

UHF 부분방전 감시 장치를 위한 초광대역 검출장치 개발 및 특성조사

박기준, 구선근, 윤진열  
전력연구원 전력계통연구실

Development and characterization of a ultra-wide bandwidth video detector for the UHF partial discharge monitoring system

Kijun Park, Sun-geun Goo, and Jin-yul Yoon  
Korea Electric Power research Institute, Daejeon, 305-380

**Abstract** - Ultra-wide bandwidth (UWB) detection method has been widely used as a front end detection scheme for the ultra-high frequency (UHF) partial discharge (PD) monitoring systems. A broad-band video detector module was developed and characterized for the UHF UWB PD detection systems. The useable bandwidth of the module is more than 2 GHz and it is optimized for 50-ohm systems. The detection sensitivity and dynamic range of the module were characterized by using a known ns-width RF pulses of GHz range. The dynamic range is more than 6-decades and the module can detect pulsed RF signals down to 1 nW. The detector module can eliminate expensive equipment such as high speed oscilloscopes and radio frequency (RF) spectrum analyzers. Therefore, it enables one to use slow speed data acquisition systems for the PD monitoring at the UHF range. The detector module was used to detect real PDs of about <3 pC. The module converts the UWB PD signals into a low-bandwidth video signal with a high signal-to-noise ratio.

1. 서 론

변전소에 설치된 다양한 가스절연 고전압기기 (GIS) 에 사용되는 극초단파 (UHF) 부분방전 (PD) 감시 장치의 부분방전 검출 기법으로 초광대역 (Ultra-wide bandwidth, UWB) 또는 협대역 검출 기술이 사용되고 있다. 특히 UWB 검출 기법은 많은 GIS PD 감시 설비에서 PD 검출방법으로 사용되고 있다 [1, 2]. 지금까지 국내에서는 초고속 오실로스코프 또는 주파수 분석기 등을 이용하여 초광대역 UHF PD 검출기술을 연구하거나 일부에서 제한적으로 적용하였다 [3].

본 논문에서는 국내 최초로 UHF PD 감시장치에 적용하기에 적합한 대역폭이 넓은 UHF-UWB 영상 검출기 (video detector module)을 개발하고 그 특성을 조사 하였다. 특히, 본 논문에서 개발된 UHF대역의 초광대역 검출기를 사용하면 저렴한 저속 data acquisition 장치 또는 저속 오실로스코프로도 UHF PD를 검출 할 수 있으므로 보통 UHF PD 측정시 사용되는 고가의 주파수 분석기나 오실로스코프를 대체 할 수 있다.

본 검출기의 특성을 분석하기 위하여 실제 PD 발생시 센서에서 검출되는 신호와 유사한 수십 ns 정도의 펄스 형태의 극초단파 신호를 이용하여 특성을 분석 하였다. 본 검출기의 대역폭은 UHF 대역에서 2 GHz 이상이며 dynamic range는 60 dB 이상이고 -60 dBm 이하의 신호도 검출 할 수 있었다.

2. 본 론

2.1 PD 검출용 영상검출기(video detector)

GIS 내부에서 PD 가 발생되면 UHF PD 센서에서 수십~수백 ns 동안 UHF 대역의 초광대역 신호를 검출 할 수 있다. 그림 1 은 GIS에서 발생된 PD에 의한 전형적인 방전 전류파형과 이때 UHF PD 센서에서 검출된 전압 파형이다. 그림과 같이 수~수십 mV 크기의 신호가 ~백ns 정도 지속되며 방전전류 크기가 커질수록 센서에서 검출되는 신호의 크기도 아울러 증가한다. 또한 검출센서까지의 거리가 방전원에서 멀어지거나 복잡한 경로를 거치면서 UHF UWB 신호의 크기는 기하급수적으로 감소한다 [3, 4].

