

# 멀티미디어 시스템용 광대역 아날로그 가변소자 설계

이근호<sup>\*</sup>

## 요약

본 논문에서는 음성과 영상신호를 실시간 처리해야하는 멀티미디어 시스템에 이용 가능한 광대역 아날로그 소자를 설계하였다. 제안된 소자는 저전압(2V) 동작이 가능하도록 완전차동 구조에 전압조절을 위한 튜닝회로를 추가한 형태로 설계되었으며, 이득특성에 영향을 주는 트랜스컨덕턴스값을 증가시키기 위해 상보형 캐스코드 방식을 이용하여 구성되었다. 0.25 $\mu\text{m}$  CMOS n-well 공정 파라미터를 이용한 시뮬레이션 결과, 제안된 아날로그 능동소자는 비우성극점의 제거로 안정성이 향상되었으며, 2V 공급전압하에서 42dB의 이득값과 200MHz의 단위 이득주파수 특성을 나타내었다. 소비전력값은 0.32mW를 나타내었다.

## Design of a Wideband Analog Tunable Element for Multimedia System

Geun-Ho Lee<sup>\*</sup>

## ABSTRACT

In this paper, a new wideband tunable analog element for multimedia system is proposed. The proposed active element is composed of the complementary cascode circuit which can extend transconductance of an element. Therefore, the unity gain frequency which is determined transconductance is increased than that of the conventional element. And then these results are verified by the 0.25 $\mu\text{m}$  CMOS n-well parameter simulation. As a result, the gain and the unity gain frequency are 42dB and 200MHz on 2V supply voltage. And power dissipation of the designed element is 0.32mW.

**Key words:** 멀티미디어시스템(Multimedia system), 광대역(Wideband), 아날로그(Analog), 능동소자(Active element), 트랜스컨덕턴스(transconductance)

## 1. 서론

음성처리 뿐만이 아닌 영상처리 기능까지 요구하는 멀티미디어 시스템 설계를 위해 현재 활발히 연구가 진행되고 있는 연속시간 신호처리 방식의 필터는 이산 시간 신호처리 방식의 필터에 비해 신호를 직접 처리할 수 있어 전력소모가 적어야 하는 이동통신시스템용 회로 등의 설계시 많은 장점을 지니고 있다[1,2]. 현재 활발히 진행되고 있는 연속시간 필터의 설계방식을 구조적으로 살펴보면 선택된 기본 능동소자의 특성에 의해 필터의 성능이 결정되며, 또한 선택된 능동소자의

종류에 따라 구조가 결정되는 형태를 보여주고 있다 [3]. 그 대표적인 방식들을 보면 트랜스컨덕터(Gm)를 이용하는 방법[4,5], 연산증폭기(OpAmp)를 이용하는 방법 그리고 전류제어증폭기(OTA)를 이용하는 방법 [6]으로 크게 구분할 수 있다. 이러한 능동소자중 어떤 것을 선택하여 구성할 것인가는 여러 가지 요인 중에서도 필터가 이용되는 주파수 영역에 의해 결정되는 경우가 대부분이다. 앞의 능동소자 중 수MHz 이하의 저주파 영역에서는 주로 연산증폭기와 전류제어증폭기를 기본 소자로 이용하는 방식이 적용되고 있으며, 수십MHz 이상의 고주파 영역에서는 트랜스컨덕터를 이용한 Gm-C 방식이 주를 이루고 있다. 본 논문에서는 저주파와 고주파 두 가지 방식의 통신시스템에 모

두 응용 가능하도록 Gm-C 방식에 근거한 차동 입출력 구조의 광대역 아날로그 능동소자를 제안하였다. 제안된 능동소자는 영점과 극점의 제거를 통해 안정성 등 여러 가지 향상된 특성을 지니고 있음이 검증된 완전 차동 상보형 구조에 전류미러 형태를 추가하여 기본 능동소자의 이득과 주파수 특성을 향상시켰다. 또한 그 특성을 제어할 수 있는 전압조절단자를 외부로 연결하여 소자 내부의 트랜스컨덕턴스 값을 외부에서 간단히 조작함으로써 칩 제작시 혹은 칩 제작후 여러 가지 요인으로 인해 발생할 수 있는 주파수와 이득특성의 저하를 보정 할 수 있을 뿐 아니라 광대역 특성을 통하여 비슷한 주파수 대역의 사양을 갖는 시스템에 간단한 전압조절만으로 적용 가능하도록 설계되었다.

