論 文

활성/비활성 상태에서의 종단과 입력 임피던스 변화를 이용한 전송선로의 전달함수 추정

正會員 李 宗 憲* 正會員 陳 庸 玉*

Estimation for the Transfer Function of Transmission Line using the Temination and Input Impedances at Activated /Deactivated states

Jong Heon LEE* Yong Ohk CHIN* *Regular Members*

要 約

이 논문은 전송선로의 진폭과 위상응답을 선로의 입력측에서 추정하는 방법에 대해서 논의하고 광대역 ISDN 가입자 선로의 경우에 적용한 것이다. 활성과 비활성 상태의 표준 단말 임피던스와 선로의 입력측에서 추정할 수 있는 입력 임피던스로부터 선로의 ABCD 파라메터를 구할 수 있는 계산식을 유도한다. 입력 임피던스함수 추정을 위해 "chirp" 신호를 입사 전압신호로 사용하며, 이때 잡음의 영향을 앙상블 평균을 취하여 감소 시킨다. 이러한 ABCD 파라메터 추정 방법은 균일선로와 복합선로에 동일하게 적용될 수 있으며, 추정된 결과로부터 진폭 및 위상응답을 구할 수 있다. 광대역 ISDN 가입자 선로의 모델을 설정하여 모의실험한 결과를 제시하며 단말 임피던스의 편차에 의한 추정오차를 분석하였다.

ABSTRACT

An estimation method for the amplitude and phase response of transmission line is discussed, and applied to narrow band ISDN subscriber line. The ABCD parameters of line are evaluated from four impedance values; the standard termination impedences at activated and deactivated states, and the input impedances of line which can be estimated at each state. Estimating input impedence, the "chirp" signal is used as incident signal and noise effect can be reduced by ensemble averaging. These ABCD parameter estimations might be applicable to ether uniform or nonuniform line. Cleary the magnitude and phase response can be obtained from estimated ABCD parameters. The numerical simulation results for N ISDN subscriber line model are included, and the estimation error introduced by deviation in load impedence is also analyzed.

I. 서 론

통신로의 등화기법으로는 미리 약정된 데이터 시퀀스를 이용하여 등화기를 통신로의 특성에 적응시키는 방법이 널리 알려져 있고[1] 학습 시퀀스없이 직

*慶熙大學校 電子工學科
Dept. of Electronics Eng. Kyung Hee University
論文番號 : 92-10(接受1991. 11. 22)

응할 수 있는 알고리즘이 연구되고 있으나 근사적으로 시불변 특성을 갖는 전송선로에 적용하기 위한 것은 아니다. 따라서 통신로의 추정과 등화가 양측의 단말기에서 통신이 이루어질때 마다 수행되어야 한다는 점을 지적할 수 있다.

이러한 환경과는 달리 본 논문에서는 선로의 입력측에서 독자적으로 전달함수를 추정하여 그 결과에 따라 통신로를 보상하는 새로운 방식을 제안하며, 이러한 방식에서 가장 핵심이 되는 문제인 선로의 전달함수(진폭 및 위상응답)를 추정하는 방법에 대하여 중점적으로 논의하고 협대역 ISDN 가입자 선로의 전달함수 추정방법으로 제안한다.

협대역 ISND을 구축하기 위해서는 기존의 아날로그 전화 가입자 선로의 특성을 파악하여 적절한 이용방안을 모색하는 것이 매우 중요하다. 가입자 선로에는 여러가지 통신 장애 요소가 있으며 특히 협대역 ISND에서 4KHz정도의 아날로그 음성 대역폭에 비해 매우 넓은 대역폭(약 100 KHz)이 요구된다는 점이 근본적인 문제이다. 가입자선로의 대부분은 심경이 0.4~0.5mm인 통신으로 설치되어 있으며 선로의 길이와 주파수의 증가에 따라 심한 감쇄를 나타내어 고속(기본율 192kbps)데이타 전송시에 왜곡을 유발하게 된다. 이와같은 대역폭 내의 선로 왜곡특성을 보상하기 위해서는 전달함수 추정과 그에 따른 등화가 이루어져야 하지만 많은 수의 가입자 추과 협조하여 추정한다는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 교환기측에서 추정할 수 있는 환성과 비환성 단말기 상태의 입력 임피던스 함수와 각 상태의 단말기 표준 임피던스를 이용하여 진폭응답과 위상응답을 구하는 방법을 제시한다.