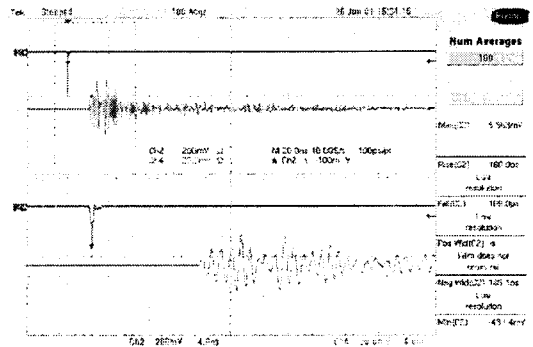


Fig. 1. Typical PD current waveform (upper trace) and the radiation detected at the UHF PD sensor (lower trace). (The bottom half shows magnified view of both pulses)

위와 같이 UHF PD 센서에 포착된 UWB 신호를 낮은 대역폭을 갖는 데이터 취득장치 또는 오실로스코프로 보려면 먼저 수 mV 정도의 적은 신호를 충분히 크게 증폭하고 증폭된 신호를 영상신호 또는 천천히 변화하는 신호로 변환하여야 한다. 특히 검출된 신호의 크기는 방전현의 종류와 특성 그리고 거리에 대해 크기가 수천~수백만배 변화 하므로 대수 증폭기가 적용 되어야 한다. 또한 이와 같은 신호 검출 장치는 변전소와 같이 열악한 환경에서 사용되므로 정전기 또는 switching surge와 같은 외란으로부터 보호 되어야 한다. 이와 같은 UHF PD 검출에 필요한 조건을 만족하기 위하여 표 1 과 같은 특성을 목표로 영상검출기를 설계하고 제작하였다 [5, 6].

Table 1. Design parameters and target for the video detector.

Design parameter	Goal
Input impedance	~50 ohm
Board layout	4-layer Microstrip
Number of channel per module	2
Input protection	ESD & over voltage
Useable Frequency range	0.2 ~ 2.5 GHz
Useable Input range	-65 dBm ~ 10 dBm
Operation mode	Log detector
Power supply	+5 V

그림 2 는 입력부 보호회로를 포함하는 검출기 입력단의 주파수특성이다. 표 1에서 목표한 것과 같이 약 200 MHz 이하의 신호는 통과 하지 못하도록 하였다. 입력부의 특성은 사용되는 센서의 종류와 피측정물(GIS)의 특성에 따라 조정될 수 있다.

검출기는 회로의 고주파 특성을 고려하여 Duroid 3층 기판을 적용하여 microstrip line구조로 제작되었다. 그림 3은 완성된 2 회로 검출기 모듈의 사진이다. 입력과 출력은 SMA형 코넥터를 사용하였으며 5V 단일 전압으로 동작하고, 이득 slope를 조정할 수 있다.

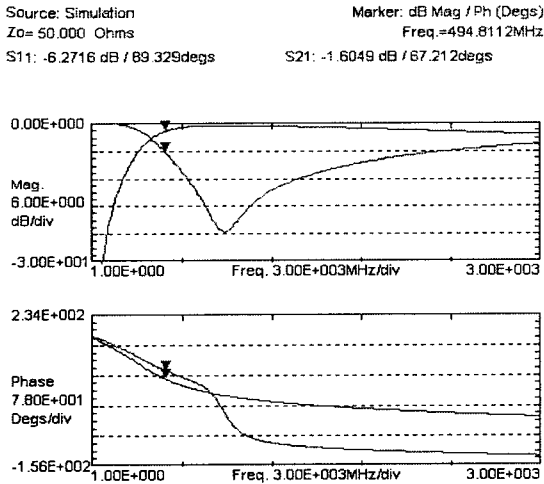


Fig. 2. Simulation result for frequency response of the detector input network with the electro-static discharge and the over-voltage protection.

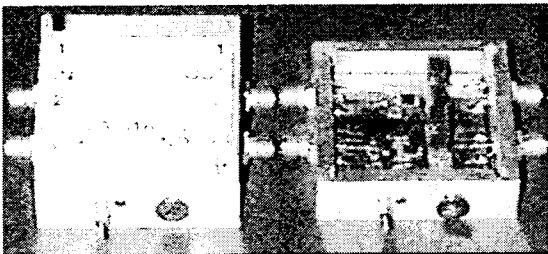


Fig. 3. Internal- and external-view of the 2-channel logarithmic video detector module.