설계된 능동소자의 응용여부를 검증하기 위해 저주파와 고주파 특성을 갖도록 각각의 사양에 맞는 능동필터를 설계하였다. 설계된 회로의 특성은 0.25μm CMOS n-well 공정 파라미터를 이용하여 hspice 시뮬레이션을 통해 검증되었다.

## 2. 완전차동 아날로그 능동소자의 고찰

### 2.1 Gm-C 구조

그림 1과 같은 형태의 Gm-C 구조의 능동소자는 현재 가장 많이 연구되어 발표되고 있으며, 본 논문에서 이용되는 기본구조이다[4-5]. 트랜스컨덕터는 출력단에 저항값을 갖지 않도록 설계된 형태이며, 연산증폭기로 구성된 형태보다 고주파 시스템 구현에 적합한 구조이다.

능동소자에서 이득값은 필터설계시 고주파 특성을 결정하는 가장 큰 요인이다. 따라서 이상적인 트랜스컨덕턴스라고 가정하고 전달함수와 단위이득주파수를 표현해 보면 다음의 식 (1)과 같다.

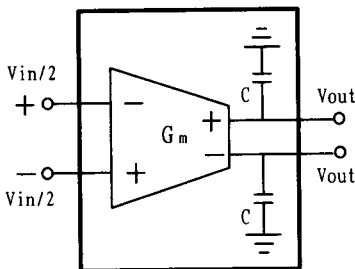


그림 1. Gm-C 구조

$$H_i(s) = \frac{V_{in}}{V_{out}} = -\frac{\omega_o}{s} = -\frac{g_m}{Cs}, \quad (1)$$

윗 식으로부터 단위이득주파수는 다음과 같다.

$$\omega_o = \frac{g_m}{C} \quad (2)$$

### 2.2 Gm-C-OpAmp 구조

그림 2에 보여지는 Gm-C-OpAmp 구조의 아날로그 능동소자는 앞의 Gm-C 구조와 비교할 때 접지 값을 가지고 있지 않다. 따라서 출력단의 임피던스값이 커야 한다는 차이점이 있다. 이러한 구조는 상대적으로 기생 커패시턴스에 낮은 감도특성을 유지할 수 있는 장점이 있다.

Gm-C-OpAmp 구조 아날로그 능동소자의 함수값에 적용되는 이득과 주파수 표현식은 앞의 Gm-C 구조에서와 유사하며, 단지 연산증폭기의 이득을  $A_o$ 라고 할 때 전체 이득값  $A$ 는 다음의 식 (3)과 같이 두 소자 이득값의 곱으로 나타낼 수 있다. 전체이득과 단위이득주파수는 다음과 같다.

$$A = A_o \times \frac{g_m}{g_{ds}}, \quad \omega_i = \frac{\omega_o}{A} \quad (3)$$

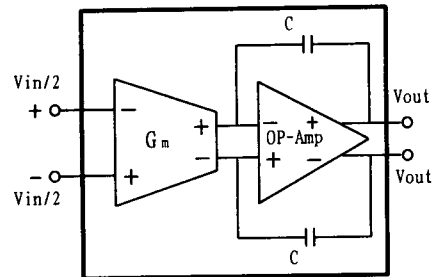


그림 2. Gm-C-OpAmp 구조

### 2.3 Gm-C-OTA 구조

앞 절의 Gm-C-OpAmp 구조의 아날로그 능동소자는 언급된 바와 같이 접지가 없음으로 인해 출력단에 높은 임피던스 값을 갖도록 구성되어있다. 따라서 출력단에 내부적으로 여러 가지 고려를 해줘야 한다. 반면에 그림 3과 같이 전류제어증폭기(OTA : Operational Transconductance Amplifier)를 이용하면 이러한 문제가 해결되고 필터 설계시에도 높은 주파수 대역을 간단하게 설계할 수 있다[6].

