

고압 전력선 통신을 위한 임피던스 측정과 정합 방안 연구

유정훈, 최승지*, 박영진*, 이원태*, 김관호*, 홍충선, 이대영
 경희대학교, *한국전기연구원 전기정보망 연구그룹

Study on Impedance Measurement and Matching for Medium-Voltage Powerline Communications

Jung-Hun Yu, Seung-Ji Choi*, Young-Jin park*, Won-Tae Lee*, Kwan-Ho Kim*, Choong-Seon Hong, Dae-Young Lee
 KyungHee University, *Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

Abstract - 본 연구에서는 고속전력선통신(PLC)을 위한 고압배전선의 임피던스 측정 방법을 소개한다. 현재 전 세계적으로 고속 PLC를 위해서 1MHz~30MHz대역을 사용하고 있다. 임피던스 특성을 실제 필드에서 측정하기 위해 본 연구에서는 휴대용 고압결합장치를 개발하였다. 임의의 고압 배전선에 일시적으로 결합할 수 있도록 고안된 고압결합장치로서 살아있는 전력선에 정전 없이 설치 가능하다. 이 장치는 고압용 커플러(Coupler)와 60Hz 저주파를 차단하기 위한 드레인 코일(drain coil)로 구성되었다. 측정을 위해서는 벡터 회로망 분석기를 사용하였으며, 본 논문에서는 측정된 고압선 임피던스를 보여 주고 이 결과를 이용한 임피던스 정합 방법을 제시하였다.

1. 서 론

최근 들어 고속 광대역 인터넷 서비스의 보급이 급속도로 증가하고 있으며 유선 인터넷 액세스망의 경우 xDSL, 케이블망등이 이용되고 있으며 무선의 경우에는 Broadband wireless local loop등이 이용되고 있으나 이러한 방식들은 구축비용 부담 때문에 주로 도시 지역을 중심으로 서비스가 되고 있는 것이 현실이다. 따라서 별도의 망설치 비용이 적게 드는 전력선 통신(PLC)이 고속 인터넷 액세스망을 위한 경제적인 구축 방안으로 대두되고 있다. 현재 고속 전력선 통신은 100 Mbps급이 통신 시스템이 개발중이며 사용 주파수 대역은 1 MHz에서 30 MHz 이다. 또한 저압 배전망용 전력선 통신 모델은 곧 상용화가 될 것이다[1]. 고압 배전선로의 채널 환경과 임피던스를 정확하게 알아야만 신호의 왜곡과 감쇄가 적은 적절한 통신 시스템이 개발할 수 있다. 특히 전력선의 임피던스 측정과 임피던스 정합은 매우 중요하다. 하지만 현실적으로 고압 배전망(22.9kV)은 활성 상태이며 채널 환경과 임피던스의 측정 또한 용의하지 않다.

본 논문에서는 간단한 방법으로 임피던스를 측정하고 측정된 결과를 이용한 임피던스 정합방안을 제시할 것이다. 또한 커플링 커패시터와 차단 필터로 구성된 휴대용 고압 결합장치를 이용하여 22.9kV의 전력선의 특성을 구하였다. 이 장치는 고압 전력선에 안전하고 쉽게 연결이 가능하며 이장치를 이용하여 측정된 S-파라메타를 T-형 등가회로와 간단한 회로 해석을 통하여 전력선의 임피던스를 구할 수 있다.

금속귀로(wire-to-wire)와 대지귀로(wire-to-ground) 두 가지 방식으로 측정하였으며 측정된 결과를 이용하여 정합용 트랜스포머로 임피던스를 정합 하였다.

본론에서는 측정 방법과 측정 장치 그리고 측정 결과를 설명할 것이다.

2. 고압 전력선의 임피던스 측정

일반적인 고압 전력선망(10kV~100kV)은 고압 전력선망(100kV이상)과 저압 전력선망(0~10kV) 사이에 연결된

것으로 154kV를 22.9kV로 이를 다시 380V(220V)로 변환과정에서 22.9kV의 고압 선로를 말한다. 이 고압망은 전력선 통신망을 구성할 때 저압망을 이용한 홈 네트워크 망을 인터넷 망과 연결 시켜 주는 역할을 하게 된다.

그림1은 고압 전력선 통신망의 일반적인 구성도이다. 전력선 통신용 허브나 라우터가 고압 배전망에 설치되어 각각의 옥내 저압 배전망과 연결되어 통신망을 구성하는 형태이다[2].

