논문 2008-6-2

공중파 제거를 위한 x-DSL 고속화 장치 개발

Development of the speed up x-DSL extender for AM, HF rejection

민경찬*, 오호석**, 강정진***, 김신령***, 장학신***

Gyung-Chan Min, Ho-Seuk Oh, Jeong-Jin Kang, Sin-Ryeong Kim and Hark-Sin Chang

요 약 현재 인터넷 통신에 주로 사용하고 있는 x-DSLL 제품에 있어, ADSL은 대략 3.5km의 전송거리를 갖고 VDSL은 2km 이내의 전송거리를 갖는다. 즉, 전화선을 이용한 인터넷 전송속도는 전송선로의 특성상 통신속도와 반비례하여 전송거리가 결정되는 물리적 구조를 갖는다. 인터넷 전송방식에 따른 통신속도를 결정하는 또 다른 요소로 AM방송에 의한 ADSL회선의 속도저하, 단파통신에 의해 VDSL의 전송대역과 중첩되어 속도를 저하 시킨다. 본 연구에서는 Field to cable에 의해 유도된 공중파를 제거시키면서 신호를 증폭 전송대역을 최대로 확보하여 최적거리내 확보된 통신속도로 전송거리를 2배정도 향상시키는 제품개발에 관한 연구결과이다.

Abstract Intentional city bands and public radio frequencies could reduce the internet transmission speed on the wired lines because AM and HF band are overlapping on the xDSL up and down data steam by way of the wired transmission lines. We were designed the adaptive common mode rejection circuit with 2 way amplifier against public radio frequency. Specially our circuits were applied for power and signal lines. We could reduced the common mode rejection up to 30dB and increased the up stream speed around 1.8 times using a our developed equipments. Also it could expanded the transmission distance up to 1.7 times than old lines.

Key Words : xDSLL, ADSL, VDSL, Common mode, Amplitude modulation, High frequency communications

I. 서 론

많은 사람이 사용하는 인터넷 전송로는 대부분 별도의 전용선을 사용하는 경우를 제외하고 기존에 설치된 전화선을 이용하여 통신이 이루어진다. 전화선을 이용한 인터넷 전송은 ADSL, VDSL 등이 주류를 이룬다. 전화선이 지하화 되어 있는 경우는 크게 문제되지 않으나, 케이블이 가공으로 설치되는 구간이 존재하거나, 처음부터 가공케이블로 되어 있는 전화선의 경우 ADSLL은 500kHz- 1.6MHz 대역의 AM방송파와 전송대역이 겹치게 되고, VDSLL은 10MHz 단파통신과 전송대역이 겹치게 되어 multi channel access방식을 채택하고 있는 xDSLL 장비에 잡음을 유도시켜 충분한 전송대역을 확보 할 수 없어 통신속도가 저하된다. 또 다른 인터넷 전송속도를 저하시키는 원인으로 선로길이에 따른 감쇠가 전송속도를 저하시키는 주요원인이다. 이들 2가지 요소를 제거시켜 기존에 사용하고 있는 전송속도를 2배 가량 향상시키는 제품의 개발이 요구되어 연구 개발하게 된 배경이다.[1]-[4]

특히 한국, 유럽 등 특정 국가를 제외하고 전화선의 지중화가 이루어지지 않은 국가나 마을 단위가 단독주택 개념에서 구성된 주거지는 대부분 전화국으로부터 3-4km이상 떨어진 경우에 인터넷 전송속도를 향상시킬 수 있는 가장 이상적으로 필요한 제품이다. 본 논문에서는 설계 • 제작 및 실험하여 결과를 고찰하였다.

*정회원, (주)한국기술연구소
**정회원, (주)한국통신 미래기술연구소
***종신회원, 동서울대학 정보통신과
***정회원, 동서울대학 정보통신과
접수일자 2008.10.5, 수정완료 2008.12.7

II. 본 문

2.1 전송선로의 이론적 배경[1]-[4]

일반적인 시내 지하선로는 다심 케이블인 경우 개별 1쌍의 전송로가 DM(Dieselhorst & Martin) Quad형태로 꼬아 만든 0.4mm 종이절연 다중 케이블을 많이 사용한다. 가공선의 경우 한국의 경우는 PE 절연 0.65-0.9mm 케이블을 많이 사용하고 동남아 국가의 경우 PVC, PE절연 0.9mm 단심 전송선을 케이블화 하지 않고 다발로 묶어 많이 사용한다.