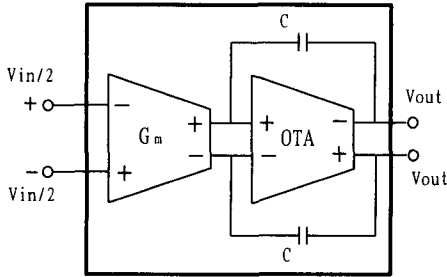


그림 3. Gm-C-OTA 구조

익시 Gm-C-OTA 구조의 아날로그 능동소자가 갖는 이득과 주파수는 두 능동소자 각각의 이득을 이용하여 쉽게 표현할 수 있다. 식 (4)에 전류제어증폭기의 이득  $A_o$ 와 트랜스컨덕터 이득의 곱으로 나타낼수 있는 전체 이득값  $A$ 를 나타내었다. 또한 우성 극점과 우반면에 존재하는 영점을 식 (5)에 나타내었다.

$$A = A_o \times \frac{g_m}{g_{ds}} \quad (\text{단, } A_o = \frac{g_{OTA}}{g_L}) \quad (4)$$

$$\omega_1 = \frac{\omega_o}{A}, \quad \omega_z = \frac{g_{OTA}}{C} \quad (5)$$

여기에서  $g_{OTA}$ 는 전류제어증폭기의 트랜스컨덕턴스이고,  $g_L$ 은 전류제어증폭기의 출력 컨덕턴스 값을 나타낸다.

본 장에서 기술된 차동입출력 구조 아날로그 능동소자의 장단점을 표 1에 정리하였다. Gm-C 구조의 특성을 살펴보면 이용된 MOSFET의 수가 적음으로 인해 저전력 특성을 나타내며 고주파 시스템 응용에 우수함을 알 수 있다. 출력저항의 영향을 많이 받으며

표 1 능동소자의 특성비교

	Gm-C	Gm-C-OpAmp	Gm-C-OTA
Required gain value	High	Moderate	Moderate
Influence of bandwidth	Low	High	Low
Influence of parasitic cap.	High	Low	Moderate
Influence of output res.	High	Low	Moderate
Required input range	Large	Gm:Large Op.:Small	Gm:Large OTA:Small
Required output range	Large	Gm:Small Op.:Large	Gm:Small OTA:Large
Number of act. elements	One	Two	Two
High-freq. capability	High	Moderate	Moderate
Tunability	Good	Good	Good
Required chip area	Small	Large	Moderate

로 이를 이용하여 이득값 향상에도 유리한 특성을 지니고 있다. 특히 특성 조절능력이 우수하여 전압조절을 통해 광대역 특성을 지님으로서 비슷한 주파수 대역 시스템에 새로운 하드웨어의 제작 없이 사용가능함으로서 설계 목적에 적합하다.

### 3. 광대역 아날로그 가변소자 설계

#### 3.1 완전차동 상보형 구조의 아날로그 능동소자

그림 4와 같이 병렬형태의 구조를 가진 완전차동 상보형 아날로그 소자는 비우성 극점 및 영점을 제거시킬 수 있어 단위이득 주파수 특성을 개선하고, 안정성의 유지에 큰 장점이 있다. 전류미러를 구성하고 있는 트랜지스터의 트랜스컨덕턴스( $g_m$ )값들은 같은 크기로 설계하여 KCL을 적용하면 다음과 같은 식 (6)과 식 (7)을 구할 수 있다. 여기서  $i_p$ 는 비반전입력,  $i_n$ 은 반전입력이다.

$$2g_m + sCv + 2v_s C_{gd} = i_i + i_o \quad (6)$$

$$2(g_m - g_{ds} - sC_{gd})v = i_c \quad (7)$$

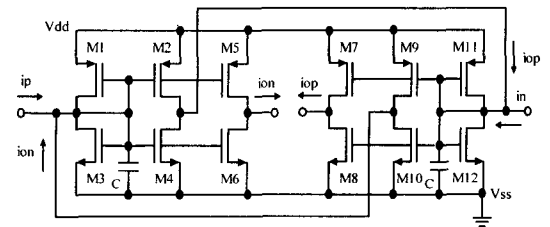


그림 4. 완전차동 상보형 아날로그 소자

식 (6)과 식 (7)로부터 다음을 얻을 수 있다.

$$i_o = A \frac{(1 - \frac{s}{z_1})}{(1 - \frac{s}{p_1})} i_i \quad (8)$$

이때  $z_1$ 과  $p_1$ 은 각각 영점과 극점이며, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$z_1 = \frac{(g_m - g_{ds})}{C_{gd}}, \quad p_1 = \frac{2g_{ds}}{(C + 4C_{gd})}$$

또한 전류이득은 다음의 식 (9)와 같다.

