

고압전력선 통신을 위한 임피던스 측정 및 정합 방안 연구

論 文

53D-5-6

Impedance Measurement and Matching Technique for Medium-Voltage Powerline Communication

李在祚* · 劉政訓** · 洪忠善*** · 李大寧§

(Jae-Jo Lee · Jung-Hoon Yu · Choong-Seon Hong · Dae-Young Lee)

Abstract - Currently, high data rate PLC(Power Line Communications), up to 100 Mbps, which use frequency bandwidth between 2 MHz and 30 MHz is investigated very hard, and commercial PLC modem for low voltage powerline network (indoor) is coming soon into communication market.

For the purpose of developing a fit communication system which has little distortion of signal and attenuation, it is surely necessary to know about channel environments of powerline. Especially, the impedance measurement of the powerline and impedance matching are very important. As is known, since medium-voltage powerline (22.9 kV) is still working, it is not so simple to measure the powerline impedance.

In our study, a portable impedance measurement equipment is developed. It consists of coupling capacitor, a drain coil and impedance matching transformer. The equipment is easily connected to medium voltage line and impedance of power line is measured using a network analyzer.

Also, measurement results are used for impedance matching of PLC signal. In fact, matching transformer with several different impedances are used. The matching transformer is connected between coupling capacitor and signal port.

In this paper, the developed portable impedance measurement equipment and impedance measurement results are presented. Also impedance matching technique using matching transformers will be explained. We showed the result of the improved performance by the impedance matching.

Key Words : Power Line Communications, Impedance Measurement, Impedance Matching, Medium Voltage

1. 서 론

최근 한국의 고속 광대역 인터넷 서비스는 xDSL, 유선 케이블망, 무선 랜(Wireless LAN)등의 통신망을 이용하여 제공되고 있으며, 서비스율이 72.9%로 높은 보급률을 보이고 있다. 하지만 이런 서비스 방식들은 높은 망 구축비용 때문에 주로 도시 지역을 중심으로 서비스가 되고 있다 [1][2]. 따라서 기존의 서비스가 제공되기 힘든 산간지역이나 농촌지역에는 새로운 통신망의 이용이 요구되고 있다.

새로운 통신시스템을 구성하기 위해서는 무선 랜과 같이 새로운 시설들을 설치하는 방법과 전화선이나 동축 케이블 망처럼 이미 설치되어 있는 가입자망을 이용해 통신망을 구현하는 방법이 있다. 전자의 경우에는 통신망 설치에 따르는 경제적인 문제가 야기되고, 후자의 경우에는 기존의 가입자에 국한된다는 것이 단점이다.

전력선통신은 후자의 경우로, 이미 설치된 전력선을 통신을 위한 매체로 사용하는 방법이다. 전력선 통신의 경우 기존 전력 설비와 통신 시스템의 결합을 통한 광범위한 네트워크 구성이 가능하다는 장점이 있다[3]. 또한 전력선을

통해 가정의 전기기기들을 연결함으로써 같은 건물 내 모든 전자기기의 네트워크화가 가능하다. 전력선 통신은 전력송 배전을 위해 설치된 기존의 망을 통신에 이용하여 통신선로 가설에 필요한 비용을 절감하고, 전력선이 설치된 곳이라면 어디서든 통신이 가능하다는 점에서 현재 나와 있는 통신망 중 가장 광범위한 망구성이 가능하다. 따라서 전력선 통신은 기존의 망들을 이용한 서비스가 제공되기 힘든 지역에서 새로운 대안이 될 수 있다. 그러나 이런 장점에도 불구하고 전력선 통신은 전력선의 높은 노이즈(Noise) 레벨, 가변적인 임피던스 변화(Impedance variation), 높은 신호의 감쇠(Attenuation) 등의 원인에 의해 다른 통신 매체에 비해 데이터 전송의 신뢰성이 떨어진다고 알려져 있었다. 또한 적합한 통신 프로토콜 및 미들웨어의 마련, 다른 통신 매체들과의 간섭을 제거하기 위한 주파수 할당 문제 및 통신 신호의 출력 규제, 각 업체들의 제품들 간의 호환성 등의 많은 문제들이 남아있다[4].

이런 문제들의 가장 큰 원인은 전력선 통신망에서 사용되는 전송 매체인 전력선은 기본적으로 데이터 전송용으로 설계된 것이 아니라 단순히 전력 전달용으로 설계되었기 때문이다[5]. 따라서 데이터 전송용으로 사용될 경우 앞에서 언급한 다양한 노이즈 특성과 감쇠 현상이 발생이 데이터 통신을 방해하는 원인이 된다. 이런 문제를 해결하기 위한 방법으로 통신출력을 높여서 전력선의 노이즈와 감쇠를 극복할 수도 있지만, 통신출력을 높이면, 전력선에서 방사파의 세기 역시 증가하게 되므로, 고속 전력선통신 사용대역인 2MHz~30MHz 이내의 타전자파 이용설비와의 간섭문제

* 正 會 員 : 한국전기연구원 선임연구원
** 正 會 員 : 한국전기연구원 위촉연구원
*** 正 會 員 : 경희대학교 전자정보공학부 조교수
§ 正 會 員 : 경희대학교 전자정보공학부 교수
接受日字 : 2003年 12月 30日
最終完了 : 2004年 3月 6日

나 인체에 미치는 영향 등 새로이 전자 환경성 문제가 야기 될 가능성이 있다. 따라서 현실적인 대안은 전력선 채널을 구성하는 다양한 요소들에 대한 분석을 통하여, 전력선 통신 채널에 가장 적합한 통신 모델을 제안하는 것이다.