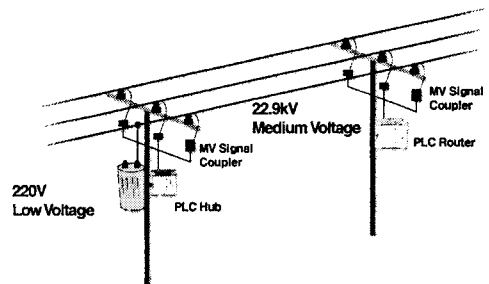


그림 1. 고압 PLC망의 구성도.

고압 전력선로의 임피던스 특성은 금속귀로 방식과 대지귀로 방식으로 측정한다. 이들의 구성방식은 그림 2와 같다 [2][3].

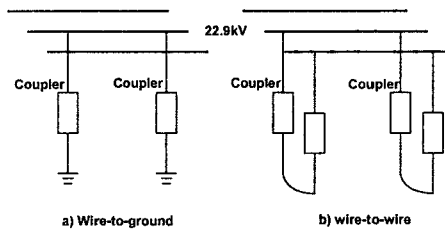


그림 2. a)대지귀로구성 b)금속귀로구성.

2.1 임피던스 측정 방안

그림 3은 22.9kV 고압 전력선을 측정하는 간단한 구성도이다. 22.9kV 고압 전력선과 측정 장치 사이에 커플링 회로가 설치된다. 이 커플링 회로는 T-형 등가회로 형태로 표현이 가능하다. 아래의 식 (1),(2)에 따라 측정된 S-파라메타를 이용하여 등가의 임피던스를 얻을 수 있다. 따라서 전력선의 임피던스를 Z_L 로 정의하면 전체 등가회로는 그림 4와 같이 표현된다. HP 8753D 벡터 회로망 분석기를 사용하여 커플링 회로의 S-파라메타를 측정하였다.

커플링 회로가 그림 4의 형태의 등가회로를 주어진다면 전력선의 임피던스는 회로 이론식을 이용하여 간단하게 구할 수 있었다.

$$S_{11} = \frac{(Z_3 + Z_L)(Z_2 + Z_1) - Z_0}{(Z_3 + Z_L)(Z_2 + Z_1) + Z_0} \quad (1)$$

Z_L 는 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$Z_L = \frac{Z_2 Z_3 (1 - S_{11}) + (Z_3 + Z_2)(Z_1 - Z_0 - S_{11}(Z_1 + Z_0))}{(Z_1 + Z_2)(S_{11} - 1) + Z_0(S_{11} + 1)} \quad (2)$$

벡터 회로망 분석기를 사용하여 전력선이 포함된 전체 네트워크의 반사계수인 S_{11} 을 얻는다. 식(1),(2)에서 $Z_0 = 50 \Omega$.

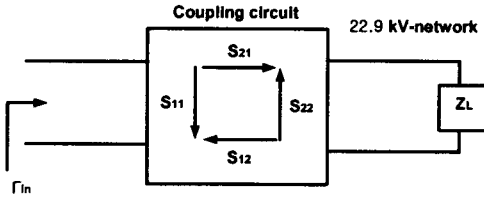


그림 3. 22.9kV 전력선의 임피던스 측정 구성도.

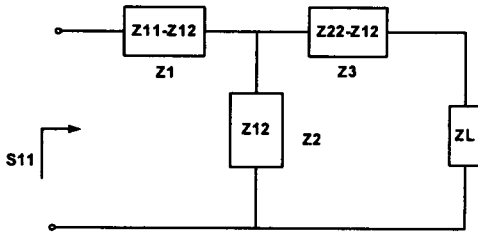


그림 4. T-형 등가회로 형태로 표현된 전체 고압 전력선 등가회로.

2.2 휴대용 고압결합장치

휴대용 고압결합장치는 22.9kV의 고압전력선의 임피던스를 측정하기 위해 만들어진 장치이다. 그림 5와 같이 고압결합장치는 퓨즈 역할을 하는 cut-off-switch (COS), 원하는 대역의 신호를 얻기 위한 커플러와 절연 파괴시 유입 될 수 있는 고압의 60Hz 신호를 신호선에서 우회시켜 주는 드레인 코일(Drain Coil)이라고 불리는 차단 필터로 구성된다.

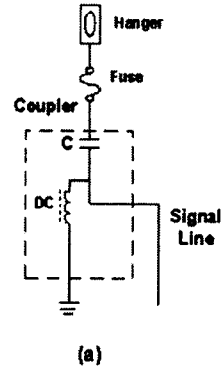
고주파 통신 신호는 커플링 커패시터를 통과하여 신호선으로 전달된다. 저주파 신호나 전력주파수(50~60Hz)가 들어오면 드레인 코일을 따라 접지로 흐르게 된다.

