

고속 전력선 통신을 위한 전력선채널 잡음 및 임피던스 특성 분석

김정훈* · 김선효** · 김상태*** · 이영철* · 신철재****
 *경남대학교 정보통신공학과
 거창 기능대학 전자과/*ITEP/****아주대학교

Analysis of Channel Noise and Impedance Characteristics for High-Speed Power-Line Communication

Jeong-Hun Kim* · Seon-Hyo Kim** · Sang-Tae Kim*** · Young-Chul Rhee* · Cheol-Jae Shin****
 *Div. of Information & Comm. Eng., Kyungnam University
 **Div. of Electronic Engineering, Keochang Polytechnic college
 ***Korea Institute of Industrial Technology Evaluation and Planning
 ****Div. of Electronic Engineering, Ajou University
 E-mail : windy0407@hanmail.net , micropt@kyungnam.ac.kr

Abstract

Subject of this paper is analysis of channel noise and impedance characteristics for high speed power line communication to concerned noise of transmission line and impedance in the frequency range up to 30MHz. Parameters of transmission line was inducted from experimentally power line channel measurement. Moreover, Analysis of compared based on measurement of channel characters with simulation test for appear characters.

I. 서론

정보화의 급속한 발달과 인터넷의 보급과 더불어 대용량(High capacity) 및 고속(High speed)정보를 신속하게 전송하고자 하는 요구를 충족시키기 위하여, 가입자에 대한 전송속도와 품질 등, 전송선로에서의 고속 전송 기술이 새로운 과제로 등장하였고, 고속 전송 기술이 발전됨에 따라 전송 매체인 전송선로에서의 정확한 채널 분석이 요구된다[1]. 전력선은 데이터 전송을 목적으로 만들어진 전송 선로가 아니기 때문에 데이터 손실, 회선과의 간섭, 잡음, 임피던스 부정합 등으로 인한 많은 변화가 생긴다. 이 중에서 고유 임피던스를 갖는 전력선 채널의 임피던스 값이 변하게 되며 전력선을 통해 고속정보 전송을 위한 신호의 손실이 발생한다. 그러므로, 채널에서 발생하는 여러 특성에 대한 분석이 필요하기에,

본 논문에서는 고속 전력선 통신을 위한 전송선로의 잡음 및 임피던스 특성을 주파수 범위 0~30MHz에서 분석하였다 [2].

II. RPC(Residential Power Circuit) 전력선의 전송 임피던스

전력선은 저전압(LV: Low-Voltage), 중전압(MV:Medium-Voltage),고전압(HV:High-Voltage) mode의 세 가지로 나누어지고 세 mode의 전력선 파라미터 및 채널 해석 또한 각각 다르다. 그림 1은 중전압 변압기를 거쳐 가정으로 인입해서 들어와 가정에서 일반적으로 사용되고 있는 저전압 전력선의 채널 파라미터를 나타내고 있다.

전력선의 특성 임피던스 Z_o 와 전파상수 γ 를 식 (1),(2)로 표현할 수 있다[3].

$$Z_o = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (1)$$

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta \quad (2)$$

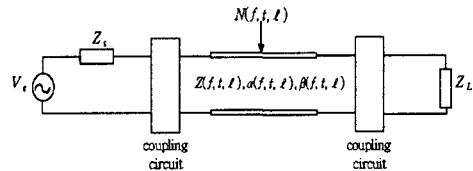


그림 1. 저전압 전력선의 채널 파라미터

전송선로에서 단위길이 당 인덕턴스와 커패시턴스는 다음과 같이 나타내며, 단위길이 당 레지스턴스는 표피효과에 의해 좌우되고, 단위길이당 콘덕턴스는 주로 유전체 물질의 분산계수에 의해 영향을 받는다[4].

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{\gamma}{a} \quad (3)$$

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{a}{\gamma} \quad (4)$$

$$R = \sqrt{\frac{\pi \mu_0}{k \gamma^2}} f \quad (5)$$

$$G = 2\pi f C \tan \delta \quad (6)$$

전력선의 케이블 파라미터는 R, L, C, G이다. 대표적인 저전압 전력선 케이블로 NAYCWY 185/185se cable을 사용하고 있는데, 이것은 RPC(Residential Power Circuit) 케이블로 여러 도시에서 사용되고 있으며, Low Voltage 주요 케이블 파라미터들은 다음과 같다. 전력선 전송선로의 등가회로는 단위길이 당 인덕턴스, 커패시턴스 및 표피효과(skin effect)를 고려한 레지스턴스, 유전체 물질의 분산계수에 의한 영향을 고려한 콘덕턴스로 나타낼 수 있다[5].