전력선 통신 채널 특성은 크게 임펄스 응답으로부터 얻어지는 신호감쇄특성 및 채널 잡음 특성, 그리고 임피던스 특성으로 구분할 수 있다[3][6]. 본 논문에서는 이러한 특성 중에서 최대 신호전력의 전송을 위하여 필요한 전력선의 임피던스 특성과 정합 방안에 대하여 연구 하였다. 임피던스 정합은 가장 효율적인 신호 전달을 위한 요소로 전력선에 통신 신호 전달시 반사파를 최대한 줄이는 역할을 한다[7][8]. 전력선의 고주파 임피던스는 배전선의 전류와 전압에 따라 시변적인 것으로 알려져 있다[9]. 하지만 현실적으로 고압 배전망은 환선 상태이기 때문에 채널 환경과 임피던스의 측정은 용이하지가 않다. 특히 2MHz~30MHz대역에서의 임피던스 특성에 대한 실증 데이터를 측정할 수 있는 현실적인 대안이 없는 실정이다.

본 연구에서는 이러한 가변적인 임피던스에 대한 특성을 실제 필드에서 실시간으로 측정하기 위하여 휴대용 임피던스 측정 장치를 개발하고, 이 장치를 통하여 다양한 장소와 시간대에 고압 배전망의 임피던스를 측정함으로써 다양한 케이스의 자료를 얻을 수 있었다. 통신 시스템을 설치할 배전망의 임피던스를 측정하였으며 그 자료를 기반으로 하여 임피던스 정합을 실현하여 전력선 통신망의 성능 향상을 추구하였다.

2. 본 론

2.1 고압 배전선로의 망구성

일반적인 고압 배전 선로 전력선망(10kV~100kV)은 초고압 전력선망(100kV이상)과 저압 전력선망(0~10kV)사이에 연결된 것으로 우리나라의 경우 일반적으로 22.9kV를 220V(380V)로 변환하는 과정의 배전 선로망을 일컫는다[10][11]. 이 고압 배전선로망은 전력선 통신 가입자망을 구성할 때 저압 배전망을 이용한 홈 네트워크 망을 백본의 기간망과 연결시켜 주는 역할을 하게 된다.

그림 1은 고압 전력선 통신망의 일반적인 구성도이다. 전력선 통신용 허브나 라우터가 고압 배전망에 설치되어 각각의 옥내 저압 배전망과 연결되어 통신망을 구성하는 형태이다[11][12].

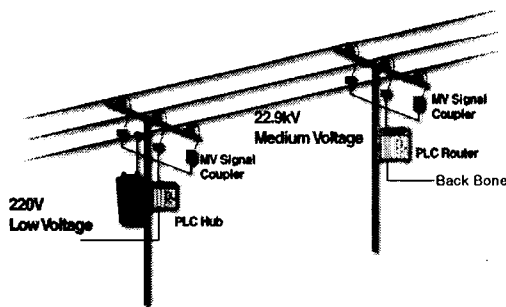


그림 1. 고압 PLC망의 구성도
Fig. 1. Structure of Medium Voltage PLC Network

고압 전력선로의 임피던스 특성은 금속귀로 방식(Wire-to-Wire)과 대지귀로 방식(Wire-to-Ground)으로 측정이 가능하다. 이들의 구성방식은 그림 2와 같다[11][12].

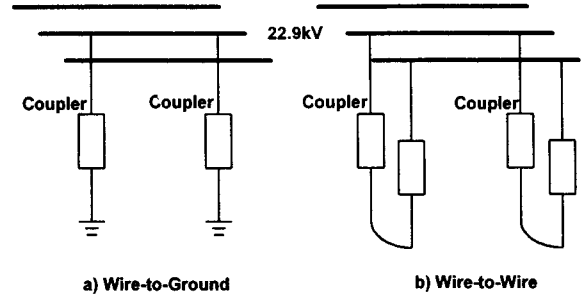


그림 2. a)대지귀로 구성 b)금속귀로 구성
Fig. 2. a) Wire-to-Ground b)Wire-to-wire

2.1.1 임피던스 측정 방안

기존의 전력선 임피던스에 관한 연구들에서는 고압보다는 홈 네트워크에 바로 적용이 가능한 저압 임피던스 측정이 주로 이루어졌다. 고압의 경우 실제 접근이 용이하지 않기 때문에 측정 보다는 모델링에 의한 분석이 주로 이루어졌다. 저압 전력선로의 입력임피던스는 연결된 각종 전기 기구의 상태와 주파수에 따라 매우 다양하게 나타나며 그 범위는 수Ω~수백Ω이라는 것이 알려져 있다[13][14][15]. 110V 또는 220V 저압 채널 특성 연구[16][17]는 1973년에 처음으로 AC전력 출력단의 임피던스 측정에 대한 연구결과를 발표한 것을 시작으로 주파수 500KHz에서 500MHz의 범위에서 저압 전력선의 임피던스 측정 기술까지 제시되었다[18].

