

부하 임피던스 측정을 위한 랩비기반 시간-주파수 영역 반사파 실시간 시스템 구현

박 태근*, 곽 기석*, 박 진배*, 윤 태성**
연세대학교 전기전자공학과*, 창원대학교 전기공학과**

Implementation of a Labview Based Time-Frequency Domain Reflectometry Real Time System for the Load Impedance Measurement

Tae Geun Park*, Ki-Seok Kwak*, Jin Bae Park*, Tae Sung Yoon**

Dept. of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei Univ.*, Dept. of Electrical Engineering, Changwon National Univ.**

Abstract - The purpose of this paper is to implement a Labview based TFDR Real Time system through the instruments of Pci eXtensions for Instrumentation(PXI). The proposed load impedance measurement algorithm was verified by experiments via the implemented real time system. The TFDR real time system consisted of the reference signal design, signal generation, signal acquisition, algorithm execution and results display parts. To implement real time system, all of the parts were programmed by the Labview which is one of graphical programming languages. In the application software implemented by the Labview we were able to design a suitable reference signal according to the length and frequency attenuation characteristics of the target cable and controlled the arbitrary waveform generator(ZT500PXI) of the signal generation part and the digital storage oscilloscope(ZT430PXI) of the signal acquisition part. By using the TFDR real time system with the terminal resistor on the target cable, we applied to the load impedance measurements. In the proposed load impedance algorithm a normalized time-frequency cross correlation function and a cross time-frequency distribution function was employed to calculate the reflection coefficient and phase difference between the input and the reflected signals.

1. 서 론

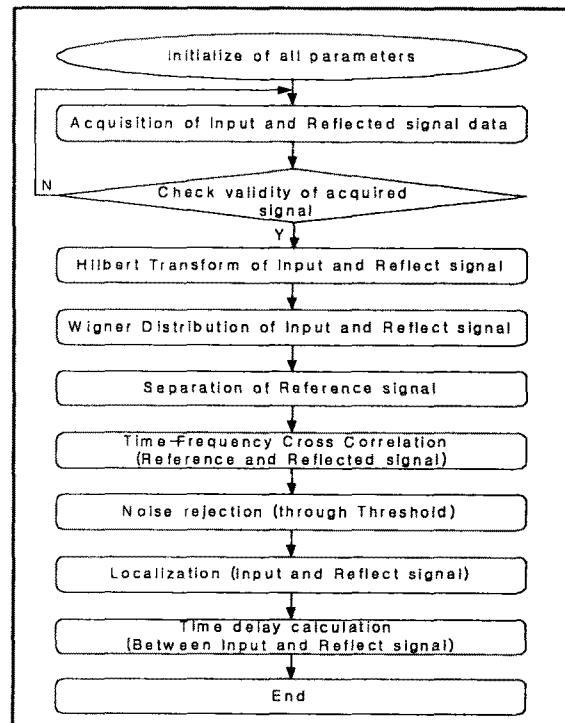
송전선로의 저고압 케이블과 해저케이블 및 각종 전기 전자의 배선 시스템은 공공안전에 직접적으로 미치는 영향이 크고, 안정적인 전력 서비스 제공 및 유지 보수와 비용 절약을 고려해 볼 때 고도의 안정성과 신뢰성을 요구하고 있다. 최근 이러한 요구에 따라 배선 진단 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데 특히 신호처리 기법을 이용하는 반사파 계측 방법이 각광을 받고 있다. 반사파 계측방법은 일정한 신호를 도선에 인가한 후 반사되어 오는 신호를 분석하는 방법으로 시간 영역 또는 주파수 영역에서 분석하여 배선의 이상 유무, 결함의 위치 그리고 열화 정도까지 배선에 대한 진단 정보를 알 수 있다. 반사파 계측 기술은 신호 분석을 어떻게 하느냐에 따라 여러 가지로 나눌 수 있다. 최근에 가장 활발하게 연구가 진행 중에 있으며 최신 기술인 시간-주파수 영역 반사파 계측방법[1]은 시간 또는 주파수의 한 영역에서만 분석하는 계측 방법의 단점을 보완하고 더 정확하고 신뢰성이 있는 기술로써 시간과 주파수영역 동시에 신호를 분석하는 방법이다. 본 논문에서는 시간-주파수 영역 반사파 알고리듬을 이용하여 PXI와 랩비기반의 실시간 시스템을 구현하고 구현된 시스템을 이용하여 부하 임피던스 측정 알고리듬[2]에 적용 실험하였다. 부하 임피던스 측정 알고리듬은 정규화된 시간-주파수 상호 상관 함수(normalized time-frequency cross correlation function)와 상호 시간-주파수 분포 함수(cross time-frequency distribution function)를 이용하여 반사계수의 위상과 크기를 구함으로써 얻을 수 있다.