한국과 동남아 국가에서 사용하는 케이블의 종류와 구조 및 배선방법이 근본적으로 달라 이론적 배경 설정에 어려움이 있으나 여기서는 선송선로의 일반적인 형태를 이론적 배경으로 설정하였다. 인터넷 전송선로를 동상 모드만 고려하여 분포회로 표시하면 다음 그림1과 같다.

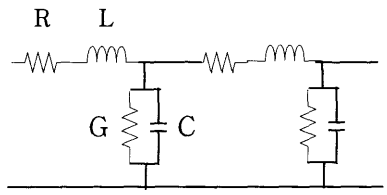


그림 1. 인터넷 전화선의 분포회로
Fig. 1 Distributed circuit of Internet wired line

전송선로의 분포회로적 해석식은 이미 잘 알려진 내용이므로 결론적인 내용만 기술하겠다. 위 그림1의 R은 동의 순도에 따라 결정되는 동 고유저항으로 주파수 상관식은 d를 mm단위의 전선직경이라 할 때 다음과 같다.[2]

$$R_{rf} = 3.78d \cdot \sqrt{f_{MHz}} \cdot R_{dc}[\Omega/m] \qquad (1)$$

L은 전선의 길이에 따라 결정되는 인덕턴스 값으로 주파수 상관식은 전선의 직경 d[mm], 전선이 접지면으로 부터 h[m] 높이에 놓여있는 경우 자유공간에서 다음 값을 갖는다.

$$L = 2 \times 10^{-7} \cdot ln(\frac{4h}{d}) \ [H/m] \qquad (2)$$

G[$\mho/m$]는 컨덴턴스이고, C[F/m]는 전선과 대지간의 정전용량으로 다음식으로 표현된다.

$$C = \epsilon \frac{S}{d}[F/m] \qquad (3)$$

그림1에서 분포회로정수 1차 정수와 직.병렬 임피던스와 특성 임피던스는 다음 식으로 표현된다.

- 직렬 임피던스 $Z = R + j\omega L$
- 병렬 임피던스 $Y = G + j\omega C$
- 특성 임피던스 $Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}}$

분포회로정수 2차 정수인 감쇠정수(α), 위상정수(β) 다음과 같다.

신호가 1m 진행할 때 진폭비 $\frac{V_{i1}}{V_{i2}}$

$$\mid \frac{V_{i1}}{V_{i2}} \mid = e^{-\alpha} = \frac{1}{e^{\alpha}} < 1 \qquad (4)$$

여기서 α는 감쇠정수라 하고 단위 길이당 다음 식으로 나타낸다.

$$\alpha = 20\log \mid \frac{V_{i1}}{V_{i2}} \mid \ [\text{dB/m}] \qquad (5)$$

전송선로의 1차 정수와 전파정수 r을 도입한 2차 정수의 관계에 주파수 함수를 도입하면 전송선로의 신호전송은 주파수에 따라 다음과 같은 특성을 갖는다.

- 중간 주파수(ADSL의 Up-link 500kHz 대역) (6)

$$Z_o = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} \fallingdotseq \sqrt{\frac{R}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{R}{2\omega c}} - j\sqrt{\frac{R}{2\omega C}}\ [\Omega]$$

$$\alpha \fallingdotseq \sqrt{\frac{\omega CR}{2}}[\text{NP/m}],\ \beta = \sqrt{\frac{\omega CR}{2}}[\text{rad/m}]$$

$$r \fallingdotseq \sqrt{\frac{\omega CR}{2}} + j\sqrt{\frac{\omega CR}{2}}$$

- 높은 주파수(ADSL의 Down link 1MHz까지 대역 (7)

$$Z_o = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} \fallingdotseq \sqrt{\frac{L}{C}} \ \ [\Omega]$$

$$\alpha \fallingdotseq \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2}\sqrt{\frac{L}{C}} \text{ [NP/m]}$$

$$\beta \fallingdotseq \omega\sqrt{LC} \ , \ r \fallingdotseq j\omega\sqrt{LC}$$

- 전송선로 감쇠량 최소조건 (8)

1차정수의 조건: $LG = RC$

2차정수의 조건; $\alpha = \sqrt{RG}$, $\beta = \omega\sqrt{LC}$

$$| Z_0 | = \sqrt{\frac{R}{G}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

식(6)으로부터 ADSL Up link의 경우 주파수가 비교적 낮고 통신선과 대지간의 용량도 낮기 때문에 주로 감쇠는 도체의 고유저항 R에 의해 손실이 발생되는 것을 알 수 있다.