$$R = 5.78 \times 10^{-6} \times \sqrt{f} \times \frac{\sqrt{s}}{m} \quad (3)$$

$$G = 1.15 \times 10^{-11} \times f \times \frac{s}{m} \quad (4)$$

$$L = 4.07 \times 10^{-8} \times \frac{1}{m} + 2.24 \times 10^{-7} \times \frac{1}{\sqrt{f}} \times \frac{1}{m\sqrt{s}} \quad (5)$$

$$C = 9.10 \times 10^{-10} \times \frac{1}{m} \quad (6)$$

z 방향으로 전파하는 전파상수의 형태를 식(7)과 같이 나타낼 수 있으며 여기서, α 는 감쇠상수, β 는 위상상수로 나타낸다.

$$e^{-\gamma z} = e^{-\alpha z} e^{-j\beta z} \quad (7)$$

전송선로가 정합되고, 채널의 길이가 l 인 선로의 전달 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다[6].

$$H(f) = e^{-\gamma \cdot l} = e^{-\alpha \cdot l} e^{-j\beta \cdot l} \quad (8)$$

그림 1.의 전력선 등가회로를 일반적인 채널로 나타내면 그림 2.와 같다[7].

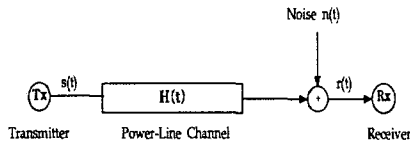


그림 2. 일반적인 채널 모델링

전력선 통신에 적용하기 위하여 MHz 범위에서

의 감쇠정수들을 구하기 위한 전파상수, 케이블 손실들의 실수 부분은 다음과 같이 묘사될 수 있다.

$$\alpha(f) = a_0 + a_1 \cdot f^k \quad (9)$$

다중 경로 전파와 주파수와 길이에 의존하는 감쇠특성 함수는 다음과 같이 표현할 수 있다[8].

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i \exp[-(a_0 + a_1 f^k) d_i] \exp[-j2\pi f \frac{d_i}{v_p}] \quad (10)$$

III. 전송선로의 잡음 모델링

전력선에는 많은 잡음과 간섭이 존재하며 선로가 완벽하게 구성되어 있지 않기 때문에 데이터 전송에 있어서 많은 영향을 미친다[7].

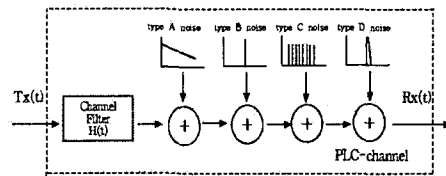


그림 3. 잡음원을 포함한 전력선 채널 모델링

그림 3은 전력선 통신에서의 채널상의 잡음 구성도를 나타낸 것이다. type A noise는 배경잡음(background noise)이고, 선로에서 항상 나타나며, 주파수가 증가함에 따라서 잡음레벨이 감소하는데 이것은 잡음 전력 스펙트럼 밀도(PSD) 함수로서 다음 식과 같이 나타낼 수 있다[9].

Type A noise:

$$N(f) = 10^{(K-3.95 \cdot 10^{-5} \cdot f)} \quad (11)$$

K는 평균적인 가우시안 랜덤변수이고, 랜덤변수의 주어진 조건에 의해서 배경잡음의 레벨이 가장 좋은 경우($K = \mu - 2\sigma$)와 좋지 않은 경우($K = \mu + 2\sigma$)의 레벨을 가진다. type B noise는 임펄스 잡음(impulse noise)인데 선로의 근처에 위치한 사무용 전기기구 또는 가전기구 그리고 전력선 등에서 많이 발생하며 주파수 영역의 40 kHz 이하에 주로 집중되어 있다. 임펄스 응답 $h(\tau)$ 는 다음과 같이 나타낸다[10].

Type B noise:

$$h(\tau) = \sum_{v=1}^N |\rho| \cdot e^{j \cdot \varphi} \cdot \delta(\tau - \tau_v) \quad (12)$$

type C noise는 60Hz 동기잡음(synchronous noise)이며 스위칭 기기들이 원인이 되어 발생하는 잡음이다.

고속 전력선 통신을 위한 전력선채널 잡음 및 임피던스 특성 분석

type D noise는 협대역 잡음(narrow-band noise)으로 고주파의 영향에 의해 나타나는 잡음이다.