$$A = \frac{(g_m + g_{ds})}{g_{ds}} \quad (9)$$

따라서 소자의 단위이득 주파수는 식 (10)과 같이 얻을 수 있다.

$$\omega_o = p_1 A = \frac{2(g_m - g_{ds})}{C + 4C_{gd}} \cong \frac{2g_m}{C} \quad (\because g_m \gg g_{ds}, C \gg C_{gd}) \quad (10)$$

하지만 이상적인 전류모드 회로와 비교하면 입력과 출력저항의 비이상적인 특성으로부터 야기되는 문제로 인하여 출력 전류에 오차가 발생하여 정확성이 떨어지는 단점이 있다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해 본 논문에서 저전압 구현이 가능하며 출력전류의 오차를 개선시킬 수 전압조절 가변 특성을 지닌 전류미러 구조를 적용시켰다.

식 (9)와 식 (10)을 통해 능동소자의 이득과 단위이득 주파수는 내부에 형성되는 트랜스컨덕턴스( $g_m$ )값과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 따라서 전압조절단의  $V_{C1}$ 과  $V_{C2}$ 를 조절하여 트랜스컨덕턴스값을 조절할 수 있고 이 값은 다시 단위이득주파수에 영향을 미쳐 주파수 튜닝이 가능할 것을 유추해 낼 수 있다.

### 3.2 전압조절 가변 특성 구조의 전류미러

그림 5와 같은 구조는 최소 출력전압을  $V_{SS}$ 로부터  $V_{DS(sat)2} + V_{DS(sat)4}$  만큼 낮게 할 수 있어 저전압 구동이 가능하고, 출력저항을 증가시킴으로서 출력 전류에서 발생하는 오차를 개선시킬 수 있는 구조를 가진다. 따라서 우수한 입력 선형 범위와 출력 전압 스윙 등을

갖는다.

일반적으로  $g_m \gg g_{ds}$ 이고  $g_{m1} = g_{m3}$ 이면 입력 저항은 식 (11)과 같이 간략화 할 수 있다.

$$r_i = \frac{1}{g_{m1} + g_{ds1}} + \frac{1}{g_{m3} + g_{ds3}} \approx \frac{1}{g_{m1}} \quad (11)$$

또한, 출력 저항은 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$r_o = \frac{1}{g_{ds}} \left(1 + \frac{g_{m1}}{g_{ds4}}\right) \approx \frac{1}{g_{ds2}} \frac{g_{m1}}{g_{ds4}} \quad (12)$$

### 3.3 광대역 아날로그 가변소자 설계

그림 4의 차동 입출력 값을 갖는 완전차동 상보형 능동소자에 그림 5의 전압조절 가변 특성 구조의 전류미러를 이용하여 그림 6과 같은 전압조절 가변 CMOS 아날로그 능동소자를 구성할 수 있다. 제안된 회로는 추가된 전류미러를 통한 출력저항의 증가로 그 이득과

