

저압배선의 이상 진단을 위한 시간-주파수영역 반사파계측 방법의 기준신호 설계기법 연구

이춘구*, 광기석*, 박진배*, 윤태성**
 연세대학교 전기전자공학과*, 창원대학교 전기공학과**

Reference Signal Design of TFDR for Low Voltage Power Transmission Line

Chun Ku Lee*, Ki Seok Kwak*, Jin Bae Park*, Tae Sung Yoon**
 Dept. of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei Univ.*, Dept. of Electrical Engineering, Changwon National Univ.**

Abstract -In this paper, we introduce a gaussian enveloped linear chirp signal that can change parameters for consideration of target material characteristics. Using the gaussian enveloped linear chirp signal, time-frequency domain reflectometry is able to detect fault location in power transmission line. we suggest design method of reference signal for power transmission line fault detection. This method is verified by locating fault in HIV low voltage power transmission line.

1. 서 론

전기로 인한 화재는 전체 화재 원인 중에서 높은 비율을 차지하고 있는데 주로 저압배선의 결함에 의한 것이다[1]. 전기화재의 발생을 줄이기 위해서는 저압배선의 상태 감시 기술이 필수적이다. 기존의 저압배선의 상태 감시 기술은 저압배선의 결함 유무만을 알 수 있었지만 반사파 계측방법은 저압배선에서의 결함 유무와 위치를 알 수 있다. 반사파 계측 방법은 시간영역 반사파 계측 방법, 주파수 영역 반사파 계측 방법, 그리고 시간-주파수 반사파 계측 방법(Time-Frequency Domain Reflectometry)으로 분류 할 수 있다. 시간-주파수 계측방법은 앞에서 언급한 반사파 계측 방법에 비하여 대상 매질의 특성에 알맞은 기준신호를 설계 할 수 있으며 주변 노이즈에 대하여 강인하다는 특성이 있다 [2]. 따라서 본 논문에서는 시간-주파수 반사파 계측 방법으로 저압배선의 결함 위치를 측정하기 위한 최적의 기준신호를 설계하고 실험을 통해 우수성을 검증하기로 한다.

2. 본 론

2.1 시간-주파수 반사파 계측 방법

시간-주파수 영역 반사파 계측 방법은 다음과 같은 과정을 통하여 이루어지게 된다. 매질의 특성과 시스템의 제약 조건을 고려하여 설계된 기준신호를 대상 도선에 인가하고 매질의 임피던스 불일치점에서 반사되어온 신호를 취득하게 된다. 그 다음 단계로 기준신호와 취득한 반사파 신호와의 위그너-빌 시간-주파수 분포함수(Wigner-ville Time-Frequency Distribution Function)를 구하게 된다. 그리고 시간-주파수 영역에서의 기준신호와 반사파 신호와의 상호 상관관계를 구한후 피크값의 시간차를 이용하여 대상 저압 배선의 결함 위치를 측정하게 된다.

2.1.1 기준신호 설계 시 고려사항

시간-주파수 영역에서 사용하는 기준신호는 가우시안 포락선 선형 첩 신호(Gaussian enveloped linear chirp signal)이다. 가우시안 포락선 선형 첩 신호는 식(1)과 같이 정의된다.

$$s(t) = \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^{\frac{1}{4}} e^{-\frac{\alpha(t-t_0)}{2} + \frac{j\beta(t-t_0)}{2} + jw_0(t-t_0)} \quad (1)$$

여기에서 α 는 신호의 지속시간, t_0 는 중심 시간, β 는 주파수 증가 기울기를 의미하며, w_0 는 중심 주파수를 의미한다. 가우시안 포락선 선형 첩 신호는 제한된 시간영역 내에서 선형으로 증가하는 주파수를 가지고 있다. 기준신호의 시간-주파수 영역 범위를 파라미터로 조절할 수 있으므로 저압배선 내 기준신호의 전파 특성을 고려하여 기준신호의 중심 주파수, 주파수 대역 범위 그리고 지속시간을 설정 할 수 있다[2].