휴대용 임피던스 측정 장치는 2MHz~30MHz 대역의 주파수 통과 특성을 보이는 대역통과 필터로서 동작하는 고압 커플러이다. 이 장치는 고압 전력선에 임시적으로 설치되어 신호의 송수신 실험 및 통신 특성에 대한 여러 가지 실험을 가능하게 함으로써 고압전력선의 선로 특성을 파악할 수 있게 하였다.

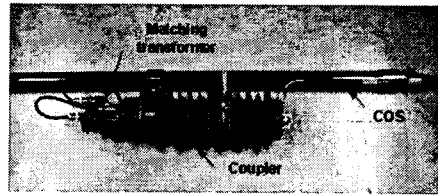
그림 5의 b)는 개발된 실제 휴대용 고압결합장치의 실제 사진으로써 고압 커플러, 정합용 트랜스포머와 C.O.S.로 구성된다. 고주파 통신 신호는(2MHz~30MHz) 커패시터에서 감쇄 없이 통과되며 드레인 코일 보다 낮은 임피던스를 가지는 신호선으로 전달된다. 커플러에 사용된 커패시터는 내전압특성과 광대역주파수(2MHz~30MHz) 특성을 만족해야 한다[1].

정합용 트랜스포머는 고압 전력선의 다양한 임피던스를 측정할 때 신호통과 특성을 향상시키기 위하여 커플러에 연결되며, 정합용 트랜스포머는 더 낮은 상태를 찾기 위해서 262 (H), 167 (M), 73 (L)의 3가지 다른 임피던스

로 설계되었다.



(a)



(b)

그림 5. a) 커플링 커플러의 회로
b) 고압결합장치의 실제 사진.

두개의 정합용 트랜스포머를 back-to-back 방식으로 연결하여 각 탭의 신호통과 특성을 측정하였다. 각 탭의 신호통과 특성은 전력선 통신 사용대역인 1MHz~30MHz에서 대략 감쇄가 1-2dB정도로 신호 감쇄를 최소화 할 수 있게 제작되었다.

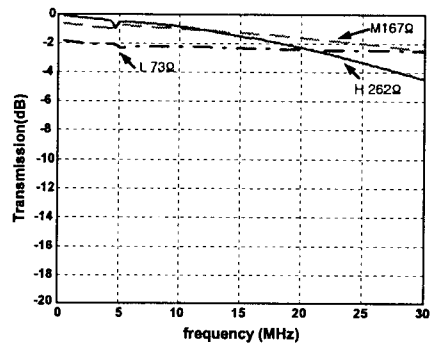


그림 6. 정합용 트랜스포머의 신호통과특성.

2.3 휴대용 고압결합 장치와 T-형 등가회로

휴대용 임피던스 측정 장치의 임피던스 특성은 두개의 고압 커플러를 back-to-back 방법으로 그림 7과 같이 연결하여 측정하였다. Z1은 연결된 두개의 커플러의 임피던스이며, R은 두개의 커플러를 연결한 선의 저항이다.

그림 8의 그래프는 back-to-back 방식으로 측정된 커플러의 임피던스 그래프이다. 실선이 전체의 임피던스이며, 파선은 임피던스의 실수 부분이며 점선 세선은 임피던스의 허수 부분이다. 이 측정 결과를 이용하여 T-형 등가 회로를 구하였다.

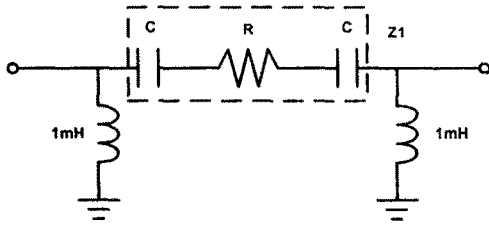


그림 7. 고압 커플러 회로.

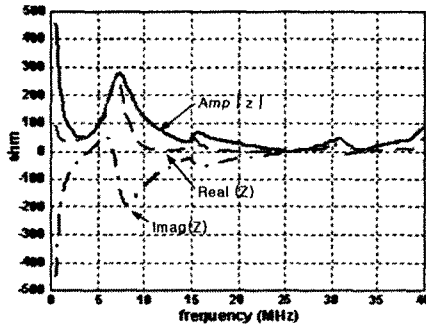


그림 8. 커플러의 임피던스.

2.4 고압 전력선의 임피던스 측정과 임피던스 정합
 고압 전력선의 임피던스는 한국 전기연구원의 고압 배전선로 실증시험장에서 휴대용 고압결합장치를 사용하여 측정하였다. 시험장의 고압망의 길이는 4.9Km이며 A, B, C, D, E의 다섯 지점에서 측정하였다.