본 논문의 Ⅱ장에서는 전송선로의 4단자망 모델과 입력 임피던스 함수와 종단 임피던스를 이용한 진압 전달비 전달함수의 추정방법을 설명하고 Ⅲ장에서는 비최소 위상 입력 임피던스 함수 추정기법을 제시한다. Ⅳ장에서 제안된 기법을 모의실험한 결과를 제시하고 잡음과 부하 임피던스의 편차로 인한 추정오차를 분석한다. Ⅴ장에서는 제안된 기법의 유용성과 향후 연구과제에 대해 논의한다.

Ⅱ. 전송선로의 ABCD 파라메타 추정

전송선로는 [그림 1]과 같이 4단자 망으로 모델링 할 수 가 있으며 ABCD 파라메터는

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma \ell) & Z_0 \sinh(\gamma \ell) \\ Y_0 \sinh(\gamma \ell) & \cosh(\gamma \ell) \end{bmatrix} \quad (1)$$

로 표시된다. 여기서 γ는 전파 상수로 $\alpha+j\beta$이며 α는 감쇄정수, β는 위상정수이다. 또, ℓ은 선로의 길이이고 Z_0는 특성 임피던스이다. Z_i과 Z_{out}을 ABCD로 표시하면

$$Z_i = \frac{AZ_L+B}{CZ_L+D} \quad (2)$$

$$Z_{out} = \frac{DZ_s+B}{CZ_s+A} \quad (3)$$

이고, Z_L과 Z_s는 각각 종단과 전압원의 임피던스이다.

$$H = \frac{Z_L}{B+AZ_L} \quad (4)$$

이고 선로 가역성과 대칭성에 의해

$$\det \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = AD-BC=1 \quad (5\text{-a})$$

$$A=D \quad (5\text{-b})$$

의 관계가 성립한다.

식 (1)-(5)에서 사용되는 파라메터는 모두 복소 주파수 함수이며 편의상 함수기호를 생략한 것이다.

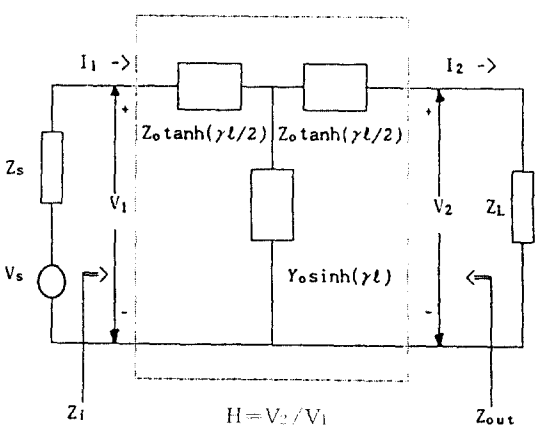
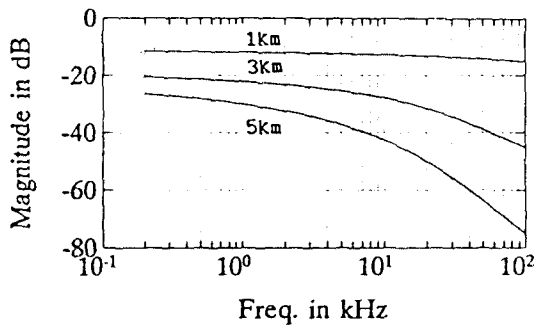