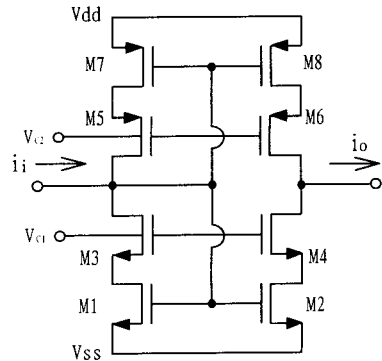


그림 5. 전압조절 가변 특성 구조의 전류미러

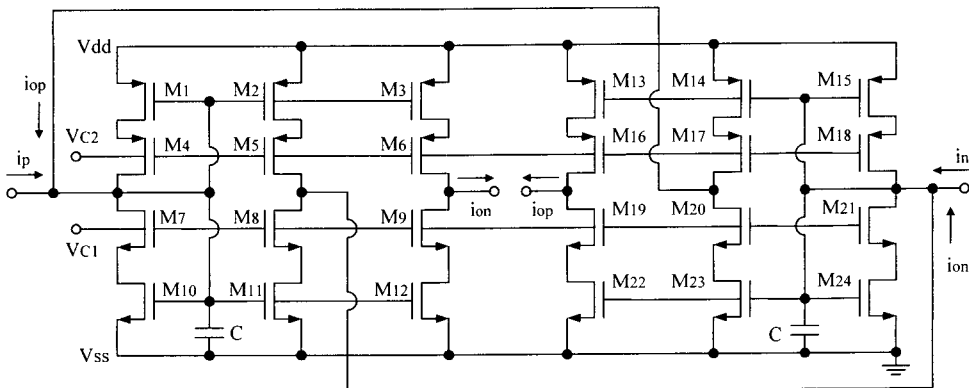


그림 6. 제안된 전압조절 가변 CMOS 아날로그 능동소자

단위이득 주파수가 증가된다. 그림 7은 동일한 조건하에서 기존의 아날로그 능동소자와 제안된 회로를 시뮬레이션한 결과이고, 이를 통해 제안된 소자의 이득값이 2V 동작전압하에서 기존회로 21dB에 비해 월등히 개선된 42dB값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 8은 제안된 능동소자의 출력 주파수 스펙트럼이다. 10 $\mu$ A의 입력 전류와 10MHz의 입력 신호 주파수에서 THD(total harmonic distortion)는 0.48%를 갖는다. 특히 원신호에 가장 큰 영향을 미치는 2차항의 신호가 완전차동구조를 통해 제거되고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 9는 제안된 회로의 전압조절 단자 V<sub>C1</sub>과 V<sub>C2</sub>에 전압값을 인가하여 조절된 특성을 보여주고 있다. 또한 표 2에는 조절되어 측정된 값을 정리하여 표현하였다.

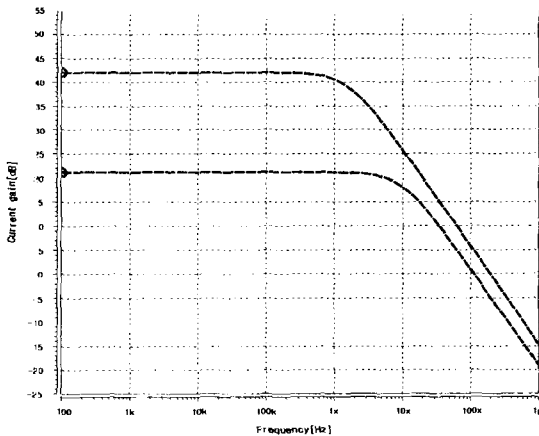


그림 7. 이득과 단위이득주파수 비교

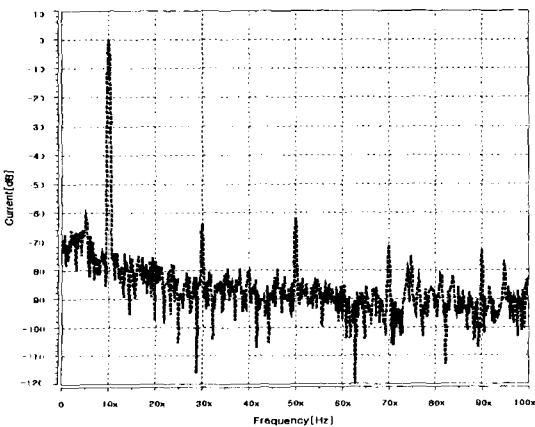


그림 8. 제안된 소자의 출력 주파수 스펙트럼

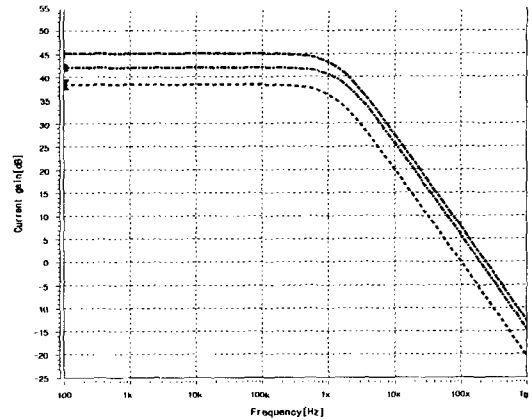


그림 9. 제안된 능동소자의 조절특성

표 2. 제안된 소자의 가변특성

	Supply voltage[V]	Controlled voltage[V]	Gain [dB]	Frequency [MHz]
Proposed integrator	2	V <sub>C1</sub> 0.9	38.4	105
		V <sub>C2</sub> 0.4		
		V <sub>C1</sub> 1.2	42.1	200
		V <sub>C2</sub> 0.5		
		V <sub>C1</sub> 1.5	45	260
		V <sub>C2</sub> 0.6		

