

고속 전력선 통신을 위한 고압 배전선로 입력 임피던스 특성 연구

이재조, 이원태, 변우봉, 최성수
한국전기연구원 전기정보망연구그룹

Input Impedance Characteristic of Medium Voltage Power Line for High Speed Power Line Communications

Jae-Jo Lee, Won-Tae Lee, Woo-Bong Byun, Sung-Soo Choi
Korea Electrotechnology Research Institute, Power Telecommunication Network Research Group

Abstract - 고압 배전선로를 전력선통신망으로 활용하기 위하여는 고압 배전선로에 대한 입력 임피던스에 대한 정확한 이론적 고찰과 실선로에서의 측정을 통한 검증이 요구된다. 본 논문에서는 고압 배전선로용 신호결합장치의 등가회로를 바탕으로 고압 전력선통신 시스템의 입출력 모델을 제안한다. 제안된 시스템입출력 모델을 바탕으로 고압 배전선로의 고주파(2-30MHz) 대역의 입력 임피던스를 계산한다. 고압 배전선로 통신 입출력 모델에서 지면의 유전상수, 전력선의 길이, 지면의 도전율에 따른 배전선로 입력 임피던스의 이론적 분석과 실 선로에서의 입력 임피던스 측정 결과를 소개한다.

1. 서 론

전력선 통신 모델은 전력신호의 유입에 대해 회로를 보호하고 고주파에 해당하는 통신 신호만을 효과적으로 전달하기 위해 적절한 신호결합장치를 필요로 한다. 이는 수십 kV급의 고전압 전력선(60Hz)가 존재하는 배전선로를 통해 통신신호를 주입하고 수신 할 경우, 이에 대해 특성화된 신호결합장치의 설계가 필요하게 된다.

신호결합장치는 주파수 대역별로 구분되는데 저주파 대역(450kHz)의 신호결합장치는 주로 필름 커패시터를 사용하고, 고주파 대역(2-30MHz)에서는 용량성(capacitive) 및 유도성(inductive) 방식을 모두 실제 상황에 맞게 제작하여 사용한다. 보통 용량성 신호결합장치는 배전선로와 물리적인 접촉을 하여 사용하므로 접촉식 신호결합장치, 유도성 신호결합장치는 배전선로에 물리적인 접촉이 없는 클램프형으로 부착되어 비접촉식 신호결합장치로 명명된다. 일반적으로 접촉식 신호결합장치는 가공지선용으로, 비접촉식 신호결합장치는 지중케이블용으로 사용된다.

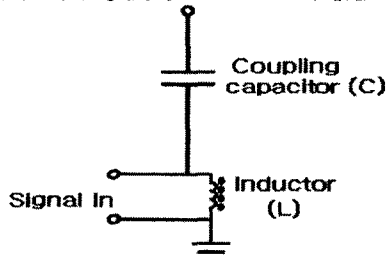
본 논문에서는 3상 4선식 가공 배전선로를 사용하는 우리나라에 적합한 고주파 전력선 통신 신호 결합장치의 개발을 위하여 고압 배전선로 전력선 통신 시스템의 임피던스를 계산하기 위한 고압 배전선로 입출력 모델을 제안하고 각 구성 부분에서의 임피던스를 계산하였으며 실제 제작된 고압용 신호결합 장치를 이용하여 임피던스를 측정 한 결과를 상세히 설명 하였다.

2. 본 론

2.1 고압 배전선로 입력 임피던스 특성

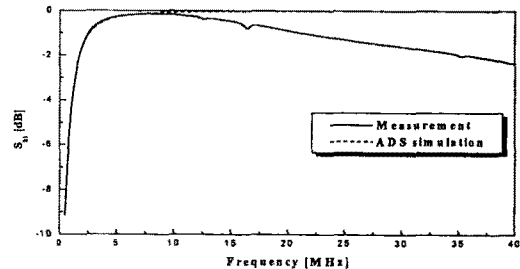
2.1.1 고압 배전선로용 신호결합장치 등가회로

그림 1에 고압 신호결합장치의 L, C 등가회로 나타내었다. 고압 신호결합장치는 드레인 코일(L)과 고압 커패시터(C)로 구성된 고역 통과 필터로 볼 수 있다. 신호결합장치의 드레인 코일 인덕턴스는 1mH, 고압 커패시터의 정전용량은 1.2nF-3nF의 값을 가진다.