IV. 전송특성 모의실험 및 실험분석

본 논문에서는 주파수 변화에 대한 채널상의 임피던스와 잡음 레벨의 특성을 모의실험과 실제 측정을 통해서 살펴보았다. 모의실험에서는 주어진 파라미터를 고려하였으며 채널상의 거리와 주파수에 대한 레벨의 변화를 살펴보았다. 주파수 범위는 0~30MHz로 하고, 채널의 길이는 30m~90m의 변화를 주어 임피던스 특성변화를 실제 측정했다. 그림 4는 저전압 전력선의 주파수에 대한 특성임피던스 변화를 나타낸 그림이다. 낮은 주파수에서 많은 변화가 주파수가 높아질수록 일정한 특성 임피던스 값을 가짐을 알 수 있다.

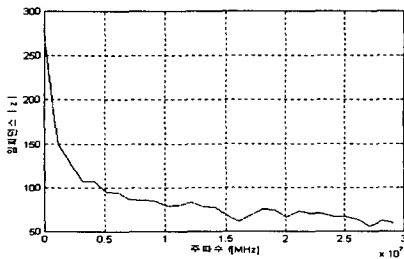


그림 4. 저전압 전력선의 주파수에 대한 특성임피던스 변화

전력선에서 신호의 손실은 전력선의 길이와 함께 부하에 의한 영향이 크며, 이는 부하 임피던스가 변화하기 때문이다. 그림 5는 채널의 길이를 달리 주어졌을 때 부하측에서 변화하는 임피던스 특성을 비교해서 나타낸 그림이다.

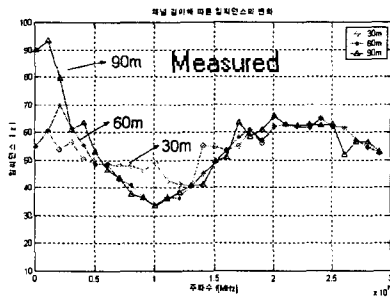


그림 5. 부하측에서의 거리에 대한 임피던스 변화 비교

그림 6은 주파수에 대한 감쇠특성을 나타낸 그림인데 이에 대한 파라미터로 경로가 4일 때 지연

값은 각각 1.0, 1.25, 1.76, 2.64로 하고, 채널길이는 10m~30m까지이며, 크기계수(g)는 각각 0.4, -0.4, -0.8, -1.5로 하였으며 k는 0.5, 감쇠계수는 a_0 는 2.5, a_1 은 8×10^{-6} 으로 하여 모의실험하였다.

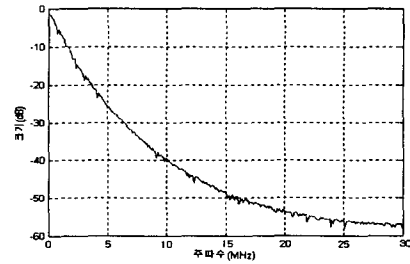


그림 6. 채널의 주파수에 대한 감쇠특성(H(f))

그림 7은 모의실험을 이용한 배경잡음 레벨을 비교한 그림인데 가우시안 랜덤변수인 K값의 변화에 따라 좋은 경우와 좋지 않은 경우의 레벨로 나타났다.

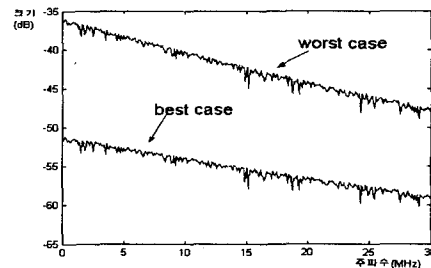


그림 7. 배경잡음(N(f)) 레벨의 비교

그림 8은 감쇠특성과 잡음의 레벨이 좋지 않은 경우(worst case)가 함께 선로에 존재한다고 가정했을 때의 상관관계를 모의실험을 통하여 나타냈다.

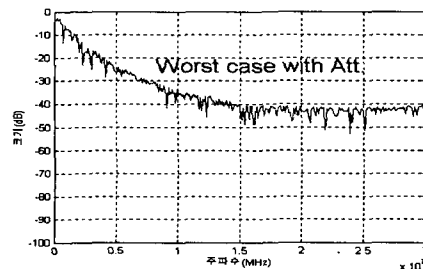


그림 8. 감쇠특성과 잡음(worst-case)의 상관관계

그림 9는 감쇠특성과 잡음의 레벨이 좋은 경우 (best case)가 함께 선로에 존재한다고 가정했을 때의 상관관계를 모의실험을 통해서 나타냈다.