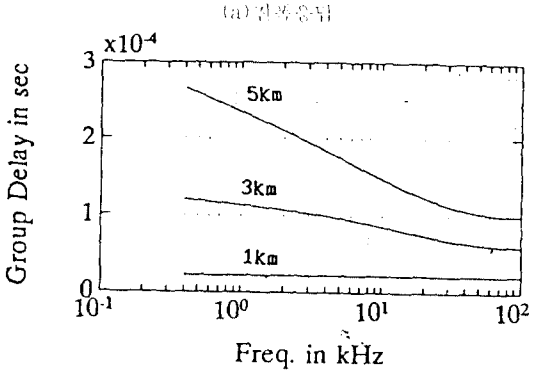
그림 1. 선로의 4단자망 모델
Fig 1. Two ports model of Transmission line

광대역 ISDN의 경우 기본율인 192Kbps의 속도로 데이타를 전송하기 위해서는 가입자 선로의 신호통과 특성은 최소한 100KHz까지 보장할 필요가 있으며 주파수가 증가함에 따라 표피 효과에 의한 저항이 증가하고 누설 컨덕턴스 또한 증가하여 감쇄가 심해집니다.

그림 2는 심경이 0.4mm인 균일 가입자 선로의 R,L,C,G를 계산하여 식(1)에 의해 진폭응답과 군지연을 구한 결과를 나타낸 것이다. 여기서 R,L,C,G는 이종현등[1]이 제안한 방법으로 구하였고, $Z_L = 100\Omega$으로 순 저항인 경우이며 선로 길이 ℓ = 1.3,5km일 때를 나타내었다. 선로의 부하 Z_L이 순 저항이 아닌 경우에도 이와 동일한 방법으로 진폭응답과 군지연을 계산할 수 있다.



(a) 진폭응답



(b) 군지연

그림 2. 가입자 선로의 진폭응답과 군지연($Z_L = 100\Omega$ ϕ =0.4mm)

Fig 2. Magnitude response and Group delay of sub scriber line

한편, 단말기에는 전원이 공급되어 통신이 이루어지는 활성상태와 전원이 공급되지 않거나 저 전력 소비형태를 유지하는 비활성 상태가 있다. 활성과 비활성 상태는 아날로그 전화에서 off-hook와 on hook상태에 해당하는 것으로 각 상태에서의 임피던스가 다르다. 이는 두 상태에서의 임피던스를 각각 Z_{in1}, Z_{in2}라 하면 식(2)는

$$Z_{in} = \frac{AZ_{in1}+B}{CZ_{in1}+D} \tag{6}$$

$$Z_{in} = \frac{AZ_{in2}+B}{CZ_{in2}+D} \tag{7}$$

으로 고쳐서 쓸 수 있으며 Z_{in1}과 Z_{in2}의 추정방법은 Ⅲ 장에서 논의한다. 따라서 식 (5)~(7)을 이용하여 종단 Z_{in1}, Z_{in2}, Z_{in1}, Z_{in2}의 항으로 A, B, C를 구할 수 있으며 그 결과는 다음과 같다.

$$A = \frac{V_2 - V_1}{W}(U_1 - U_2) \tag{8-a}$$

$$B = \frac{U_1V_2 - U_2V_1}{W} \tag{8-b}$$

$$C = \frac{U_1 - U_2}{W} \tag{8-c}$$

여기서

$$U_1 = Z_{in1} - Z_{in1} \qquad U_2 = Z_{in2} - Z_{in2}$$
$$V_1 = Z_{in1} \cdot Z_{in1} \qquad V_2 = Z_{in2} \cdot Z_{in2}$$

이고

$$W = \sqrt{(V_1 - V_2)^2 + U_2(V_1 - V_2)(U_1 - U_2) - V_2(U_1 - U_2)^2}$$

이다.

심경이 다른 n개의 부분이 연결되어 이루어진 복합 선로의 경우 ABCD파라메타는

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{bmatrix} \tag{9}$$

이므로 단일선로와 동일한 방법으로 추정할 수 있다.