〈그림 1〉 신호결합장치 등가모델

그림 2는 고압 신호결합장치의 전송특성 (S_{21})을 L, C 모델로부터 Agilent ADS (Advanced Design System) 시뮬레이터를 사용해 시뮬레이션 한 결과와 실제 측정한 결과를 나타낸다. ADS 시뮬레이션에서 L은 1mH, C는 1.2nF으로 설정하였다. 고주파 영역을 제외 하면 거의 일치함을 알 수 있는데, 이는 주파수 증가에 따라 실제 고압 신호결합장치의 물리적 연결선로의 손실에 기인한 결과로 판단된다.

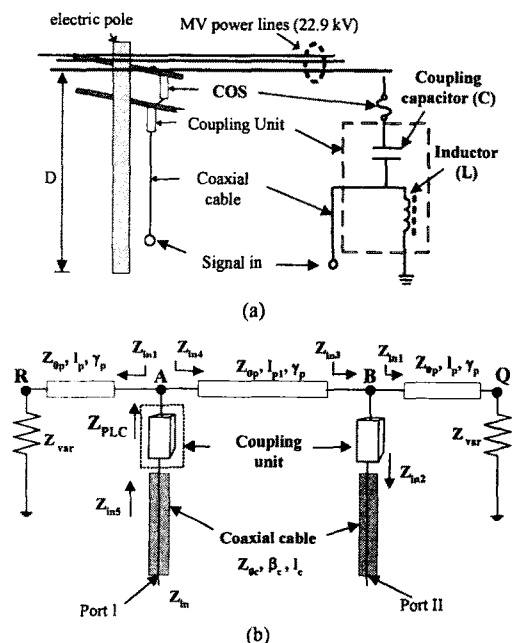


〈그림 2〉 고압 신호결합장치의 전송특성 비교

2.1.2 전력선 통신 시스템의 입출력 모델

그림 3은 대지거로 방식을 적용한 전력선 통신 시스템의 구성도이다. 과부하로 인한 고압 신호결합장치의 파손을 방지하기 위해 전력선과 고압 신호결합장치 사이에 COS (Cut Off Switch)가 존재한다. 고압 신호결합장치와 전력선 통신 모델은 75Ω 동축케이블로 연결된다. 이러한 전력선 통신시스템의 입출력 단 모델을 나타내면 그림 3(b)와 같다[1].

여기서 전력선의 특성 임피던스는 앞에서 구한 Z_{0p} 로 설정한다. 그림 3(b)에서 보는 바와 같이 두 전주의 사이에서 통신을 한다고 할 때 전진주의 바깥쪽으로도 연속적인 전력선이 존재하고 시간 및 지역에 따른 부하의 변화를 예상할 수 있다. 따라서 연속적으로 분배된 전력선과 부하의 임피던스를 Z_{var} 로 표시한다. 여기서 입력 임피던스는 선로의 특성임피던스에 의해 주도적으로 나타나기 때문에 Z_{var} 값은 입력 임피던스에 거의 영향을 주지 않는 값이다.



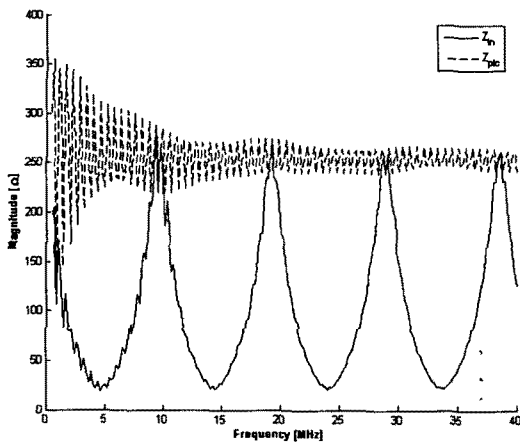
〈그림 3〉 전력선 통신 시스템 구성도(a) 및 2 포트 등가모델(b)

이러한 근거로부터 전력선의 길이 l_p, l_{pl} 이 사용주파수 대역(2-30MHz)에서 통신 신호의 파장보다 훨씬 길기 때문에 전력선 자체를 장도선 진행파(long wire traveling wave) 안테나로 가정 할 수 있다. 따라서 Z_{var} 값은 전력선의 특성임피던스와 같은 값으로 주어질 수 있다.