기준신호의 중심 주파수는 저압 배선 내 전파되는 기준신호의 거리당 감쇠율을 결정한다. 중심 주파수가 높아질수록 거리 당 감쇠율이 커지지만 기준신호의 파장이 작아지므로 결함 거리 측정 분해능이 세밀해지는 이점이 있다. 따라서 기준신호의 거리 당 감쇠율과 측정 분해능의 상호

보상 관계를 고려해서 기준신호를 설계해야 한다. 주파수 대역범위는 결함 측정 시스템의 제약 조건을 고려하여 설계하여야 한다. 본 논문에서는 활성 상태일 때 결함 위치를 측정하기 위하여 저압 220V를 차단하는 커플러를 사용하였다. 커플러의 주파수 통과 대역이 1MHz 이상이므로 기준신호의 주파수 대역도 1MHz이상의 대역이 되어야 커플러에 의한 기준신호의 감쇠를 줄일 수 있다. 기준신호의 지속시간은 기준 신호가 반사파와 겹치는 것을 고려하여 설계하여야 한다. 기준 신호와 반사파가 겹치게 되면 추가적인 알고리즘을 통하여 결함의 위치를 측정해야한다[3]. 기준신호와 반사파가 겹치는 것을 최소화하기 위한 지속 시간을 설정해야한다. 지속 시간을 짧게 함으로써 기준신호와 반사파가 겹치는 것을 최소화 할 수 있으나, 반사파의 에너지가 작아지는 단점이 있다. 기준신호와 반사파가 겹치는 문제와 신호의 에너지를 고려하여 기준신호의 지속시간을 설계하여야 한다.

2.1.2 위그너 빌 시간 주파수 영역 분포 함수

위그너-빌 시간 주파수 영역 분포함수는 신호가 시간 주파수 영역에 어떻게 분포 되어 있는지를 나타내는 분포함수 이고 식(2)와 같이 정의된다[4].

$$W(t, w) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} s(t + \frac{\tau}{2}) s^*(t - \frac{\tau}{2}) e^{-jw\tau} d\tau \quad (2)$$

여기에서 $s(t)$ 는 시간-주파수 영역으로 분석 될 신호를 의미한다. 위그너-빌 시간 주파수 영역 분포함수를 통하여 구한 기준신호의 시간-주파수 영역 분포는 식(3)과 같다[4].

$$W_s(t, w) = \frac{1}{\pi} e^{-\alpha(t-t_0)^2 - \frac{(w-\beta(t-t_0)-w_0)^2}{\alpha}} \quad (3)$$

기준신호의 위그너-빌 시간-주파수 분포함수와 반사파의 위그너-빌 시간 주파수 분포 함수의 정규화 된 상호 상관관계 함수는 식(4)와 같이 정의 된다[2].

$$C_{sr}(t) = \frac{2\pi}{E_s E_r} \iint W_r(t', w) W_s(t'-t, w) dw dt' \quad (4)$$

$$E_r = \iint W_r(t', w) dw dt' \quad (5)$$

$$E_s = \iint W_s(t, w) dt dw \quad (6)$$

식(5)는 반사파 신호의 에너지를 의미하며 식(6)은 기준신호의 에너지를 의미한다. 식(4)는 정규화 된 상호 상관관계함수를 의미한다. 기준신호와 반사파의 정규화 된 상호 상관관계 함수는 반사파가 측정되는 시점에서 0 과 1 사이의 지역(local)피크 값을 가지게 된다. 계측기로부터 결함거리는 식(7)을 이용하여 구할 수 있다.

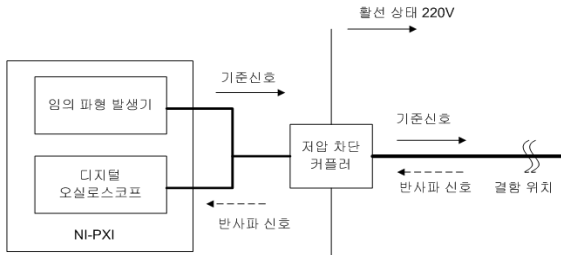
$$d_{fault} = \frac{v_p \times t_{peak}}{2} \quad (7)$$

식(7)에서 d_{fault} 는 계측기로부터 결함 위치까지의 거리, v_p 는 저압배선 내 전파 속도를 나타낸다. t_{peak} 는 기준신호와 반사파의 정규화 된 상호 상관함수에서 피크 값이 생기는 시점의 시간 차이를 의미한다[2].