반면에 Down link의 경우 비교적 주파수가 높기 때문에 선로감쇠는 전송선로의 1차 정수 모두의 영향을 받게 된다.

만일 차폐되지 않은 전송선을 사용하는 동남아 지역 전화선의 경우 C값이 매우 낮기 때문에 감쇠량은 저항과 인덕턴스에 의해 큰 영향을 받게 되는 것을 알 수 있다.

다만 감쇠정수 α의 변화는 R과 G에 대해서는 단조롭게 증가하나 L과 C에 대해서는 공진점이 존재하게 된다.

식(8)의 전송선로 감쇠량 최소조건은 L과 C가 존재하지 않고 순수한 저항선로로 구성될 때의 조건이다.

2.2 고속 정보통신 회선에 중단파 유도 최소화 이론

2.2.1 고속 정보통신 설비의 중단파 유도경로 해석

고속 정보통신 회선의 가공구간에 중파, 단파의 의도무선 전파가 자유공간 - 가공 케이블(Field to cable) 경로로 ADSL, VDSL(이후 xDSL 이라 칭함)에 중파와 단파 방송파가 유도되어 데이터 속도가 현격하게 떨어지고 데이터 전송거리가 짧아진다. 이 분야에 대한 종래의 기술은 KT측에서 통신선로의 중간에 차폐선 접지,통신회선에 컨덴서 삽입,통신선로의 지하화, 통신선로의 광케이블화, 동상모드(Common Mode) 코일을 회로에 직렬로 삽입하는 등의 방법을 사용해왔다. 이들 개선방법을 통해 어느 정도 방송파 유도에 의한 영향을 최소화 시킬 수 있었으나 광케이블은 시설원가가 높고 개별회선에 대한 작업성이 떨어지고, 전송 케이블의 종류에 따라 개선방법이 달라져 많은 시간과 노력이 필요하며 개선 결과도 통신선로의 지하화, 통신선로의 광케이블 설치 방법을 제외하고 전송특성이 부분적인 개선만 가능하였다.

또한 기존 방법은 장거리 단독 가입자인 경우 신호 고주파 성분의 감쇄가 급격이 증가하여 전송거리를 연장시킬 수 없었고 전송대역폭이 좁아 통신속도가 급격이 저하되었다.

이런 문제점을 해결하기 위한 회로 개선방법으로 회로의 평형화를 가장 적합하게 이룰 수 있는 하이브리드 코일을 전송선로에 중간에 삽입하여 쌍방향으로 증폭시키는 회로와 등화기를 내장하여 전송거리를 2배 이상 향상시키고, 등화기능을 갖도록 회로를 설계하여 신호 전송대역폭을 향상시켰다. 방송파가 통신선로에 유도되는 잡음유도 모델이 동상잡음(Common mode noise coupling) 형태이므로 동상잡음에 가장 효과적인 차동 증폭기를 채택하여 하였다.

뿐만 아니라 하이브리드 코일의 1차측 접지점을 이동시켜 통신회선이 완전하게 평형회로가 되도록 설계하여 중 단파의 유도량을 자체 상쇄되도록 설계하였다.

2.2.2 유도 최소화 회로 동작설명[5]

기존 중파,단파 방송전파가 xDSL회선에 동상(Common Mode) 잡음형태로 유도되어 모드 변환을 통해 차동(Differential Mode) 잡음화 되어 속도를 저하시키는 것을 하이브리드 코일과 저항을 이용하여 유도된 동상잡음을 제거시키고, 주파수별 신호감쇄를 비선형 증폭기(등화기능)로 증폭시켜 신호전달 거리를 2배 이상 향상시키면서 증폭기 자체가 차동증폭 기능을 갖추어 동상잡음 제거비(Common mode rejection ratio)를 높여 자체가 동상잡음 제거능력을 갖도록 회로를 설계하였다.

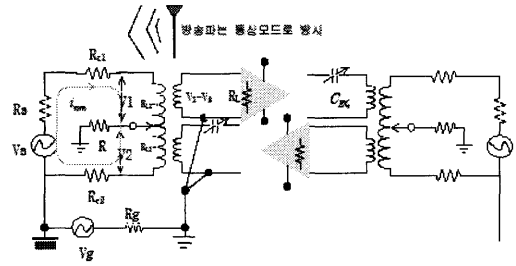


그림 2. 중단파 영향의 최소화 회로도

Fig.2 Minimum circuit diagram of AM, HF Influence

그림2는 양쪽이 대칭되어 있는 회로로 왼쪽은 전화국 측이고 오른쪽은 회로는 xDSL 가입자 회로 측이다.