그림 3(b)의 2포트 모델 상의 전력선 통신 시스템의 입력임피던스 Z_{in} 은 다음과 같이 계산된다[2].

$$Z_{in} = Z_{0c} \frac{Z_{in6} + jZ_{0c} \tan(\beta_c L_c)}{Z_{0c} + jZ_{in6} \tan(\beta_c L_c)} \quad [\Omega] \quad (식 1)$$

실제 전력선 통신 시험장에서 사용되는 동축 케이블의 특성임피던스 $Z_{0c} = 75 \Omega$ 이고 유전상수 $\epsilon_{rc} = 1.5$ 이며 길이 $L_c = 12.7m$ 이다. 그리고 전력선의 길이 l_{pl}, l_p 는 측정 지점마다 다르기 때문에 일단 전력선의 길이 $l_{pl} = l_p = 1000 m$ 로 정하였다. 그림 4는 지면의 유전상수를 10, 전력선의 길이를 1,000m, 지면의 도전율을 10^{-2} 로 하여 계산한 Z_{PLC}, Z_{in} 의 그래프이다.



〈그림 4〉 $\epsilon_{rg} = 10, l_p = 1000, \sigma_g = 10^{-2}$ 일 때의 Z_{in}

Z_{PLC} 는 그림 3(b)의 A 지점에서 들여다본 입력임피던스이기 때문에 좌, 우 측의 병렬조합에 의해 전력선 특성임피던스의 거의 절반에 해당하는 값이 나옴을 알 수 있다. 또한 전체 주파수 대역에서 공진현상을 보이는 것은 신호가 전력선 상의 분기점에서 반사되어 오기 때문이며, 따라서 전력선의 길이를 충분히 증가시켜 신호가 모두 전력선 상에서 감쇠하도록 한다면 공진현상은 사라지게 된다. 이는 전력선 통신 입력단의 임피던스 정합에 중요한 자료로 이용될 수 있을 것이다. Z_{PLC} 는 지면의 유전상수가 증가할수록 전체 주파수 대역에서 강한 공진현상을 보이며, 이것은 지면유전율이 증가할수록 신호의 감쇠가 작아지는 데서 기인한다.

동축케이블과 전력선 사이의 임피던스 부정합 때문에 극점이 주기적으로 생김을 알 수 있으며 극점에서의 임피던스 값은 Z_{PLC} 와 동일함을 알 수 있다. 10MHz 이상의 주파수 대역에서는 신호의 감쇠에 의하여 분기점 및 임피던스 부정합 점에서의 반사가 적으나 10MHz 이하의 대역에서는 여전히 공진현상을 보인다. 즉 저주파 대역에서의 신호 감쇠가 고주파 대역과 비교하여 상대적으로 작기 때문에 신호 입력점에서 측정된 반사 신호가 저주파 대역에서 크게 나타난다고 해석할 수 있다.

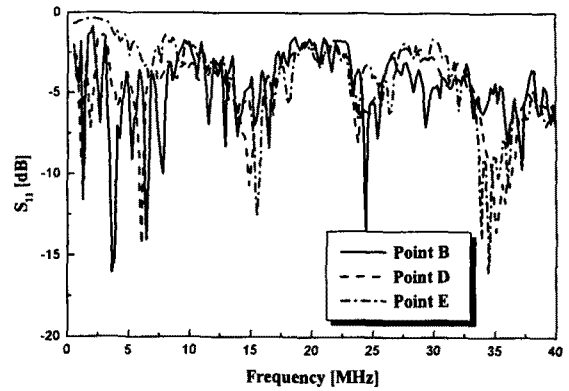
2.2 고압 배전선로의 입력 임피던스 측정

앞에서 배전선로의 선로 파라미터 및 전력선 통신 시스템이 구성시의 입력부에서의 임피던스를 계산하였다. 고압 신호결합장치 및, 동축케이블의 영향을 고려한 임피던스인 Z_{PLC} 는 거의 모든 주파수 대역에서 특성임피던스의 절반에 해당하는 값을 가짐을 알 수 있었다. 따라서 고압 실증 시험장의 여러 지점에서 산란계수를 측정하고, 측정된 산란계수로부터 입력임피던스 및 Z_{PLC} 를 추출하여 이론치와 비교하여 그 결과를 검토하고자 한다.