CCITT에서 권고하고 있는 ISDN 사용자 망간 인터페이스의 개념은 [그림 3]과 같다.[4] NT1(Network Terminal 1)은 선로종단, 선로 유지 보수 기능 및 성능 감시, 다이빙, 급전등의 기능을 수행하는 기

능 그룹이다. LT(Line Termination)는 교환기 측에서 NT1과 유사한 기능을 갖는 기능 그룹이고 ET (Exchange Termination)는 OSI 제2, 3계층의 기능을 갖는 기능 그룹으로서 교환 설비측에 해당한다.

[그림 3]에서 2선식 동선 케이블이 사용되는 구간은 NT1과 LT사이의 U기준점 영역이 되며 본 논문에서 제안하는 방법은 LT에서 적용되어 아날로그 구간에 대해 사전등화나 강제가 이루어 지는 것이다.

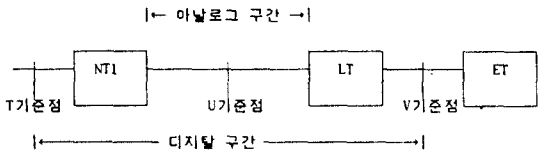


그림 3. 광대역 ISDN 사용자 망 인터페이스
Fig 3. User Network Interface of N-ISDN

그러므로 광대역 ISDN의 경우, [그림 1]의 Z_{in}은 선로측에서 본 NT1의 입력 임피던스이며 CCITT에서는 96KHz에서 활성 상태의 경우 100Ω, 비활성 상태에서 2.5KΩ 이상으로 규정하고 있다.[4]

따라서 Z_{in}과 Z_{out}가 표준화 되어 있다고 하면 활성 상태와 비활성 상태에서 LT에서 NT1을 향한 입피던스를 추정하여 복합 및 균일 선로의 ABCD파라메타를 추정할 수 있으며, 이를 이용하면 식(4)로부터 전달함수를 구할 수 있다. 잡음과 Z_{in}, Z_{out}의 편차로 인한 추정 오차에 대해서는 Ⅲ, Ⅳ 장에서 논의한다.

Ⅲ. 입력 임피던스 함수의 추정

입력 임피던스 함수를 추정하는것은 입력측에서 측정되는 전류를 전압으로 변환하여 출력전압으로 본다면 일반적인 시스템 검증 문제로 생각할 수 있다. 시스템 검증 기법으로 가장 보편적으로 알려진 것은 입력에 백색 가우스성 잡음을 인가했을때 얻어지는 출력을 입력과 비교하는 방법[6]과 적응 필터를 이용하는 방법[7]이 있다. 그러나 이들 방법은 상관이나 제곱연산을 하는 과정을 포함하기 때문에 최소 위상 시스템에만 적용되며 비최소 위상 시스템의 경우에는 위상 응답을 정확히 구할 수 없다. 이러한 점을 감안하여 본 논문에는 입력 전압 신호로 순시 주파수가 시간에 따라 선형적으로 변화하는 "Chirp" 신호를 이용하여 Z_{in}를 추정하는 방법을 제안한다.

입력 전압을

$$u_s(t)=P\cdot\exp\{j[at^2]\},\ 0\le t\le T \tag{10}$$

로 정의되는 Chirp 신호라 하면 $u_s(t)$의 순시 주파수는

$$\omega=\frac{d}{dt}(at)=at \tag{11}$$

이므로 주파수와 시간은 선형비례관계를 갖으며, 여기서 a는 시간에 따른 신호의 순시 주파수 증가율을 나타내는 상수이다.