Vs는 전화국측 신호전압이고, Rs는 전화국측 신호원의 내부 임피던스이다. R_{c1}, R_{c2}는 xDSL의 전송선로의 임피던스 값이다.

일반적으로 중단파 방송파는 방사 신호원의 1측을 대지에 접지시키고 전파를 방사시켜 Far field내에서는 동상모드(Common Mode) 형태로 전파가 전파된다. 이러한 전파가 통신선의 가공 케이블에 인가될 때 유기된 전압은 대지에 대해 L_1- Gnd, L_2-Gnd 동상의 신호가 유도된다.

그림2에서 우선 동상모드 잡음과 상관없이 방사된 방송파는 데이터 전송선로에 동상으로 V_1,V_2의 전압을 유도시킨다. 만일 하이브리드 트랜스 중앙을 전송선로가 정확하게 평형이 되도록 조절하여 접지시키면 동상의 V_1, V_2는 서로 상쇄된다.

전화국측 대지접지와 본 장치가 설치된 지점의 접지저항 차에 의한 전압을 Vg라하고 임피던스를 Rg, 유도잡음을 Vn이라 하면 본 고안의 회로에 동상의 유도 잡음량은 다음 식으로 표현된다.

$$V_n = V_1 - V_2 = \left(\frac{R_{L1}}{R_{L1}+R_{c1}+R_s} + \frac{R_{L2}}{R_{L2}+R_{c2}}\right)\cdot V_g \quad (9)$$

식(9)에서 트랜스 1차측 중앙점이 접지에 대해 회로가 완전하게 평형 되었다면 $V_n = V_1 - V_2 = 0$ 의 조건이 되어, 본 제안회로가 이상적으로 방송파의 동상 잡음을 제거 시킬 수 있으므로 다음 조건을 만족해야 한다.

$$\frac{R_{L1}}{R_{L1}+R_{c1}+R_s} = \frac{R_{L2}}{R_{L2}+R_{c2}} \quad (10)$$

분자항 R_{L1}과 R_{L2}의 관계는 $j\omega(L_1 - L_2)$의 차이로 하이브리드 코일 1차측 권선수를 미세하게 조정하여 평형 중심점(Center tap)으로부터 접지선을 인출한다면 $R_{L1} = R_{L2}$의 관계가 성립된다.

다만 비교적 높은 대역의 주파수 특성에 있어 권선 강도와 전송선로에 따라 미세한 차이가 발생될 수 있다.

이 차이가 바로 방송파에 의한 동상유도 전압이 차동모드 잡음신호를 변환되어 고속 정보통신 신호에 직접적으로 영향을 줄 수 있다. 분자항의 경우 전송선로에 의한 임피던스 불평형분을 트랜스 1차 Tap에서 평형을 이루도록 하는 것이다.

분모항을 살펴보면 전화국측 임피던스 R_s가 불평형을 일으키는 주요 임피던스 항목이다. 실제회로에서 $R_s \approx 100\Omega$ 정도이고 전송선로의 특성 임피던스도 $Z_{line} \approx 100-200\Omega$가 되므로 임피던스 정합에 큰 문제가 없으며 1차 tap에 R를 삽입하는 것은 xDSL의 차동전류를 제한하는 회로로 구성하였다.

2.3 회로구성 및 제품제작

회로는 xDSL 선로가 양향방향이므로 기본적으로 2↔4 wire 변환회로, Up link 증폭단, Down link 증폭단, Equalizer회로, 전원변환회로로 구성된다.

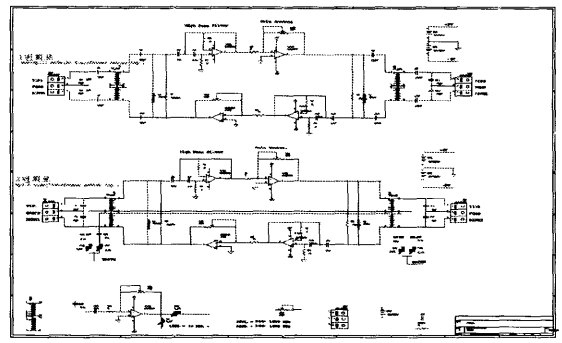


그림 3. 회로도
Fig. 3 Circuit Diagram

전원의 경우 전화국으로부터 48Vdc를 공급받아 전원변환기를 거쳐 사용하거나, 주변 상용전원으로부터 전원을 공급받는 구조를 채택하였다.