실제 측정은 고압 배전선로 시험장에서 모델 신호 입력 단에 벡터 네트워크 분석기(HP8753D)를 연결하여 산란계수를 측정하였다. 그림 5는 측정된 반사계수(S_{11}) 값을 보여준다[3].

그림 5로부터 모든 구간에서 측정된 반사계수가 거의 비슷한 형태를 가짐을 알 수 있으며, 동축 케이블의 영향에 의해 주기적인 극점이 생김을 알 수 있다. 또한 전력선의 임피던스가 매우 큰 값이기 때문에 반사가 강하고, 약 10MHz 까지 요동(fluctuation)이 심함을

알 수 있다. 네트워크 분석기는 측정하려는 네트워크의 입력단에 신호를 입력시켜주어 반사되는 신호를 수신하고, 이 두 신호를 비교하여 반사계수를 계산한다.

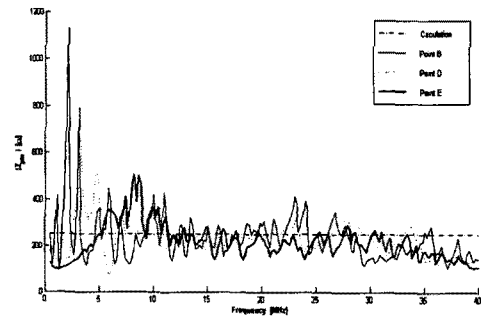


〈그림 5〉 실증시험장의 각 지점에서 측정된 반사계수

또한, 측정된 반사계수로부터 입력임피던스를 다음과 같이 계산할 수 있다. 그리고 측정된 입력임피던스로부터 Z_{PLC} 를 추출하기 위해서는 고압 신호결합장치 및 동축케이블의 영향을 제거시켜 주어야 한다.

$$Z_{PLC} = \frac{(\omega^2 LC - 1)Z_{in6, mea} + j\omega L}{\omega^2 LC + j\omega CZ_{in6, mea}} \quad [\Omega] \quad (식 2)$$

식 2는 측정된 입력임피던스로부터 고압 신호결합장치 및 동축케이블의 영향이 제거된 Z_{PLC} 값을 나타낸다. 그림 6은 Z_{PLC} 의 절대값의 측정 결과와 계산값의 비교 결과를 보여준다.



〈그림 6〉 고압 배전선로의 측정 Z_{PLC}

그림 6에서 보는 바와 같이 양단이 무한 선로일 경우(중간 실선)의 입력임피던스가 약 250Ω에 수렴하는 것에 비하여 실증시험에서의 입력임피던스는 200~400Ω이상의 값을 나타낸다. 이러한 오차는 실제 선로가 입력 임피던스 측정지점에서의 양방향 선로가 무한선로가 아닌데서 기인한다.

3. 결 론

고압 배전선로를 이용한 고속 전력선 통신망 개발을 위하여 필수적으로 고압 배전선로용 신호결합장치가 요구된다. 본 논문에서는 이러한 신호결합 장치의 필수 구성요소인 임피던스 정합 회로를 개발하기 위하여 고압 배전선로의 입력임피던스를 구하고자 하였다. 결론적으로 이론적 및 실증시험에서 측정된 입력임피던스는 약 200~300Ω이상으로 나타났다.

즉 입력임피던스는 전력선 특성임피던스의 거의 절반에 해당하는 값이 나옴을 알 수 있다. 따라서 고압 신호결합장치와 동축 케이블 사이에 75Ω으로부터 약 200~300Ω이상으로 임피던스를 변환하는 방식으로 임피던스 정합이 가능함을 알 수 있다. 앞으로 이러한 결과를 바탕으로 다양한 임피던스 정합 시험을 수행하고자 한다.

〔참고 문헌〕

- [1] 천동환, 이진택, 박영진, 김관호, 신철재, "전력선 통신 시스템의 입력임피던스 계산" 한국통신학회 논문지, vol.29, no.9A, pp.983-990, Sep. 2004.
- [2] 이재조, "고압 배전선로 전력선 통신 채널 특성 분석 연구", 경희대학교 대학원 전자공학과, 박사학위 논문, pp.37-46, 2005.6
- [3] 김관호, 이재조, 박영진, 오휘명, 김요희, 이원태 외, "고압 배전선로를 이용한 고속 전력선 통신망 개발 최종 보고서", 2005.3