## 2.2 특성측정 및 결과

제작된 검출기의 특성을 측정하기 위하여 UHF 대역에서 PD 신호와 유사한 펄스형 신호를 이용하였다. 그림 4는 검출기의 특성시험을 위한 장치의 계통도이다. 신호 발생기로부터 약 50 ns 폭을 갖고 120 Hz 주기로 펄스-변조된 100 ~ 3000 MHz 신호를 검출기의 입력부에 연결하고 검출기의 영상 출력을 20 MHz 대역폭을 갖는 오실로스코프와 FET probe를 이용하여 측정하였다. 고주파 펄스 신호의 크기는 -130 dBm에서 +20 dBm 까지 가변할 수 있으며 필요에 따라 반복률과 펄스폭을 변화할 수 있다. 펄스 변조된 고주파 신호의 크기를 정확히 측정하기 위하여 RF power meter 또는 대역폭 4 GHz 오실로스코프를 이용하였다. 정확한 트리거링을 위하여 오실로스코프는 신호발생기의 트리거 출력을 이용하여 트리거 되었다.

그림 5 는 500 MHz에서 약 50 ns 폭인 -50 dBm 크기의 펄스를 인가하였을 때의 영상 검출기의 입력과 출력 파형이다. -50 dBm (~10 nW, 0.71 mV<sub>R.M.S.</sub>) 신호를 입력하였을때 약 200 mV 크기의 영상 신호를 얻을 수 있다.

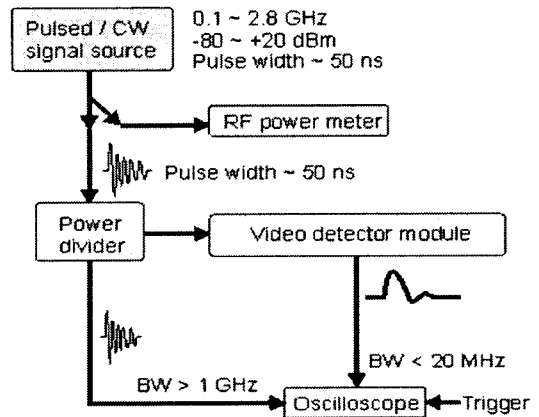


Fig. 4. Experimental set-up for the detector module characterization.

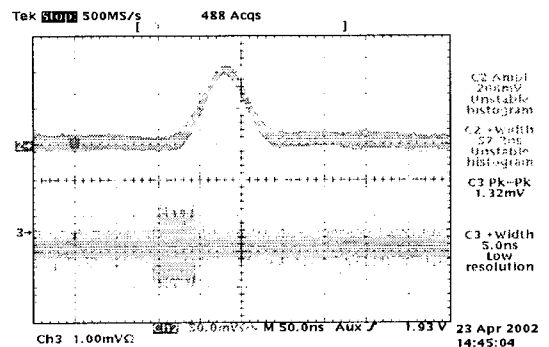


Fig. 5. Typical input- (lower trace) and output- (upper trace) waveform of the detector module. The input pulse width was about 50 ns and the power was -50 dBm (10 nW) at 500 MHz.

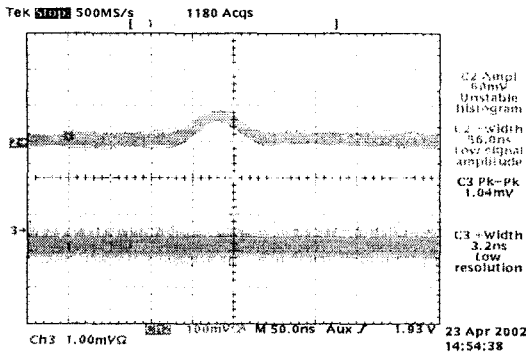


Fig. 6. Typical input- (lower trace) and output- (upper trace) waveform of the detector module. The input pulse width was about 50 ns and the power was -60 dBm ( 1 nW) at at 800 MHz.

그림 6은 800 MHz에서 약 50 ns 동안 -60 dBm (~1 nW) 크기로 변조된 펄스 신호를 인가했을 때의 입력(하)과 출력(상) 파형이다. 입력신호는 오실로스코프의 최소 배율인 1mV/Div 보다 적어서 측정되지 않았다.

그림 7은 500 - 2500 MHz에서 검출기의 입력신호 크기에 대한 출력신호의 크기이다. -60 dBm에서부터 약 5 dBm 까지 우수한 대수적 특성을 보였다. 측정결과와 같이 검출기의 dynamic range는 60 dB 이상이다. 특히 약 -70 dBm (0.1 nW) 이하의 신호도 검출할 수 있었으며 +10 dBm (10 mW) 이상의 신호에서도 파괴되지 않았다.