III. 시험 및 현장평가[6]

3.1 성능시험 및 현장시험

시험실에서 해당제품의 평가는 다음과 같이 장비를 구성하고 시험하였으며, 해당 제품의 이득은 양방향으로 NM (Normal Mode)로 Tracking Generator를 신호원으로 하고 출력단에 Spectrum analyzer를 연결하여 시험하였으며, 동상

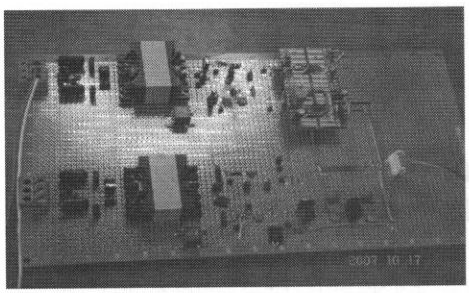


그림 4. 시작품 제작 및 시험
Fig.4 Fabrication and Test of Prototype

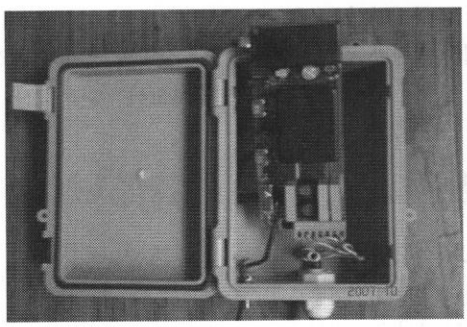


그림 5. 제안된 제품
Fig. 5 Proposed System

(CM) 제거비는 입력을 함께 묶고 별도의 궤환선을 통해 신호를 인가하고 출력단도 함께 묶어 궤환선과 스펙트럼 분석기를 연결하여 주파수 대역별 CMRR을 측정하였다.

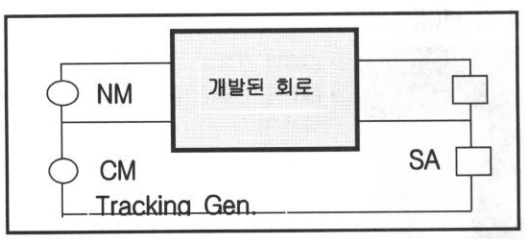


그림 6. 성능시험 구성도
Fig. 6 Configuration Diagram of Performance Test

현장시험은 한국통신(KT) 미래기술연구소와 경기 광주전화국의 협조를 얻어 관내 도척면 유정리 소재 3.27km정도 떨어진 인터넷 속도가 떨어지는 원거리 가입자를 대상으로 실시하였다. 본 장치의 설치위치는 그림7과 같이 설치하고 전원 급전은 주변 상전을 사용하였고, 인터넷 속도측정은 광주전화국 측에서 이루어졌다.

3.2 시험결과 요약

표 1. 요약
Table 1. Summary

Mode구분	사용전	사용후	비고
동상신호(CM)		30dB이상 제거	대역확보
차동신호(NM)		10-20dB 이득	전송거리확장, 속도향상
속도개선효과 (현장시험)	Up link; 0.82 Mbps Down link; 2.6 Mbps	1.60 Mbps 4 Mbps	양방향 모두 80-90%향상
전송거리(km)	ADSL; 최대 3.5km VDSL; 최대 2km	최대 8km 최대 4km	대략 2배