관찰 대역폭을 B라 하고 $u_s(t)$와 $i_s(t)$를 Ts의 주기로 표본화 했을때 총 표본수를 N이라고 하면 T=NTs이므로

$$B=aT=aNTs \tag{12}$$

이고, 추정하고자 하는 주파수 함수의 해상도 R은

$$R=\frac{B}{N}=aTs \tag{13}$$

가 된다. B가 주어지면 나이퀴스트의 표본화율 Ts=1/2B이 정해지고 주파수 해상도 R은 Chirp신호의 길이 T(또는 N)에 따라 결정된다. T를 작게 하면 적은 표본수로 추정할 수 있으나 주파수에 따른 전달함수의 변화를 정확히 파악할 수 없을 우려가 있다. 특히 위상응답의 경우 tan⁻¹로 구한 주치(principal value) 위상에는 2π의 상수배에 해당하는 모호성이 존재하므로 N에는 한계가 존재한다. 즉, 시스템의 군지연 $g_d(=-d\theta/d\omega)$는 주파수에 따르는 위상응답의 변화율을 나타내므로 2π의 모호성 없이 위상응답을 추정하기 위해서는

$$N>\frac{\max(g_d)}{2\pi}\cdot B \tag{14}$$

의 한계내에서 N을 결정하여야 한다.

예를들어 [그림 2]에 나타난 가입자 선로의 군지연에서 길이가 5Km인 경우 최대값이 2.7×10^{-4}이므로 B=100KHz 일때 N>4.3이여야 하고 이때 R<23.26[KHz]이다.

그러나 이러한 한계는 위상 보존성이 없음 조건만을 나타내는 것이며 실제로는 가능한 많은 수의 표본을 이용하여 R이 작도록 해야한다.

[그림 4]는 식(10)의 Chirp신호의 실수부를 나타낸 것이며 허수부는 [그림 4]의 신호와 90° 위상차가 있는 것이 된다.

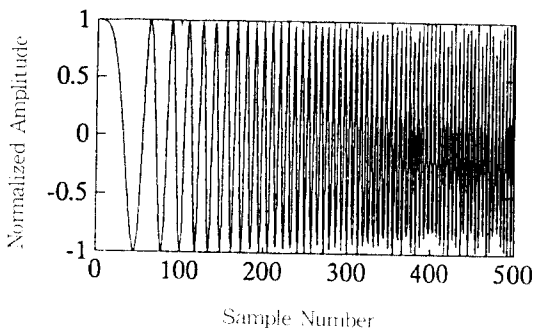


그림 4. chirp 신호
Fig 4. chirp Signal

이와같은 Chirp신호의 주파수 스캐닝 특성을 이용하면 입력 임피던스를 주파수 함수로 구할 수 있다. 즉 $i_s(t)$를 $u(t)$로 인가 했을때 입력측에서 얻어지는 전류라 하면

$$Z(w)=\frac{u(t)}{i_s(t)},\ 0\le w\le aT \qquad (15)$$

로 Z(w)를 구할 수 있다.

[그림 5]는 이러한 방법을 설명하는 블럭도이다.

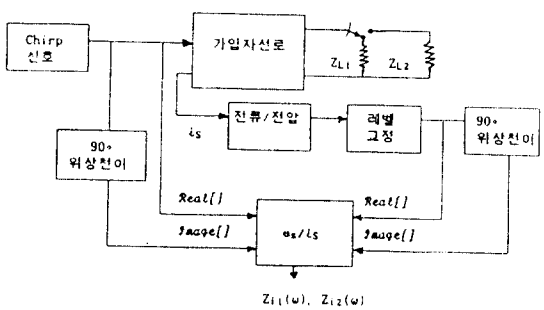


그림 5. 입력 임피던스 함수의 추정
Fig 5. Estimation of Input Impedance function

전류/전압 변환은 전압을 표본화하는 A/D변환을 위해 필요하며 A/D변환부는 그림에서 생략하였다. 레벨 고정기는 전류/전압 변환비를 조정하기 위해 사용된다. 위상 천이는 신호의 이주부를 발생시키며 한버트 변환기로 구현 할 수 있다. 이와같이 복소수로 구해진 입력전압과 전압으로 변환된 전류로부터 입력 임피던스의 크기와 위상각을 구할 수 있으며 이러한 과정은 Z_{i1}과 Z_{i2}에 대해 각각 수행된다.