그림 3은 고압 배전선로의 임피던스 측정을 위하여 배전선로의 임피던스 측정 회로를 2-포트 회로망으로 표현한 그림이다. 측정회로는 22.9kV 고압 배전선과 측정 장치 사이에 커플링 회로가 설치되며, 이 커플링 회로는 T-형 등가회로 형태로 표현이 가능하다. 임피던스 측정의 기본개념은 반사계수인 Γ_{in} 을 벡터 회로망 분석기를 이용하여 측정하여 배전선로의 부하 임피던스를 계산하는 방법이다.

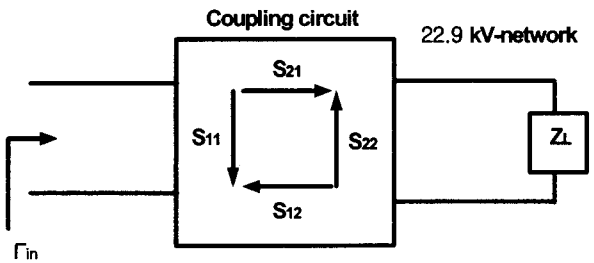


그림 3. 2-포트 회로망으로 표현된 전력선의 임피던스
Fig. 3. 2-port network of power line impedance

아래의 식 (1),(2)에 따라 측정된 S11 파라미터를 사용하여 등가의 전력선 임피던스를 얻을 수 있다. 따라서 전력선의 임피던스를 ZL로 정의하면 전체 등가회로는 그림 4와

같이 표현된다. HP 8753D 벡터 회로망 분석기를 사용하여 커플링 회로의 S-파라메타를 측정하였다.

커플링 커패시터와 Cut-Off-Switch(COS)를 하나의 전력선 결합기로 보고 이것의 산란계수를 회로망 분석기를 이용하여 구하고, 이 결합기의 산란계수가 $S_{12}=S_{21}$ 이면, 결합기는 간단히 T형 등가회로로 표현이 가능하다. 등가회로의 임피던스 Z_{11} , Z_{12} , Z_{21} , 그리고 Z_{22} 는 회로망 분석기를 사용하여 구한 결합기의 반사계수로부터 구할 수 있다. 그림 4에 전체 고압 전력선 측정 시스템의 등가회로를 표시하였다. 커플링 회로가 그림 4의 형태의 등가회로를 주어진 전력선의 임피던스는 회로 이론식을 이용하여 구할 수 있다 [19].

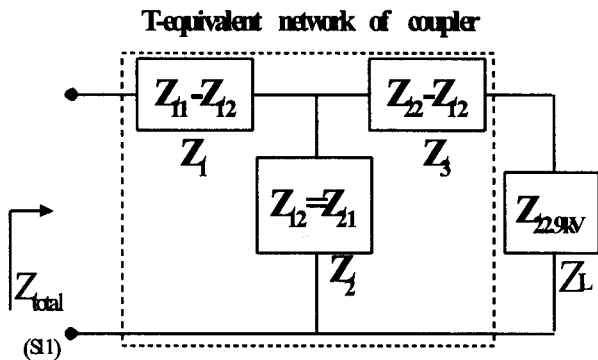


그림 4. 고압 전력선의 전체 등가 회로
Fig. 4. Equivalent network of MV power line

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

$$Z_2 \parallel (Z_3 + Z_L) = \frac{Z_2 \cdot (Z_3 + Z_L)}{Z_2 + Z_3 + Z_L} \quad (2)$$

여기서 식 (1)에 식 (2)를 대입하여 Z_L 에 대하여 정리하면,

$$Z_L = \frac{Z_2 Z_3 (1 - S_{11}) + (Z_3 + Z_2)(Z_1 - Z_0 - S_{11}(Z_1 + Z_0))}{((Z_1 + Z_2)(S_{11} - 1) + Z_0(S_{11} + 1))} \quad (3)$$

Z_L 은 식 (3)과 같이 표현되며, 식 (3)으로부터 전력선의 임피던스는 결합기의 반사계수로부터 얻어지는 Z_1 , Z_2 , Z_3 와 S_{11} 에 의해서 결정됨을 나타낸다. S_{11} 또한 식 (4)와 같이 표현 가능하다.

$$S_{11} = \frac{((Z_3 + Z_L) \parallel Z_2 + Z_1) - Z_0}{((Z_3 + Z_L) \parallel Z_2 + Z_1) + Z_0} \quad (4)$$

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

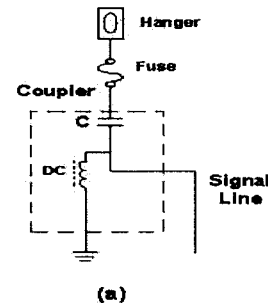
2.1.2 휴대용 고압결합장치

휴대형 고압결합장치는 22.9kV의 고압전력선의 임피던스

를 측정하기 위하여 제작한 신호결합 장치이다. 그림 5의 (a)와 같이 고압배전선로용 신호결합장치는 퓨즈 역할을 하는 Cut-Off-Switch(COS), 원하는 대역의 신호를 주입, 분리하기 위한 커패시티브 커플러와 커플러의 절연 파괴시 유입될 수 있는 고압 배전선로의 60Hz 대전류를 통신 신호 선에서 우회시켜 주는 드레인 코일(Drain Coil)로 구성된다. 고주파 통신 신호는 커플링 커패시터를 통과하여 신호선에 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 퓨즈(Fuse)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[20].