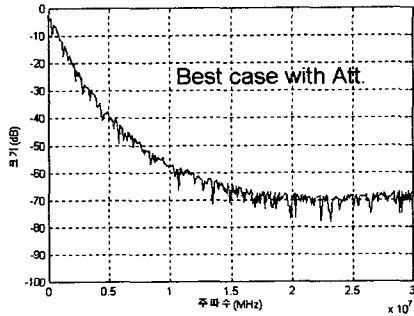


그림9. 감쇠특성과 잡음(best-case)의 상관관계

그림 10은 채널의 길이를 30m로 하고 주파수 범위를 0~30MHz로 하였을 때 나타난 채널 특성을 스펙트럼분석기로 측정한 결과인데 그림 9와 비교해보면 서로 비슷한 레벨을 가지는 특성임을 알 수 있고, 주파수가 15MHz 이상에서 일정한 레벨을 가지는 것을 확인할 수 있다.

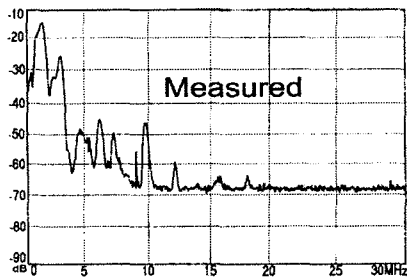


그림 10. 실제 측정된 전력선 채널 스펙트럼

V. 결론

본 논문은 전력선 채널에서의 임피던스 특성 변화와 잡음 특성을 주파수 0~30MHz 범위에서 모의실험과 실험측정을 통해서 나타냈다. 전력선 채널에서 임피던스 특성은 주파수와 채널의 거리 변화에 따라 임피던스의 불규칙적인 현상이 많이 일어남을 확인했으며, 신호 감쇠의 특성과 잡음 레벨 변화에 따른 상관관계에서는 주파수에 따라 감쇠특성이 지수 함수적으로 감쇠되고, 잡음 레벨의 변화에 따라 각각 다른 레벨을 가지는 상관관계 특성을 보였다. 모의 실험을 통해서 나온 특성 결과와 실제 측정된 채널 특성을 비교해보

면 차이가 나는데, 이것은 실제 전력선에서 주파수에 대한 선택적 페이딩이 발생하며, 각종 기기로부터의 고주파와 함께 전력선 채널의 잡음원들인 60Hz 동기 잡음 및 협대역 잡음에 의한 채널 영향으로 인해 모의실험과 실제측정이 특성 결과에 대한 차이를 보였다. 차후 연구로 이러한 채널 특성을 좀 더 정확하게 모델링 할 수 있도록 해야하며, 여러 부하들과 잡음원이 함께 존재할 때와 함께 존재하지 않았을 때 생기는 임피던스의 불규칙적인 현상을 적용 임피던스 회로로 임피던스의 변화를 조절해 줌으로서 OFDM이나 CDMA 신호를 전력선으로 전송할 경우 데이터의 비트 에러율을 비교·분석하여 고속 정보 전송에 많은 활용을 할 수 있다.

참고 문헌

- [1] J. W. Lechleider, "Line analysis for digital subscriber lines" IEEE Commun., May, pp. 25-32, Sept. 1989.
- [2] Philipps, H., "Performance measurements of powerline channels at high frequencies", ISPLCA '98, Tokyo, Japan, p.229-237 March, 1998.
- [3] Holger Philipps, "Development of a statistical Model for Power-line Communication Channels",
- [4] Manfred Zimmermann, Klaus Dostert, "A Multi-Path Signal Propagation Model for the Power Line Channel in the High Frequency Range"(ISPLCA '2000)
- [5] H.Y. Kwon, J.C. Park, and G.I. Shin, "Analysis on Data Transmission Rate of Very High Speed Digital Subscriber Loops," Proc. 1998 Int. Wireless and Telecomm Symposium, Kuala Lumpur, Malaysia, 11-25 May, 1998
- [6] E.Yavuz, F.Kural, N.Coban, B.Ercan and M. Safak, "Modelling of Power-lines for Digital Communication", ISPLCA '2000
- [7] Olaf G. Hooijen and A.J. Han vinck, "On the Channel Capacity of European style Residential Power Circuit" Proceedings of the 1998, International Symposium on Power-Line Communication and its Applications (ISPLCA '98)
- [8] O.G.Hooijen, "A Channel Model for the Low Voltage Power-Line Channel; Measurement and Simulation Results," ISPLCA '97, Essen, Germany, April 1997, pp 51-56
- [9] Holger Philipps, "Modelling of Powerline Communication Channels", ISPLCA '2000
- [10] R.M.Vines, H.J. Trussel, L.J. Gale and J.B. O'neal, Noise on residential power distribution circuits, IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, vol.26, no.4, November 1984