실제로 $i_s(t)$에는 잡음이 나타나서

$$\hat{i}s(t)=is(t)+n(t) \qquad (16)$$

로 구해지므로 이로 인하여 식(15)로 구한 입력 임피던스함수에 오차가 발생한다. n(t)가 평균이 0인 백색 잡음이라 하고 $is(t)$를 m회 반복 측정한 결과 다음과 같다

$$\hat{i}s(t)=\lim_{m\to\infty}\frac{1}{m}\sum(is_m(t)+n_m(t))\ \to\ is(t) \qquad (17)$$

이 된다. 그러나 m이 유한 할때 $\hat{i}s(t)$는

$$is(t)-\frac{\sigma}{\sqrt{m}}\le\hat{i}s(t)\le is(t)+\frac{\sigma}{\sqrt{m}} \qquad (18)$$

의 평균 오차 범위 내에서 추정된다. 여기서 σ는 $n(t)$의 표준편차이다.

Ⅳ. 모의실험 및 오차분석

본 논문에서 제안된 방법의 타당성을 검증하기 위해 심선 0.4mm, 길이 5Km인 가입자 선로의 모델을 설정하고 모의실험을 수행하였다. [그림 6]은 [그림 4]와 같은 chirp신호를 인가했을 때 입력측에서 구해지는 전압의 실수부와 허수부의 예를 나타낸 것이다. 모의실험 구성은 설정된 모델에 대해 진폭과 위상응답을 측정한 결과이다. 이때 SNR 10dB이고, m 10이며 측정결과 얻어진 rms오차는 진폭응답의 경우 0.51 dB이, 위상응답의 경우 0.097 rad이다. 선로의 진폭응답을 $|H(\omega)|$, 위상응답을 $\Phi(\omega)$라하고 대역폭을 B라 하면 대역폭 내에서 이상적인 동화기의 응답 $|H_0(\omega)|$와 $\Phi(\omega)$는 각각

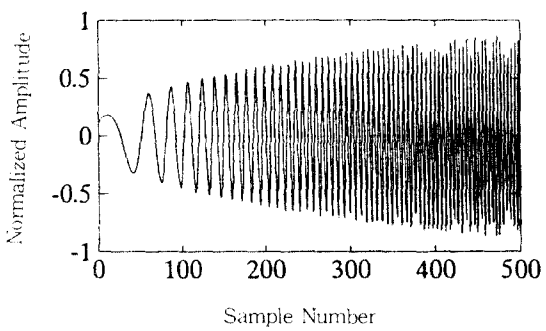
$$|H_I(\omega)| = \frac{1}{|H(\omega)|} \qquad (19\text{-a})$$

$$\Phi_I(\omega) = -\omega T_0 - \Phi(\omega) \qquad (19\text{-b})$$
$$0 \le \omega \le B$$

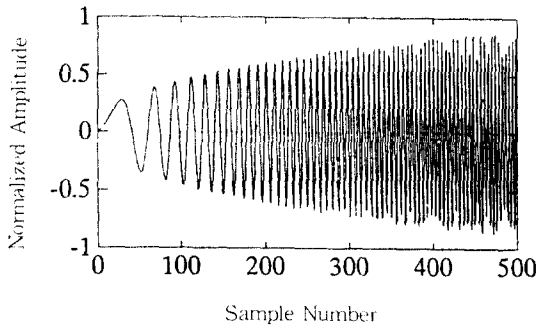
이다. 여기서 T_0는 지연을 나타내는 상수이며 $-\omega T_0$는 위상왜곡이 없는 선형위상 응답 특성을 의미한다. 식(19)와 같은 이상적 등화기의 특성을 [그림 7]에 점선으로 표시하였다.

chirp신호는 비안정성향(nonstationary)신호로써 시간에 따라 $i_s(t)$의 실효치가 변하기 때문에 평균전력 또는 실효치로 표시되는 SNR을 시간 구간 별로 설정 할 필요가 있다. [그림 7]의 경우에는 T/2~T (즉, 50kHz~100kHz)에서 σ_s/σ_n을 10dB로 한 것이다.