(a)



(b)

그림 5. a) 고압배전선로용 커플러의 회로
b) 고압배전선로용 커플러의 실제사진
Fig. 5. a) Circuit of medium voltage coupler
b) Picture of medium voltage coupler

커플러에 장착된 정합용 트랜스포머는 고압 전력선의 다양한 임피던스를 측정할 때 신호통과 특성을 향상시키기 위하여 커플러에 연결되며, 커플러와 연결선의 길이를 짧게 하여 연결선에 의한 부정합 요인을 최소화하였다.

정합용 트랜스포머는 더 좋은 임피던스 정합 상태를 찾기 위해서 1차 측 임피던스를 262 (H), 167 (M), 73 (L)의 3가지 다른 임피던스 변환 값을 가지도록 설계되었다. 2차 측 단자는 50Ω이며 여기에 50Ω 동축케이블을 통하여 계측기 또

는 통신 시스템을 연결하여 시험을 행하게 된다. 접지단차에는 주상 설치 시와 같이 단시간 대 전류에 충분히 견딜 수 있는 굵기의 접지선에 연결된다. 또한 동축케이블과 접지선은 스틱 내부를 관통하여 아래쪽 구멍으로 인출함으로써 본 장치 가설 시 인접 타전선과 접촉되는 위험이 없도록 하였다.

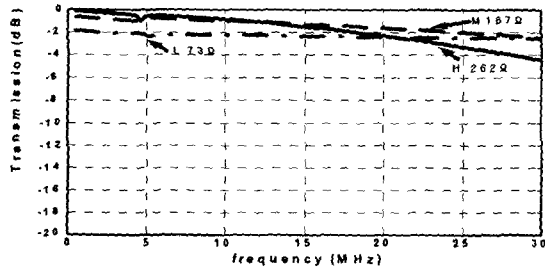


그림 6. 정합용 트랜스포머의 신호통과특성
Fig. 6. Signal transmission characteristic of impedance matching transformer

그림 6은 두개의 정합용 트랜스포머를 대향 접속(back-to-back)방식으로 연결하여 각 탭의 신호통과 특성을 측정 한 그래프이다. 즉 순수한 정합트랜스포머만의 특성이며 각 탭의 신호통과 특성은 전력선 통신 사용대역인 2MHz ~ 30MHz 에서 대략 감쇄가 1~2dB정도로 신호 감쇄를 보이며 광대역 전력선 통신 사용 주파수 대역에 걸쳐서 양호한 특성을 보이도록 제작되었다.

2.1.3 휴대용 고압결합 장치 등가회로

휴대용 임피던스 측정 장치의 임피던스 특성은 두개의 고압 커플러를 대향접속방법으로 그림 7과 같이 연결하여 측정하였다. Z1은 연결된 두개의 커플러의 임피던스이며, R은 두개의 커플러를 연결한 선의 저항이다. 그림 8의 그래프는 완전 조립한 2개의 휴대용 고압 결합장치를 대향 접속하여 H, M, L 각 각 모드 및 직결 상태에서의 전송특성을 측정 한 것이다. 이 그림은 커플러, 연결선, 스위치 등의 영향으로 전송 특성이 현저히 나빠지는 현상을 보이는데 트랜스포머의 임피던스를 낮게 할수록 심해지는 것을 알 수 있다. 그것은 연결선을 포함한 커플러 측의 임피던스가 H 값에 가깝다는 것을 의미한다. 이 측정 결과와 앞 절에서 언급한 식을 이용하여 고압결합 장치의 T-형 등가 회로를 구하였다.

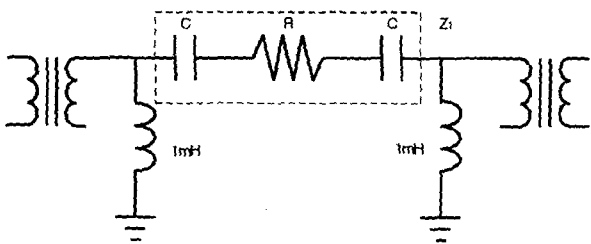
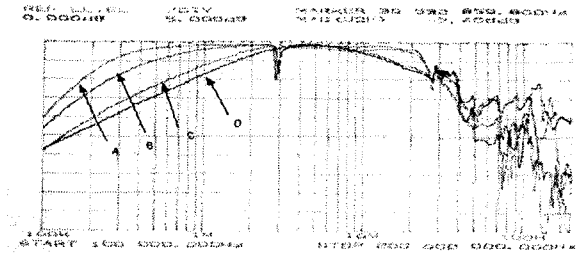


그림 7. 고압용 커플러의 T형 등가회로
Fig. 7. T-type equivalent circuit of MV coupler



A : H 262Ω B : M 167Ω C : L 73Ω D : 50Ω
그림 8. 휴대용 고압 신호 결합장치 신호전송특성
Fig. 8. Signal transmission characteristic of portable MV signal coupler

