 200m 단선인 CV4C6SQ 케이블에 m-sequence 신호를 인가하여 고장으로 인해 반사된 신호가 수신되고, 상관기(Time-correlation)에서 반사신호의 도착 지연 값과 위상을 관측하였다. 그림 1에서의 반사신호의 감쇠로 인하여 STDR 기법의 성능저하가 심해져 고장위치 추정이 어려울것 알 수 있다.



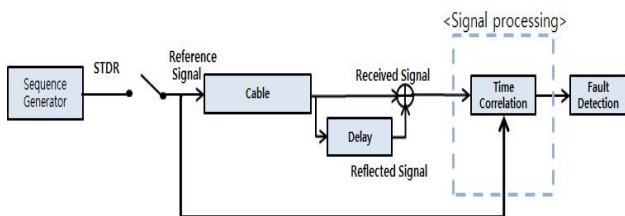
<그림 2> STDR을 이용한 케이블 고장 검출

### 2. STDR

STDR 기법은 그림 1에서와 같이 자기상관 성질이 좋은 수열을 인가신호로 사용하여 케이블에 인가한 뒤 고장 지점에서 반사된 신호의 도착시간 지연 값과 위상을 관측하여 고장위치와 고장유형을 탐지하게 되며 고장지점까지의 거리  $d$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d = \frac{v_p \times \tau_D}{2} \quad (1)$$

여기서,  $v_p$ 는 전력선에서 인가신호의 전파속도 VOP(Velocity of Propagation)이고  $\tau_D$ 는 신호가 인가된 지점에서부터 고장지점에서 반사되어 되돌아오기까지 걸린 시간이다.

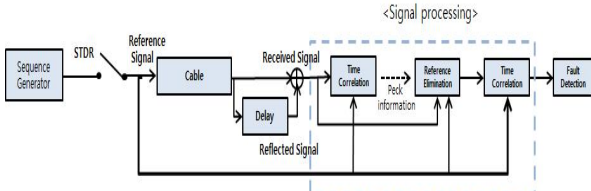


<그림 1> STDR 기법의 블록도

길이가  $N$ 인 이진수열  $c = [c_0, c_1, \dots, c_{N-1}]$ 를 사용한 인가신호  $s(t)$

### 3. 인가신호 제거 기법

STDR에서 케이블 고장위치가 멀어서 감쇠가 크거나 경미한 고장 유형에서 반사신호의 세기가 약한 경우에는 성능저하가 심해진다. 이러한 상황을 극복하기 위해 그림 3에서와 같이 상관함수  $|R_{sr}(\tau)|$ 의 최대 극대값 위치  $\tau_1$ 를 구하여 인가신호의 위치를 얻은 후 관측신호  $r(t)$ 에서 인가신호  $s(t)$ 를 제거하여  $e(t) = r(t) - s(t - \tau_1)$ 를 만들고,  $e(t)$ 와  $s(t)$ 의 상관함수  $|R_{se}(\tau)|$ 에서 최대 극대값 위치  $\tau_2$ 를 구하여 최종적으로  $\tau_D = \tau_2 - \tau_1$ 를 얻는 두 단계 방식을 제안한다. 제안한 방식은 고장위치가 가까워서 인가신호와 반사 신호가 중첩된 경우에 인가신호를 제거함으로써 남아있는 반사 신호의 위치를 쉽게 찾아낼 수 있게 하고, 거리가 멀거나 경미한 고장에서 감쇠가 심하여 반사신호의 상관크기가 작을 경우에도 상대적으로 큰 인가신호를 제거함으로써 고장의 위치를 탐지할 수 있게 한다.