한편 NT1의 입력 임피던스 즉, Z_{11}, Z_{12}가 표준 규격으로 정해져 있다고는 하지만 실질적으로 편차가 있을 가능성이 있으므로 이로 인한 추정오차를 분석해 볼 필요가 있다. [그림 8]은 편차가 ±80%인 경우 추정값과 참값을 함께 표시한 것으로 실선이 참값을, 그리고 점선이 추정값을 나타낸다. 선로의 특성 임피던스가 작은 고주파 부분에서 보다 큰 오차가 발생함을 알 수 있다. [그림 9]는 최대 오차가 발생하는 100kHz에서 Z_{11}, Z_{12}의 편차로 인한 오차를 표시한 것이다. 그림으로 부터 ±100%의 편차를 갖을 때 추정오차는 약 ±1.6dB임을 알 수 있다.

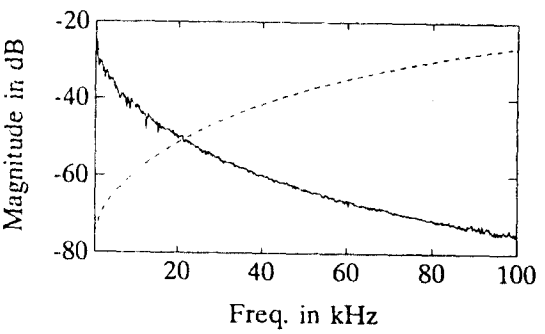


(a) 실수부

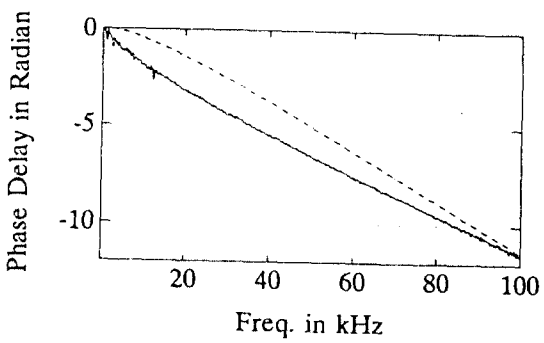


(b) 허수부

그림 6. 입력전류의 실수부와 허수부
Fig 6. Real and Image Part of Input Current



(a) 진폭응답



(b) 위상응답

이상적 등화기 특성 ——— 추정값

그림 7. 추정된 진폭과 위상응답(σ_s/σ_n=10dB, m=10)
Fig 7. Estimated Magnitude and Phase Response

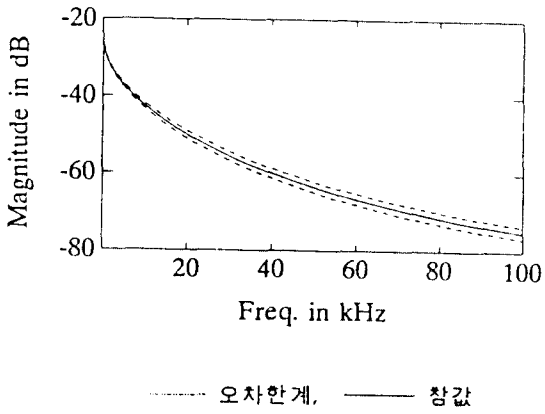


그림 8. Zt의 편차가 있을 때 진폭응답(편차 : ±80%)
Fig 8. Magnitude Response with Deviation in Zt

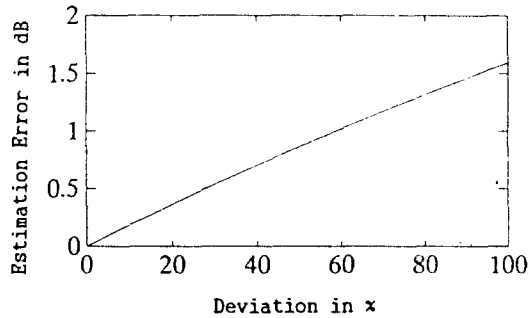


그림 9. Zt의 편차에 따른 진폭응답의 최대오차
Fig 9. Maximum Error in Magnitude Response According to Deviation in Zt