2.1.4 고압 전력선의 임피던스 측정

고압 전력선의 임피던스는 한국 전기연구원의 고압 배전선로 실증시험장(그림 9)에서 휴대용 고압 신호결합장치를 사용하여 측정하였다. 시험 선로는 A지점부터 E지점까지 각 지점간 선로로 구분된 4개 구간으로 구성되어 있다. 각 지점에는 고압 신호결합장치를 이용하여 고압배전선로를 통한 통신신호의 송수신이 가능하게 했다. A지점에서부터 D지점까지의 구간은 3상 선로이며, D지점에서 E지점까지는 단상 선로 구간이다. 그리고 3상 선로구간인 B지점과 C지점의 중간에 약 160m에 걸쳐 지중케이블 선로로 구성되어 있어 가공선간 외에 가공선과 지중선간을 포함한 전송 시험을 할 수 있다 시험장의 고압망의 길이는 4.9Km이며 A, B, C, D, E의 다섯 지점에서 임피던스 특성을 측정하였다.

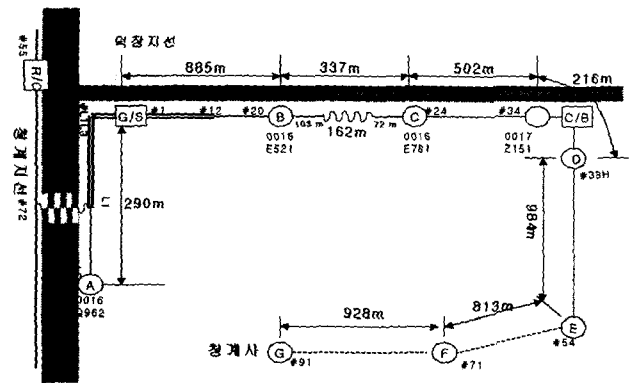


그림 9. 고압배전선로 전력선통신 실증시험장 구성도
Fig. 9. Structure of medium voltage power distribution line for power line communications field trial

그림 10은 각 지점에서의 측정 시스템 구성도를 나타낸 것이다. S-파라메타의 측정은 HP 8753D 벡터 회로망 분석기를 사용하여 측정하였으며, 측정 방식은 대지귀로와 금속귀로 두 가지 방법으로 비교하여 측정하였다. 측정 대역은 500kHz~40MHz이며, 각 지점에서 다양한 시간대에 측정을 하였다. 측정된 S-파라메타로 전력선의 전체 임피던스를 구하고 앞에서 언급한 등가회로를 이용하여 전력선의 임피던스를 구하였다.

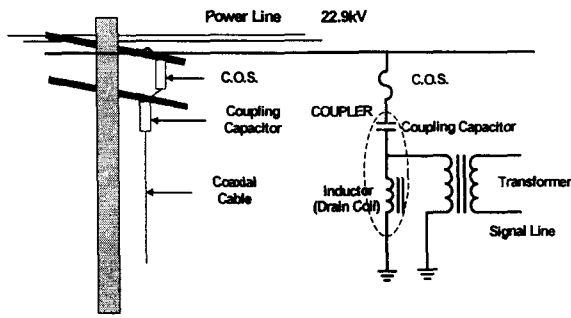


그림 10. 대지귀로 방식 측정 구성도
Fig. 10. Measurement structure of wire-to-neutral method

2.2 고압전력선의 임피던스 측정 결과 및 분석

앞에서 언급한 임피던스 측정 방식을 이용하여 측정한 결과를 보이고 그 결과를 토대로 측정 대역의 임피던스의 산술적 평균을 구하였다. 그림11은 고압 배전선로망의 A 지점에서 측정된 S-파라메타를 이용하여 구한 임피던스 그래프이다.

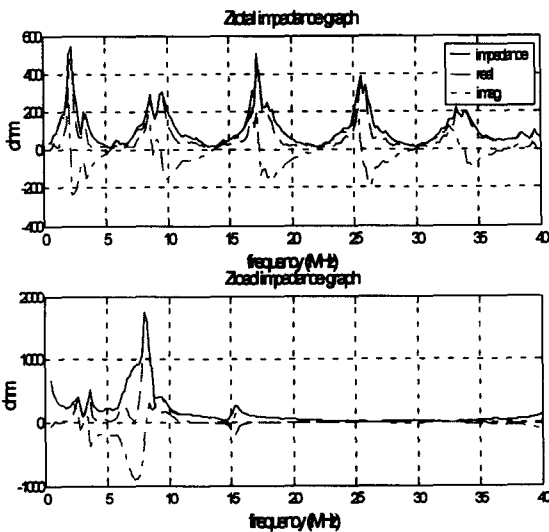


그림 11. A지점의 임피던스 그래프
Fig. 11. Impedance measurement result at A point

그림 11의 상단 그래프의 Ztotal 은 측정된 전체 그래프이며, Zload 임피던스 그래프는 등가회로를 이용하여 유도한 실제 전력선의 임피던스 그래프이다. 위의 전력선 임피던스 그래프를 살펴보면 0.5MHz~30MHz 범위 내에서 대략 세 곳에서 공진이 일어남을 알 수 있다. 고압 전력선의 임피던스는 측정 대역 내에서 많은 기복이 있음을 보이고 있다. 즉 고속 전력선 통신 주파수 대역인 1MHz~30MHz대역에서의 단일 임피던스 값을 구하기가 용이하지 않음을 알 수 있다.