2. 본 론

2.1 시간-주파수 영역 반사파 계측 알고리듬

본 절에서는 반사파 계측 방법 중 가장 최신 기술인 시간-주파수 영역 반사파 계측 알고리듬에 대해 설명한다.

그림1은 알고리듬의 순서도를 나타낸 것으로 먼저 임의 파형 발생기의 샘플링 레이트와 대상 케이블의 전파 속도등 기본적인 파라미터를 설정, 초기화 시킨 후 임의 파형 발생기로부터 시간과 주파수 영역에서 지역화된 삼각형 포락선 모양을 가진 침(triangle envelope chirp signal)신호를 발생시킨다. 그러면 직접 통과되는 신호와 대상 케이블로부터 반사된 신호가 디지털 오실로스코프의 아날로그-디지털 변환(ADC)을 통해 데이터화 되면서



<그림 1> 시간-주파수 영역 반사파 계측 알고리듬 순서도

습득되게 된다. 그 후 힐버트 변환(hilbert transform)으로 한 쪽 면의 스펙트럼을 제거함으로써 신호처리를 하는데 효율적으로 데이터를 변환시킨다. 이렇게 힐버트 변환된 입력 신호와 반사 신호는 시간과 주파수 영역의 관찰을 위해 위그너 분포 함수(Wigner distribution function)를 이용하여 시간-주파수-값 데이터로 변환 시킨 후, 기준 신호를 분리하고 이 기준 신호와 반사 신호간의 정규화된 시간-주파수 상호 상관 함수를 취함으로써 입력 신호와 반사 신호를 0과 1사이의 크기로 정규화시킨다. 마지막으로 두 신호의 시간에 대한 중심 인덱스로부터 시간 지연(time delay)을 계산하고 결합 위치를 구한다.

2.2 임피던스 측정 알고리듬

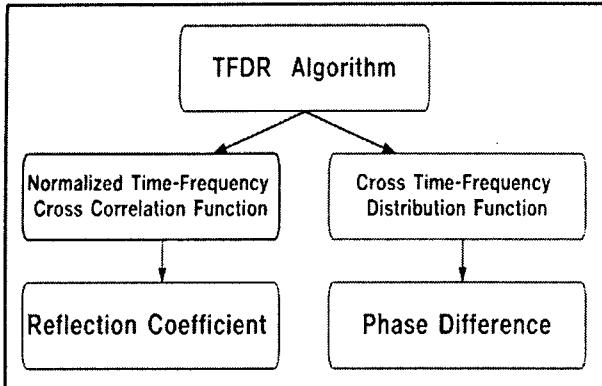
반사파를 이용하여 전송 선로상의 부하 임피던스 Z_L 를 평가하기 위해서 식(1)에서와 같이 특성 임피던스 Z_0 와 반사 계수 Γ 의 관계식을 통해 부하 임피던스 Z_L 를 구할 수 있다.

$$Z_L = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} Z_0 = \frac{1 + |\Gamma|e^{j\theta}}{1 - |\Gamma|e^{j\theta}} Z_0 \quad (1)$$

즉 케이블의 특성 임피던스는 스펙트럼 알 수 있다고 하면 부하 임피던스는 반사 계수의 크기와 위상차만 구하면 얻을 수 있으며 반사 계수의 크기는 식(2)와 같이 입력 신호와 반사 신호의 전체 에너지 비로부터 구하고 위상 차는 입력 신호와 반사 신호의 위상 차이로부터 구할 수 있다.

$$|\Gamma| = \frac{1}{A_f} \sqrt{\frac{E_r}{E_s}} \quad (2)$$

여기서 주파수 감쇄 특성값 A_f 은 케이블 제조회사에서 제공되는 것이다.