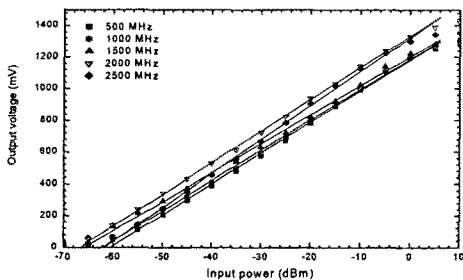


Fig. 7. The detector input power versus output voltage for various frequencies.

그림 8은 200 ~ 2700 MHz에서 입력신호에 대한 출력 신호의 주파수 특성이다. 약 500 - 2300 MHz에서 비교적 평탄한 주파수 특성을 보여주고 사용가능 대역폭은 2500 MHz 이상이다.

특히 본 검출기 module를 이용하여 GIS에서 발생된 실제의 PD 신호를 검출할 수 있었으며, 느린 오실로스코프로도 충분히 큰 신호대 잡음비를 갖고 적은량 (<3 pC)의 PD 신호를 검출할 수 있었다.

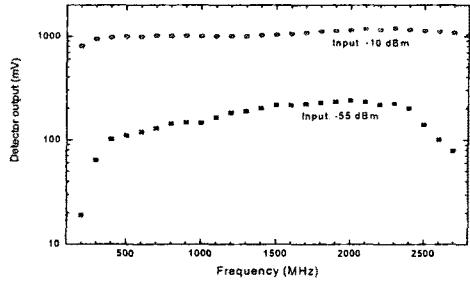


Fig. 8. Frequency response of the detector output for input power of -55 and -10 dBm.

### 3. 결 론

본 논문에서는 UHF 부분방전 감시 장치의 핵심부품인 UHF UWB PD 검출용 대수증폭-영상검출 장치를 개발하고 특성을 측정 하였다. 본 검출기는 다양한 UHF PD 감시 시스템의 PD 검출에 사용될 수 있도록 보호 회로와 입력부를 구성 하였다. 초광대역 검출기는 0.1 nW 정도의 아주 적은 신호까지 검출 할 수 있고 입-출력 크기는 대수적 관계를 갖는다. 본 검출기는 -70 ~ +10 dB 범위의 신호 검출에 사용될 수 있으며, 능동 범위는 60 dB 이상이다. 실제 부분방전 신호를 충분히 큰 신호대 잡음비를 갖고 검출 할 수 있다. 특히, 본 검출기를 이용하여 PD 측정기를 제작하면 저렴한 저속 데이터 취득장치 또는 저속 오실로스코프로도 UHF대역에서 PD를 검출할 수 있으므로 보통의 UHF PD 측정시 사용되는 고가의 주파수분석기나 초고속 오실로스코프로 대체할 수 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] S.M. Neuhold, M. L. Schmatz, M. Hassig, M. M. Spuhler, G. Storf, "Combined broad and narrow band multichannel PD measurement system with high sensitivity for GIS," High Voltage Engineering, 1999. Eleventh International Symposium on (Conf. Publ. No. 467) , Volume: 5 . 1999, pp. 152 ~155.
- [2] J. P. Zondervan, E. Gulski, J. J. Smit, T. Grun, M. Turne, "A new multi-purpose partial discharge analyser for on-site and on-line diagnosis of high voltage components," High Voltage Engineering, 1999. Eleventh International Symposium on (Conf. Publ. No. 467) . Volume: 5 . 1999, pp. 348 -351.
- [3] 윤진열, 박기준, 구선근, "GIS 부분방전 검출기술연구," Technical Memo, TM.98PJ04.M2001.142, 전력연구원, 2001.
- [4] 구선근, 박기준, 윤진열, "가스절연개폐장치용 UHF 부분방전 검출장치의 새로운 감도 측정방법," Trans. KIEE, Vol. 50C, No. 9, 2001, pp. 450-455.
- [5] G. H. Bryant, Principles of Microwave Measurement, Peter Peregrinus Ltd. London, U.K., 1993.
- [6] HP Application note 923, 988, Hewlett Packard.