그림 12는 측정 지점의 입력 임피던스의 산술 평균값과

산술 평균값을 다항식 커브 피팅(curve fitting)하여 얻은 그래프이다. 산술 평균값은 측정량이 작아 날카로운 부분이 남아 있음을 확인할 수 있다. 그러나 평균값을 다항식 커브 피팅하여 1MHz~30MHz 대역에서의 평균 임피던스는 약 100~110Ω 정도임을 알 수 있다.

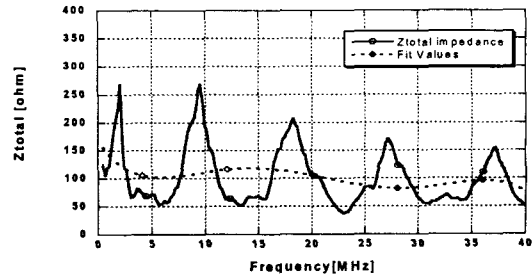


그림 12. 고압 배전선로의 임피던스 평균값
Fig. 12. Impedance graph of MV power distribution line

2.3 고압 배전선로 임피던스 정합 방안

본 논문에서는 이러한 임피던스 측정 결과를 바탕으로 고압 배전선로에 최대 신호전송을 실현하기 위한 임피던스 정합 방안으로 트로이달 코어를 이용한 방법을 제시한다. 그리고 전력선통신의 응용계층에서의 통신 처리율을 측정하여 임피던스 정합의 효과를 가시적으로 확인하였다.

어느 하나의 출력단과 입력단을 연결할 때, 서로 다른 두 연결 단의 임피던스 차에 의한 반사를 줄이려는 모든 방법을 임피던스 정합이라 부르는데, 이상적인 정합 회로망은 손실이 없고 불필요한 전력손실을 없애주며 정합 회로망을 바라다 본 임피던스가 Z_0 가 되도록 설계된다. 따라서 정합회로망과 부하 사이에는 다수의 반사가 존재하지만 정합 회로망의 왼쪽에서는 반사가 제거된다[19].

교류 또는 시간-변화 파형의 경우에는 소스에서 부하까지 전력을 가장 잘 전달하려면 부하 임피던스(load impedance) Z_L 이 소스 임피던스(source impedance)의 복소수근(Complex Conjugate)과 같아야 한다. 여기서 복소수근이라고 하는 것은 실수는 같으나 허수의 부호가 다른 즉, 소스 임피던스가 $Z_0 = R - jX$ 라면 부하 임피던스는 $Z_L = R + jX$ 가 되어야 한다는 뜻이다. 일반적으로 임피던스 정합회로는 그 내부에서 무익한 손실이 일어나지 않도록 보통 리액턴스(Reactance) 소자만으로 설계된다[19].

본 논문에서는 측정된 고압 배전망의 임피던스에 정합하기 위하여 트로이달 코어를 사용하여 임피던스를 정합하였다. 트로이달 코어를 이용한 트랜스포머는 권선수가 적고 제작이 간단하며 인덕턴스 계산이 용이하고 광대역 주파수(Wide Band Frequency)특성이 우수한 장점이 있지만, 임피던스 변화비를 2의 지수배, 즉 $M^2 : N^2$ 로만 조정이 가능하고 주파수가 내려 갈수록 권선수가 증가하는 단점이 있다. 본 실험에서는 임피던스 정합용 코어로 페라이트 계열

의 트로이달 코어를 이용하였다. 보통 트로이달 코어는 도넛 형태의 마그네틱 코어로서 고주파 신호 회로 및 기기에서 주로 사용된다[21][22]. 임피던스 정합을 위하여 권선비를 2:3으로 조정하여 임피던스 변환값을 50:112Ω으로 조정하여 사용하였다.

전력선 모뎀은 전력선을 전송매체로 사용하기 때문에 통신신호 송수신부와 전력공급회로를 분리해야한다. 트로이달 코어 트랜스포머는 전력선 모뎀의 통신신호 송수신부와 전력원 사이에 기존에 전력계통과 통신신호 분리 역할을 하던 1:1 트랜스포머를 제거하고 제작된 임피던스 정합용 트로이달 코어로 대체하여 정합에 따른 전력선 통신 모뎀의 성능 향상 실험을 수행하였다.

2.4 성능 평가 및 결과 분석

실험은 앞 장에서 언급한 한국 전기연구원의 고압 실증 시험장에서 수행되었다. 전력선 통신 성능 테스트에 사용된 장비는 이더넷 성능 분석기(Ethernet Performance Analyzer)로, RFC(Request for Comments) 2544의 이더넷 성능 분석 항목인 처리율(Throughput), 프레임 손실(Frame loss), 지연(Latency)등의 측정이 가능하며 본 논문에서는 처리율을 기준으로 임피던스 매칭의 성능향상을 확인하였다.