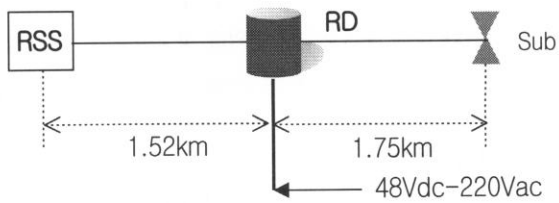


그림 7. 현장시험 조건
Fig.7 Condition of Field Test

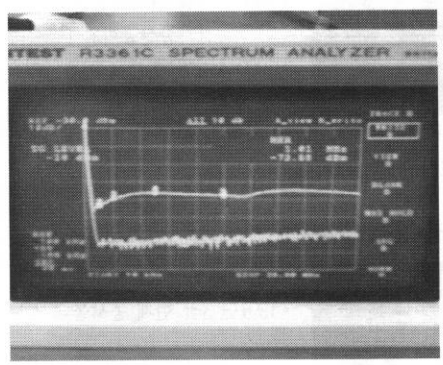


그림 8. 증폭기 이득 특성
Fig. 8 Gain Characteristics of Amplifier

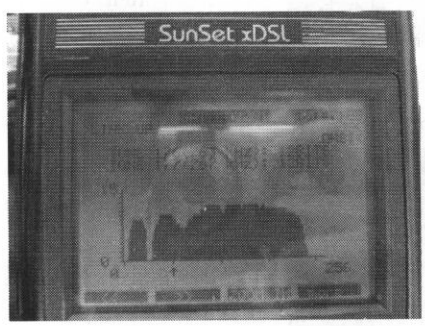


그림 9. Up-link, Down-link 전송대역
Fig. 9 Transmission band of Up-link and Down-link

IV. 결 론

본 연구는 필요에 의해 개발된 연구결과로 본문3.2와 같이초기 개발 목표 전송거리 2배 향상, 전송속도 약 2배를 향상시킬 수 있는 것을 확인하였다.

단, 현장시험조건에서 시험의 편익을 위해 중파의 영향이 없는 지역이었기 때문에 방송파에 의한 영향을 정량적으로 평가하지 못한 아쉬움이 있다. 방송파에 의한 영향은 이미 KT측에서 가입자 종말단자에서 가입자까지 기존 평행2선을 UTP 케이블로 모두 바꾸어 좋은 결과를 얻을 수 있었으므로 이에 대한 영향을 이미 증명되었다.

이후 보완연구가 필요한 분야는 본 장비의 설치위치를 최적화 하고 유지보수의 편익을 향상시킬 수 있는 방법에 대한 연구를 계속해야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] "전송이론", 동양과학사, 1981, pp.3.2-3.6

[2] 민경찬 "전자파 환경공학", 한국기술연구소, 2008.04, pp. 66-69

[3] 강정진, "안테나공학", 기한재, 1997, pp. 435-509

[4] 장학신, 김신령 "케이블선로공학", 2006

[5] 민경찬 . 특허등록 제0426942호 "고속정보통신용 통신회선회로"

[6] 민경찬, 오호석 "옥외 통신설비의 전자파 환경 평가 및 대책 기술 연구보고서" 한국통신 KT. 2007.10. pp.14-20

저자 소개

민 경 찬(정회원)

- 1979년 광운대 통신공학과 (공학사)
- 1983년 경희대 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2006년 2월 한국해양대 대학원 전자통신공학과 (공학박사)
- 1990년 2월~현재 (주)한국기술연구소 소장/대표이사

<주관심분야 : EMC/ 전자파 환경공학, 안테나 및 전파전파, 전자파 Engineering, Grounding system>

오 호 석(정회원)

1991년 충남대 전자공학과 (공학사)
1993년 충남대 대학원 (공학석사)
2008년 충남대 대학원 (공학박사)
1992년 2월~현재 한국통신 미래연구소
<주관심분야 : 통신 및 가입자 선로 낙뢰특성 분석, 증폭기, 통신유도>

강 정 진(종신회원)

제6권 제1호 참조

- 1991년 3월~현재 동서울대 정보통신과 교수
- 2007년 2월~현재 미국미시간주립대학교 전기컴퓨터공학과 교환교수

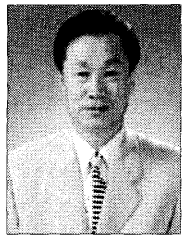
<주관심분야 :RFID/USN 기술, 무선이동통신 및 전파기술, 통방융합안테나 및 디지털 회로기술>

김 신 령(정회원)

- 1983년 경북대 전자공학과 (공학사)
- 1985년 연세대 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1990년 연세대 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1992년 9월~현재 동서울대 정보통신과 교수

<주관심분야 : 위성통신, 오류제어방식, 무선통신회로>

장 학 신(정회원)



제6권 제1호 참조

- 1978년 8월~현재 동서울대 정보통신과 교수

<주관심분야 :이동통신, 디지털 음향 및 멀티미디어 회로 설계, OFDM용 LSI 설계, 고주파 회로설계, 무선통신회로>