Ⅵ. 결 론

본 논문은 단말기 상태가 활성일때와 비활성일때 추정한 입력 임피던스로부터 전송선로의 종단함수를 구할 수 있는 방법을 논의하고 광대역 ISDN의 가입자 선로의 진폭과 위상응답을 추정하는 방안을 제시하였다. 이러한 방법은 단말측과의 협조없이 교환기 측에서만 수행될 수 있으며 정기적인 추정에 의해 선로를 보상할 수 있을 것이다.

이를 위해 활성과 비활성 상태의 종단 및 입력 임피던스의 항 만으로 ABCD 파라메터를 구할 수 있는 계산식을 유도 하였으며 입력 임피던스 추정방법에 대해서 논의 하였다. 활성과 비활성 상태의 단말기 입력 임피던스 수, 선로의 종단 임피던스는 규격화되어 사전에 알 수 있는것으로 가정하였다. 그러나, 단말기 입력 임피던스의 편차가 크더라도(규격의 ±100%) 추정오차는 약 ±1.6[dB] 정도에 지나지 않음을 광대역 ISDN 가입자 선로의 모델에 대한 수치계산에 의해 확인하였다.

선로의 입력 임피던스 추정을 위해 chirp 신호를 이용하였으며 앙상블 평균으로 잡음의 영향을 감소시킬 수 있었다. chirp 신호는 삼각신호가 아니므로 입력과 동시에 확률적 원점이 없으며 추정시점에서 제곱이나 상관을 취하지 않기때문에 비교적 위성 시스템의 감응에도 적용이 가능하다.

이상과 같은 방법은 신호를 입사하여 되돌아오는 신호로 분석하는 점에서 시간영역 반사 측정법의 하나로 볼 수 있으나, 선로의 전송지연을 측정하기 위한 종래의 펄스파를 구형파로 다르다. 본 연구에 뒤이어 실제 신호에 대한 현장실험과 추정결과에 따른 알고리즘의 실제적용 그리고 앙상블 평균을 위해 어느만큼 측정해야 하는 문제점을 해결할 수 있는 잡음제거 기법등이 연구되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 이 종원, 성 태경, 진 용옥, "광대역 ISDN을 위한 디지탈 시스템 모델링과 통신로 용량의 한계검정", 대한 전자공학회 논문지, Vol.25, No.6, 1988. 6.
2. 성 태경, 진 용옥, "광대역 ISDN 서비스 제공을 위한 우리나라 가입자 선로특성 추정", 한국통신 학회 논문지, Vol.13, No.1, pp.94-105, 1988.2.
3. L.N. Dworsky, "Modern Transmission Line Theory and Application", pp.38-39, John Wiley & Sons, Inc.
4. CCITT Rec., I.430, Blue Book, 1988.
5. S.Qureshi, "Adaptive Equlization", Proc. IEEE, Vol.73, No.9, pp.1349-1387, 1985.
6. J.S.Bendat, A.G.Piersol, "Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis", Wiely, 1980.
7. B.Widrow, S.D.Stearns, "Adaptive Signal Processing", Prentice-Hall, 1985.

李 宗 憲(Jong Heon LEE) 正會員
1962年10月 7 日生
1985年 2 月：慶熙大學校電子工學科 卒業(工學士)
1987年 8 月：慶熙大學校 大學院 電子工學科 卒業(工學碩士)
1988年 9 月～現在：慶熙大學校大學院 電子工學科 博士課程

陳 庸 玉(Yong Ohk CHIN) 正會員
1943年 3 月21日生
1968年 2 月：延世大學校工科大學 電氣工學科 卒業
1975年 2 月：延世大學校 大學院 電子工學科 (工學碩士)
1981年 8 月：延世大學校 電子工學科(工學博士)
1980年：通信技術士
1976年～現在：慶熙大學校 工科大學 電子工學科 教授