처리율은 장치가 프레임 손실 없이 수신한 최대 값을 나타내며, 실험 측정은 데이터크기 10Mbyte로 Binary Search Algorithm을 이용해서 프레임 손실 없이 전송하고 수신하여 측정한다[23]. 성능 테스트의 결과는 각각의 프레임에 대해서 초당 프레임의 처리율을 나타낸다. 성능평가는 청계산 고압배전선로의 C지점과 D지점 구간, 약 718m구간에서 수행하였다.

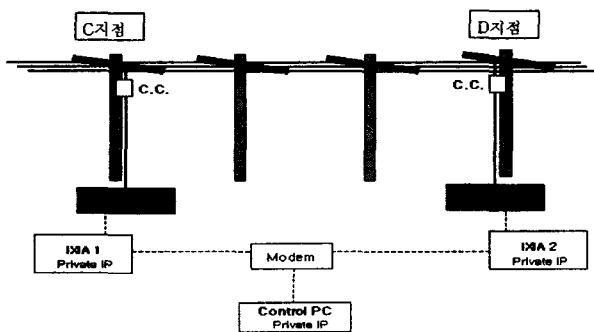


그림 13. 고압 모뎀 성능 테스트 구성도
Fig. 13. Test structure of PLC modem performance

그림 13은 고압 실증시험장의 임피던스가 정합된 전력선 통신 모뎀의 성능 테스트 구성도이다. 이더넷 성능 분석기 1(IXIA 1)에서 보낸 신호는 PLC 모뎀에서 커플링 커패시터를 통하여 고압선에 주입된다. D지점의 커플링 커패시터에서 전력과 신호가 분리되어서 이더넷 성능 분석기2(IXIA 2)장비에 입력되며, 이러한 방식으로 전력선 통신 네트워크의 데이터 처리율을 측정하였다.

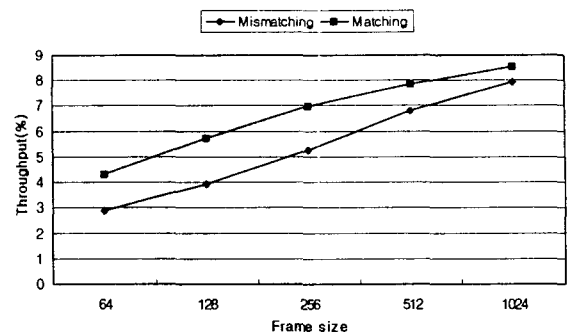


그림 14. 임피던스 정합에 따른 모뎀 성능 평가
Fig. 14. PLC modem performance with impedance matching

그림 14는 프레임 사이즈에 따른 처리율 결과로써 임피던스 정합된 모뎀이 상대적으로 처리율이 향상된 것을 볼 수 있다. 이것은 임피던스 정합을 통하여 전력선 모뎀이 신호의 전송이 향상된 것으로 분석할 수 있으며 앞으로 다양한 실험을 통하여 임피던스 정합에 따른 신호 전송능력의 극대화를 위한 정합 방안을 연구하기 위한 초기 데이터로서의 의미를 가진다.

3. 결 론

본 논문에서는 고압배전선로를 이용한 전력선 통신 가입자망의 통신 성능을 향상시키기 위하여 고압 배전선로의 임피던스를 측정하고 임피던스 매칭 방안을 제시하였으며 이를 적용한 모뎀 성능 실험의 결과를 설명하였다. 특히 고압 배전선로의 임피던스 측정을 위한 간단한 측정방법을 제시하여 앞으로 전력선통신망 구성시 고압 배전선로용 모뎀의 임피던스 정합에 필요한 중요한 결과를 도출하였다.

고압 배전선로의 임피던스 측정을 위하여 휴대용 고압 결합장치를 이용한 방안을 제시하고, T-형 등가회로를 사용하여 전력선의 실제 임피던스를 유도하였다. 실제 22.9kV 고압배전선로의 임피던스를 측정하고, 통계적인 분석을 통하여 고압 배전선로망의 평균 임피던스의 값이 100~110Ω임을 알 수 있었다. 이러한 측정결과는 앞으로 전력선 모뎀을 이용한 통신망의 채널환경 정보에 중요한 기초 자료로 활용될 것이다. 임피던스 정합 방안에 대하여 언급하였으며 측정된 결과를 이용하여 간단한 정합 트랜스포머를 사용해서 고압 모뎀과 고압배전선로의 임피던스를 정합 하였다. 그리고 임피던스 정합 후 모뎀 성능 평가방안 제시와 성능평가를 통하여 모뎀 성능이 향상됨을 검증하였다.

본 논문에서 측정된 임피던스 값의 통계적 평균값을 이용하여 전력선모뎀의 임피던스를 정합하고 성능이 향상됨을 검증하였지만 통계적인 임피던스 값은 가변적인 고압 전력선에 최적화된 값이라고 볼 수는 없을 것이다. 앞으로 시간과 장소에 따른 전력선 임피던스 값 및 변동 추이 등을 지속적으로 측정 분석하고, 채널 환경에 따라 가변 임피던스를 자동적으로 정합 할 수 있는 방안의 도출을 위한 방향으로 연구를 진행하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] 박지훈, "고속 데이터 통신을 위한 전력선 특성에 관한 연구", 석사 논문, 서울 대학교, 1999.

[2] D.A. Pitt, "Residential communications", The Hewlett-packard Journal, Dec, 1997.