<그림 2> 임피던스 측정 알고리듬 순서도

그림2는 임피던스 측정 알고리듬 순서도를 나타낸 것으로 구하고자 하는 반사 계수의 크기, 즉 입력 신호와 반사 신호의 에너지 비는 식(3)과 같이 시간-주파수 영역 반사파 알고리듬에서 이용한 정규화된 시간-주파수 상호 관계를 이용하여 얻는다.

$$C_{sr}(t) = \frac{1}{E_s E_r(t)} \int_{t-T_s}^{t+T_s} \int W_r(t', \omega) W_s(t-t', \omega) d\omega dt' \quad (3)$$

여기서 W_r 은 입력 신호의 위그너 분포이고 W_s 는 반사 신호의 위그너 분포이다. 또한 위상차는 상호 시간-주파수 분포 함수로부터 얻으며 수식은 식(4)~(6)과 같이 정의 할 수 있다.

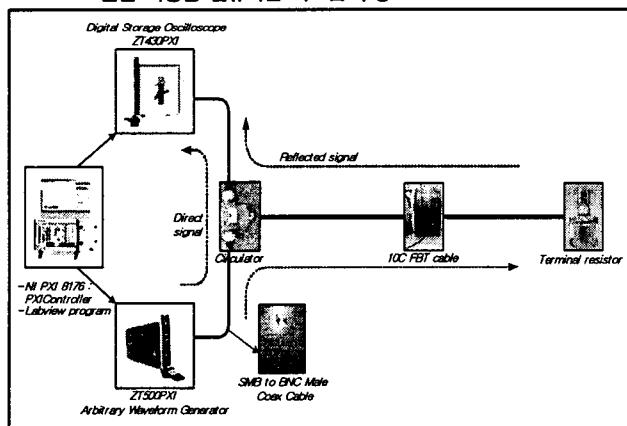
$$J_{sr}(t, \omega; \phi) = \frac{1}{4\pi^2} \iiint s(u + \frac{\tau}{2}) r^*(u - \frac{\tau}{2}) \phi(\theta, \tau) e^{-j\theta t - j\tau\omega + j\theta u} d\theta d\tau du \quad (4)$$

$$J_{sr}(t, \omega; \phi) = |J_{sr}(t, \omega; \phi)| e^{j\Theta_{sr}(t, \omega; \phi)} \quad (5)$$

$$\Theta_{sr}(t, \omega; \phi) = \tan^{-1} \left[\frac{\text{Im}(J_{sr}(t, \omega; \phi))}{\text{Re}(J_{sr}(t, \omega; \phi))} \right] \quad (6)$$

여기서 $\Theta_{sr}(t, \omega; \phi)$ 는 입력 신호와 반사 신호간의 시간-주파수 위상 정보이다. 결국 임피던스 측정 알고리듬에서 구한 반사계수의 크기와 위상 차를 식(1)에 대입함으로써 부하 임피던스 값을 구할 수 있게 된다.