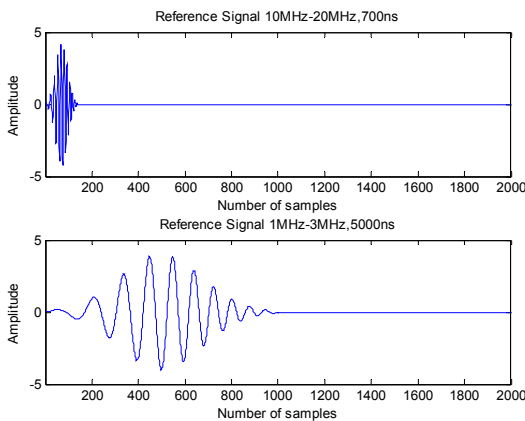
2.2 활성 상태 저압배선의 결함 위치 측정 시스템

본 논문에서 활성 상태 저압배선의 결함을 측정하기 위하여 그림 1과 같은 시간 주파수 영역 반사파 계측 시스템을 구현하였다.

National Instrument 사의 PXI(Pci eXTensions for Instrumentation)내에 임의 파형 발생기(PXI-5422)와 디지털 오실로스코프(PXI-5124)가 탑재 되어있다. 그리고 PXI와 대상 저압배선사이에 220V로부터 계측기기를 보호하는 커플러가 연결되어있다. 임의 파형 발생기에서 대상 저압배



〈그림 1〉 활선 상태 저압배선 결함 위치 측정 시스템



〈그림 2〉 기준 신호 10MHz-20MHz, 1MHz-3MHz

〈표 1〉 배선 길이별 기준신호 파라미터

대상 저압배선 길이(m)	중심 주파수(MHz)	주파수 대역(MHz)	지속시간(ns)
52	15	10-20	700
152	2	1-3	5000

선으로 기준신호를 인가한 뒤 반사파를 디지털 오실로스코프로 측정하여 저장하고 PXI내에서 시간-주파수 영역 분석을 수행하게 된다. 반사파 취득 시의 샘플링 주파수는 200MHz이다. 본 논문에서는 HIV 2.25mm 52m와 152m 두 가지 저압배선의 종단부에 단선(open)상태의 결함을 가하고 실험하였다. 저압배선에 인가하는 기준신호는 표 1과 같다. 그림 2의 상단부는 10MHz-20MHz의 기준 신호이며, 하단부는 1MHz-3MHz의 기준 신호이다. 저압배선 내 전파속도는 $1.51 \times 10^8 m/s$ 이다.

2.3 실험 결과

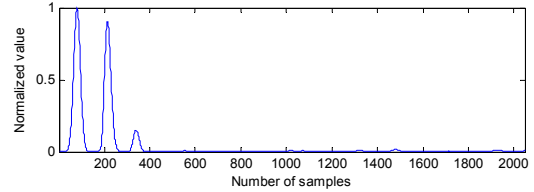
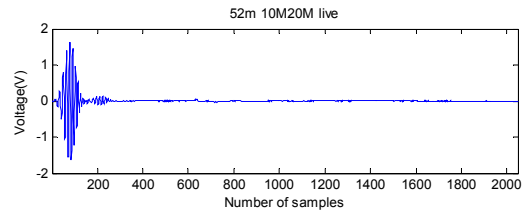
길이 52m 저압배선에 10MHz-20MHz 기준신호를 인가하여 얻은 반사파와 정규화 된 상호 상관관계함수는 그림 3과 같다. 그림 3에서 기준신호와 반사파가 겹치지 않는 것을 확인할 수 있으며, 정규화 된 상호 상관관계 그래프에서 반사파가 위치한 지점에서 피크 값이 검출되는 것을 알 수 있다. 따라서 결함이 근거리에서 위치한 경우 고주파수 대역과 지속시간이 짧은 기준신호를 사용해서 결함의 위치를 측정할 수 있다.