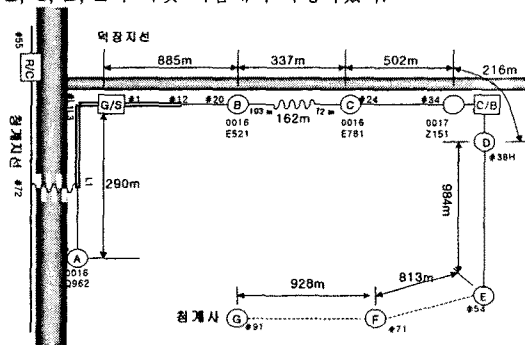


그림 9. 고압배전선로 실증시험장 구성도.

S-파라메타의 측정은 HP 8753D 벡터 회로망 분석기를 사용하여 측정하였으며, 측정 방식은 대지귀로와 급속귀로 두 가지 방법으로 비교하여 측정하였다. 또한 고압결합장치의 정합 트랜스포머를 사용하여 정합한 경우와 정합 트랜스포머를 사용하지 않은 임피던스 부정합 상태의 경우를 비교 하였다.

그림 10은 고압 배전망에서 고압결합장치를 사용하여 전체 임피던스를 측정하는 방법을 보여주며, 그림 11은 정합 트랜스포머를 사용하여 측정한 전체 임피던스 그래프와 S-파라메타의 그래프이다. 파선이 임피던스 정합 트랜스포머를 사용한 결과이며, 실선이 트랜스포머를 사용하지 않고 측정한 결과이다. 일점 세선은 곡선 적합 기법으로 유추한 임피던스 값이다. 측정된 S-파라메타를 이용하여 앞에서 제시한 T-형 등가회로를 이용하여 전력선의 임피던스를 구할 수 있었다.

고압 배전선로 실증 시험장에서의 측정을 통하여 얻어진

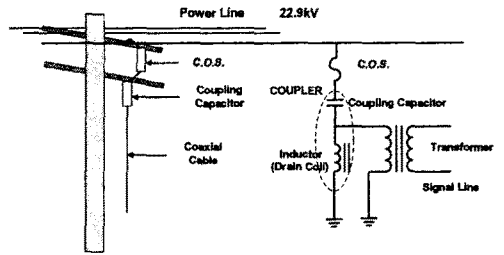


그림 10. 대지귀로 방식 측정 구성도.

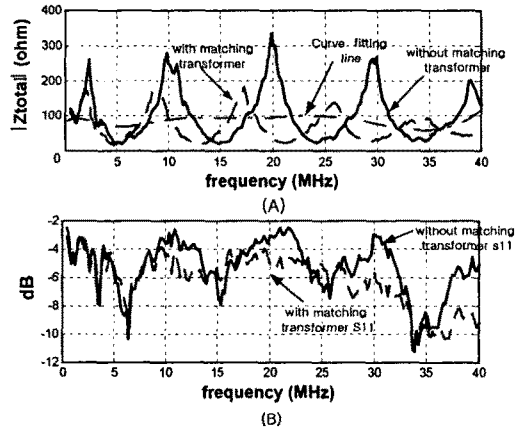


그림 11. (a) 전체 임피던스, (b)S-파라메타.

결과에서 고압 배전망의 임피던스의 평균값을 구할 수 있었다. 측정 대역인 500kHz~40MHz 사이의 평균임피던스는 100~110Ω이다.

3. 결 론

본 논문에서는 고압 배전망의 쉽고 간단한 임피던스 측정 방안을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 방법으로 22.9kV 고압 전력선의 임피던스를 측정하였으며, 통계적인 분석을 통하여 고압망의 평균 임피던스를 구하였다. 또한 측정된 결과를 이용하여 정합 트랜스포머를 사용한 임피던스 정합 방안을 제시하였다.

향후과제로는 전력선 통신을 위한 고압 배전망의 자동 임피던스 정합 회로를 구현할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Jae-Jo Lee, "Development of PLC subscriber networks on the Medium Voltage Power Grid", International Conference on Electrical Engineering, pp.1935-19, 2002
- [2] Seon-Hyo Kim, A Characteristic Analysis of the Wire to Wire and Wire to Ground Channel for PLC on 22.9kV Medium Voltage Power line." The Journal of the Korean Institute of Communication Sciences Vol 27 NO 9B, pp.886-894, 2002.
- [3] Manfred Zimmermann, Klaus Dostert, "A Multipath Signal Propagation Model for the power line Channels at High Frequency Range", Proceedings of the Power-Line Communications and Its Applications, pp.45-51, 1999.
- [4] David M. Pozar, "Microwave Engineering", Addison Wesley, 1998
- [5] Holger Philipps, "Performance Measurements of Powerline Channels at High Frequencies", Proceedings of the Power-Line Communications and Its Applications, pp 229-2, 1998.