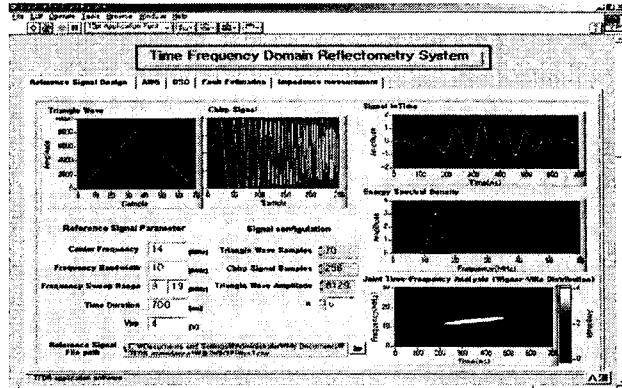
2.3 PXI모듈을 이용한 랩비기반 시스템 구성



<그림 3> PXI모듈을 이용한 TFDR 실시간 계측 시스템 구성도

그림3은 PXI모듈을 이용한 시간-주파수 영역 반사파 실시간 계측 시스템 구성도로서 신호 발생부인 ZT500PXI 임의 파형 발생기는 랩비에서 설계된 기준 신호를 발생시키고, 발생된 기준 신호는 신호 분배부인 순환기를 통해 두 갈래로 나뉘어져 하나는 신호 습득부로 직접 들어가고 또 하나는 케이블의 종단 저항에서 반사되어 신호 습득부인 ZT430PXI 디지털 오실로스코프로 들어가게 된다. 또한 메인 컴퓨터인 NI PXI 8176 PXI컨트롤러와 랩비 프로그램은 기준 신호 설계 및 PXI모듈 제어, 시간-주파수 영역 반사파 알고리듬을 수행하는 기능을 담당한다. 실험에서 사용되는 대상 케이블은 100-FBT 방송 통신용 동축 케이블로서 이것의 주파수 대역과 주파수 감쇄 특성을 고려하여 기준 신호를 설정하였다. 기준 신호의 주파수 범위는 9[MHz]~19[MHz]이고 시간폭은 700[ns]로 하였으며 그림4와 같이 랩비로 구현한 어플리케이션 소프트웨어의 기준 신호 설계 메뉴에서 이를 수행하도록 하였다.

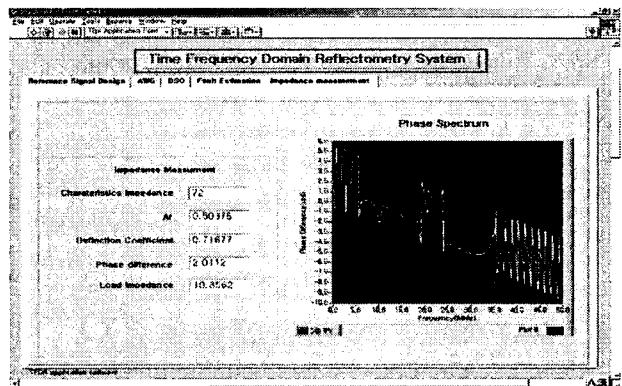
2.4 종단 저항 10-60[Ω]에 대한 실험 결과



<그림 4> 기준 신호 설계 프론트 패널

본 실험에서는 100m 케이블 말단에 종단 저항 10-60[Ω]을 장착한 후 적합한 기준 신호를 발생시켜 임피던스 측정 알고리듬을 수행하여 실제 저항값과 시간-주파수 영역 반사파 계측법으로 추정한 저항값을 비교하였다.

그림5는 어플리케이션 소프트웨어에서 임피던스 값의 결과 정보를 실시간으로 보여주고 있다. 또한 표1은 부하 임피던스가 10-60[Ω]일 때의 결과값과 오차를 나타낸 것으로 시간 영역 반사파 계측방법(TDR)과 비교 했을 때 시간-주파수 영역 반사파 계측 방법의 성능이 우수함을 알 수 있다.



<그림 5> 임피던스 측정 프론트 패널

<표 1> TFDR 과 TDR의 임피던스 측정 결과 비교

$Z_L[\Omega]$	TFDR			TDR	
	$\tilde{D}[m]$	$\tilde{Z}_L[\Omega]$	Error [Ω]	$\tilde{Z}_L[\Omega]$	Error [Ω]
10	99.9609	10.3562	0.3562	16.906	6.906
20	99.9213	20.9285	0.9285	25.813	5.813
30	100.0176	28.3625	1.6375	34.906	4.906
40	99.9967	39.5903	0.4097	44.000	4.000
50	99.8702	50.8827	0.8827	53.375	3.375
60	100.5892	61.5637	1.5637	62.906	2.906

3. 결 론

본 논문에서는 배선 진단 기술 중 최신 기술인 시간-주파수 영역 반사파 알고리듬을 이용하여 PXI와 랩비기반의 시스템을 구현하였고 이것으로 제안된 부하 임피던스 측정 실험에 적용하였다. 결과적으로 시간-주파수 영역 반사파 계측 방법으로 충분히 정확한 임피던스를 측정할 수 있음을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Shin, Y.J., Powers, E. J., Choe, T. S., Hong, C. Y., Song, E. S., Yook, J. G., Park, J. B., "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, December 2005.
- [2] TokSon Choe, Ki-Seok Kwak, Yong-June Shin, Jin Bae Park, Tae Sung Yoon, "The Load Impedance Measurement in the Time-Frequency Domain Reflectometry System", IMTC2005, pp497-500, May 17-19, 2005.