길이 152m 저압배선에 1MHz-3MHz의 기준신호를 인가하였을 때 반사파와 정규화 된 상호 상관관계 함수는 그림 4와 같다. 그림 4에서 기준신호의 지속시간이 반사파가 결함위치에서 돌아오는 시간보다 길기 때문에 반사파의 일부와 기준신호가 겹치는 현상이 일어났다. 반사파의 일부가 기준신호와 겹쳐서 정규화 된 상호 상관관계 함수에서 육안으로는 확인하기 어려운 피크 값이 검출되었고 이를 통하여 결함의 위치를 측정할 수 있었다. 저주파수 대역과 긴 지속시간을 가지는 기준신호는 계측기로부터 원거리에서 존재하는 결함의 위치를 측정 할 수 있음을 알 수 있다.

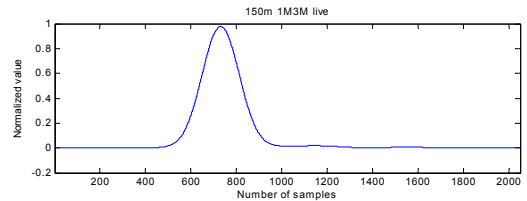
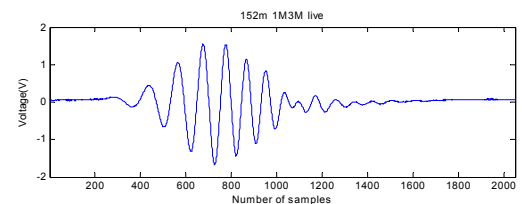
저압배선의 특성을 고려한 기준신호를 이용하여 저압배선의 결함위치를 추정 한 결과는 표 2와 같다. 총 6회의 실험 결과 기준신호가 10MHz-20MHz인 경우 오차율이 2.30%이고, 기준신호가 1MHz-3MHz인 경우는 오차율이 2.42%이다.

3. 결 론

본 논문에서는 저압배선의 최적인 기준 신호를 설계할 때 고려해야 할 요소들을 제시하였다. 저압배선의 특성과 결함 가능 위치에 따른 기준신



〈그림 3〉 52m 저압배선, 기준 신호 주파수 10M-20MHz, 활선상태 실험 결과



〈그림 4〉 152m 저압배선, 기준 신호 주파수 1M-3MHz, 활선상태 실험 결과

〈표 2〉 시간-주파수영역 반사파 계측 방법 측정거리 오차율

저압배선 길이(m)	기준신호주파수 (MHz)	측정거리 (m)	오차율 (%)
52	10-20	50.80	2.30
152	1-3	155.68	2.42

호의 중심 주파수, 주파수 대역 범위, 그리고 지속 시간을 설계하여 실험을 한 결과 계측기로부터 근거리에서 있는 결함의 경우 고주파 대역과 짧은 지속 시간을 가지는 기준 신호가 적합하였고 결함이 원거리에서 있는 경우 저주파 대역과 긴 지속 시간을 가지는 기준 신호가 적합하다는 결과를 얻을 수 있었다.

본 논문은 전력산업연구개발사업으로 수행되었습니다.
(과제번호:R-2006-1-229)

[참 고 문 헌]

- [1] 전기안전공사, 전기 재해 통계 보고서 2007.
- [2] Y. J. Shin, E. J. Powers, Tok-Son Choe, Chan-Young Hong, Eun-Seok Song, Jong-Gwan Yook, and Jin-Bae Park. "Application of Time-Frequency Domain Reflectometry for Detection and Localization of a Fault on a Coaxial Cable", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 54, No. 6, Dec. 2005.
- [3] Ki-Seok Kwak, Seung Ho Doo, Chun Ku Lee, Jin Bae Park and Tae Sung Yoon. "Reduction of the Blind Spot in the Time-Frequency Domain Reflectometry", IEICE Electronics Express, vol.5, No.8, 265-270 April 2008.
- [4] L. Cohen, "Time-Frequency Analysis", Prentice Hall Signal Processing Series, 1995.