[3] E.Yavuz, "Modeling of Power Lines for Digital Communications", Proceedings of the Power-Line Communications and Its Applications pp.161-168, March, 2000.

[4] 대한전자공학회, "홈 네트워킹 기술 워크샵", July 2002.

[5] 김수관, "전력선 데이터 통신을 위한 적용 채널 추정 기법에 관한 연구", 석사 논문, 서울 대학교, 2001.

[6] J.W. Lechluder, "Line analysis for digital subscriber Lines", IEEE Commun, pp.25-32, Sept, 1989.

[7] S.Tsuzuki, "Measurement of Japanese Indoor Power-line Channel", Proceedings of the Power-Line Communications and Its Applications pp.79-84, April, 2001.

[8] S.Tsuzuki, "An Estimation Method of the Transfer Function of Indoor Power-Line Channels for Japanese House", Proceedings of the Power-Line Communications and Its Applications pp.55-59, March, 2002.

[9] 이상신, "전력선 통신을 위한 CPSEK 모델에 관한 연구", 석사 논문, 서울 대학교, 2000.

[10] 박진수 외, "전력전송공학", 청문각, 1992.

[11] 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.

[12] Manfred Zimmermann, Klaus Dostert, "A Multi path-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.

[13] J.A.Malack, "RF impedance of United States and European power lines", IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, pp.36-38, Feb.1976.

[14] R.M.Vines, "Impedance of the residential power distribution circuit," IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, vol.EMC-27, no. 1, pp.6-12, Feb. 1985.

[15] M.Tanaka, "High frequency noise power spectrum, impedance and transmission loss of powerline in Japen on intrabuilding power line communications", IEEE Trans Consumer Electronics, vol. 34, no.2, pp.321-326, May. 1988.

[16] J.R. Nicholson, "RF Impedance of Power-Lines and Line Impedance Stabilization Network in Conducted Interference Measurements", IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, vol.1, EMC-12, No.2,

pp. 84-86, May, 1973.

[17] O.G.Houijen, "A Channel Model for the Low Voltage Power-Line Channel Measurement and Simulation Results", Proceedings of the Power-Line Communications and Its Applications pp.51-56, April, 1997.

[18] P.J. Kwasniok, "Techique for Measurement of Power Line Impedance in the Frequency Range from 500KHz to 500MHz," IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, vol.35, No.1, pp.87-90, Feb 1993.

[19] David M. Pozar, "Microwave Engineering", Addison Wesley, 1998.

[20] Jae-Jo Lee, "Development of PLC subscriber networks on the Medium Voltage Power Grid", International Conference on Electrical Engineering, pp. 1935-19, 2002.

[21] Carlos Romero Perez, "Experimental Methods to Model Power Line Communications Equipment", I+DT Group of Sainco

[22] Jerry Sevic, "Transmission Line Transformers", Published by the American Radio Relay League, 1991.

[23] Soon-Won kwon, "A Study for the Network Performance of Power-line Communication Subscriber Network using Medium Voltage Distribution Lines", 한국 통신학회 추계 학술대회, 2002.

저 자 소 개

이 재 조 (李在祚)



1968년 8월 12일생. 1990년 경희대학교 문리과대학 물리학과 졸업. 1992년 경희대학교 일반대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1992년-1997년: 한국전기연구원 연구원. 2000년-2003년: 경희대학교 전자공학과 박사과정 수료. 1997년-현재: 한국전기연구원 선임연구원
Tel : 031-420-6177, Fax : 031-420-6199
E-mail : jjlee@keri.re.kr

유 정 훈 (劉政訓)



1975년 7월 15일생. 2002년 경희대학교 공과대학 전자공학과 졸업. 2004년 경희대학교 일반대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 2002년-2004년: 한국전기연구원 위촉 연구원.
Tel : 031-420-6188, Fax : 031-420-6199
E-mail : jhyu@keri.re.kr



홍 충 선(洪 忠 善)

1960년 3월 10일생. 1983년 경희대학교 전자공학과 졸업 (학사). 1985년 경희대학교 전자공학과(공학석사). 1997년 Keio University, Department of Information and Computer Science (공학박사). 1988년-1999년 : 한국통신 통신망 연구소 선임 연구원 / 네트워크연구실장. 1999년~현재 : 경희대학교 전자정보학부 조교수
Tel : 031-201-2987
Fax : 031-204-9082
E-mail : cshong@khu.ac.kr



이 대 영(李 大 寧)

1940년 3월 18일생. 1964년 서울대학교 문리과대학 물리학과 졸업. 1971년 캘리포니아 주립대학원 컴퓨터학과 졸업. 1979년 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정 졸업. 1971년-현재 : 경희대학교 전자공학과 교수. 1999년 한국 통신학회 회장. 1996년-1999년 경희대학교 공과대학 제 1공학부장. 1995년-1999년 한국통신학회 수석 부회장. 1993년-1995년 한국통신학회 재무이사. 1990년-1993년 경희대학교 산업정보대학원 대학원장. 1990년-1993년 한국통신학회 편집이사. 1989년-1989년 한국통신학회 학술이사. 1982년-1984년 경희대학교 공과대학 학장. 1978년-1980년 한국정보과학회 이사
Tel : 031-201-2527
E-mail : dylee@khu.ac.kr