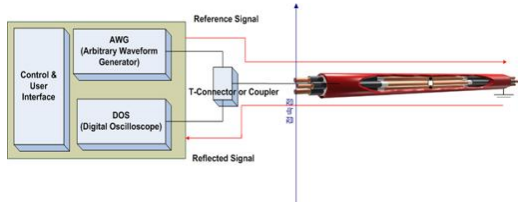


<그림 3> 인가신호 제거를 이용한 STDR 기법의 블록도

#### 4. 실험 및 결과

##### 4.1 실험 회로 구성

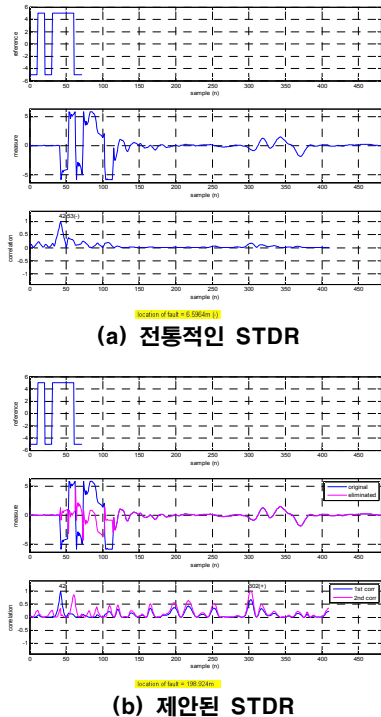
STDR 기법을 이용한 케이블 고장 위치 검출 실험을 위해 그림 4에서와 같이 NI사의 PXI(PCI eXtensions for Instrumentation) 타입으로 임의파형 발생장치 모듈, 디지털 오실로 스코프 모듈 그리고 제어용 PC로 구성된 실험 시스템을 구축하였다. 실험을 위해 사용된 NI사의 임의파형 발생장치와 디지털 오실로 스코프 모듈은 LabView 프로그램을 이용하여 PC에서 신호 발생 및 측정의 제어가 가능하다.



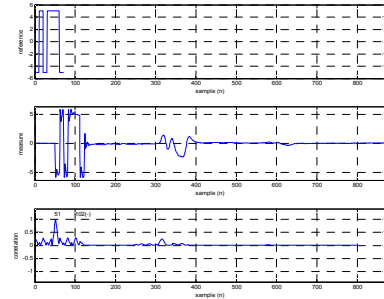
<그림 4> 실험 회로 구성

##### 4.2 실험 결과

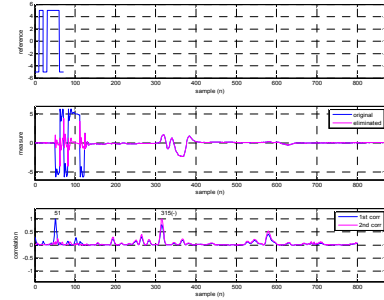
그림 5 및 6은 CV3C10SQ 케이블의 200 m 위치에 단선과 합선 고장 검출 실험 결과로써 전통적인 STDR의 경우는 그림 5(a) 및 6(a)에서 보는 바와 같이 단선 및 합선 고장 모두에서 거리가 더욱 멀어짐에 따라 반사신호의 파형변화와 크기의 감쇠가 더욱 커져 고장 위치에서의 상관계수의 최대값이 주변 접속점들 보다 작아져 고장의 구분과 고장 거리의 자동 계산에 오류가 발생하였다. 하지만 본 논문에서 제안된 알고리즘을 적용한 STDR의 경우는 그림 5(b) 및 6(b)에서 보는 바와 같이 고장 위치의 상관계수 피크값이 거의 1에 가까워 오류가 발생하지 않았고 단선 고장의 경우 198.924 m로 오차가 0.5 %로 나타났고 합선 고장의 경우 202.0136 m로 오차가 1.01 %로 매우 낮게 나타났다.



<그림 5> CV3C10SQ 케이블의 200 m 위치에 단선 고장 시험 결과



(a) 전통적인 STDR



(b) 제안된 STDR

<그림 6> CV3C10SQ 케이블의 200 m 위치에 합선 고장 시험 결과

#### 5. 결론

본 논문에서는 STDR의 탐지성능을 높이기 위하여 인가신호의 위치를 파악하여 제거 한 후 두 번째 상관을 통해 반사신호의 위치를 파악하는 기법을 제안하였다. 반사신호의 감쇠 및 중첩으로 인해 STDR 기법으로는 거리가 멀 경우 탐지 오류가 발생하였던 것과는 달리 제안된 기법을 사용하면 비록 신호 감쇠가 발생하더라도 오 탐지 문제와 거리 계산 오차 발생 문제를 해결할 수 있을 것이다. 이와 같은 제안된 기술을 적용하여 제품화 되는 경우 다양한 분야의 케이블 고장 종류와 위치를 추정 할 수 있을 것으로 기대된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] R.A. Guinee, "A novel transmission line test and fault location methodology using pseudorandom binary sequences", Proc. IET Irish Conf. Sign. Syst., pp. 350-355, Galway, Ireland, June 2008.
- [2] P. Smith, C. Furse, and J. Gunther, "Analysis of spread spectrum time domain reflectometry for wire fault location", IEEE Sensors Journ., vol. 5, no. 6, pp. 1469-1478, Dec. 2005.
- [3] 두승호, 광기석, 박진배, "절연전선 결함 위치 추정에 대한 시간-주파수 영역 반사파 계측법의 적용", 대한전자공학회논문지, 제57권, 제2호, pp. 268-275, 2월, 2008.
- [4] 이춘구, 윤태성, 박진배, "시간-주파수 영역 반사파 계측법 기반 활선 상대 지중 전력 케이블의 중성선 결함 위치 추정 연구", 대한전자공학회논문지, 제62권, 제2호, pp. 239-245, 2월, 2013.
- [5] 한정재, 박소령, "여러 가지 수열을 적용한 STDR/SSTDR 기법의 성능 비교 및 개선", 한국통신학회논문지, 제39권, 제11호, pp. 637-644, 11월, 2014.