#### 4. 결 론

본 논문에서는 완전차동 상보형 아날로그 능동소자에 출력저항의 증가로 그 이득과 단위이득 주파수 특성을 향상시킬 수 있는 전압조절 가변 특성의 전류미러 구조를 추가하여 향상된 성능과 특성조절이 가능한 새로운 아날로그 가변소자를 설계하였다. 동일조건하에서 완전차동 상보형 적분기는 이득은 21dB였으나 제안된 전압조절 가변 CMOS 능동소자의 이득은 42dB 값을 나타내었다. 이는 능동소자를 이용하여 능동필터를 설계할 때 요구되는 40dB 이상의 이득값을 만족함으로써 각종 시스템의 능동회로에 적용 가능할 것으로 사료된다. 설계된 전압조절 가변 CMOS 아날로그 능동소자는 0.25 $\mu$ m n-well CMOS 공정 파라미터를 이용하여 hspice 시뮬레이션 하였으며, 그림 7에서 그림 9까지의 시뮬레이션 결과에서 보여주고 있듯이 공정특성의 향상과 안정된 구조를 통해 2V 공급전압하에서 왜곡없는 신호특성을 나타내었다. 시뮬레이션 결과 제안된 회로는 2V 공급전압에서 전력소모는

0.32mW이고, 단위 이득 주파수는 200MHz를 나타내었다.

특히 전압조절 특성 방식을 적용함으로써 외부에 연결될 수 있는 전압조절단자를 통해 소자 내부의 전류값을 조절하고, 전류에 영향을 받는 트랜스 컨덕턴스값을 제어하여 능동소자의 이득과 단위이득주파수를 조절할 수 있는 광대역 특성을 지니고 있다. 이를 이용하여 DSL 모델등에 이용되는 능동필터를 설계하면 주파수 튜닝을 통해 비슷한 대역의 시스템에는 새로운 제작이 필요 없이 간단한 전압조절만으로도 이용 가능할 것으로 사료된다.

향후 연구방향으로는 제안된 기본 능동소자를 이용하여 각종 멀티미디어 통신시스템의 입출력단에 포함되어 있는 저역통과 또는 대역통과 능동필터를 설계하고, 아날로그 신호처리단의 각종 블록에서 그 응용가능 여부를 확인하는데 목표를 두고 있다.

### 참 고 문 헌

[ 1 ] R. H. Zele and D. J. Allstot, "Low-Power CMOS Continuous-Time Filter", *IEEE J. Solid-State Circuits*, 31(2), 18-27, Feb. 1996.  
 [ 2 ] J. Sabadell, C. Aldea, S. Celma and P. A. Martinez, "A Low Voltage High Frequency Integrator for CMOS Continuous-Time Current-Mode Filters", in *Proc. IEEE ISCAS*, pp.339-349, 1998.

[ 3 ] T. Georgantas, Y. Papananos and Y. Tsividis, "A Comparative Study of Five integrator Structures for Monolithic Continuous-Time Filters", *IEEE Trans. Circuits and Systems*, 40, 1259-1262, 1993.  
 [ 4 ] 이근호, 방준호, 조성익, 김동용, "트랜스컨덕턴스(gm)를 이용한 전류모드 능동 필터의 이득 및 주파수 제어", *대한전자공학회 논문지*, 35(6), 30-38, 1998.  
 [ 5 ] C. C. Hung, K. Halonen, M. Ismail and V. Porra, "Micropower CMOS GM-C Filters for Speech Signal Processing", in *Proc. IEEE ISCAS*, pp.1972-1975, 1997.  
 [ 6 ] Y. SUN, "Second-order OTA-C filters derived from Nawrocki-Klein biquad", *Electronics letters*, 34(15), 1449-1450, 1998.



이 근 호

1994년 2월 전북대학교 공과대학 전기공학과 공학사  
 1997년 2월 전북대학교 대학원 회로및시스템 공학석사  
 2000년 8월 전북대학교 대학원 회로 및 시스템 공학 박사

2002년 3월 ~ 현재 전주대학교 정보기술컴퓨터공학부 전임강사

관심분야 : 멀티미디어 시스템, 통신 신호처리  
 E-mail : ghlee@jeonju.ac.kr

### 교 신 저 자

이 근 호 560-759 전라북도 전주시 완산구 효자동 3가  
 1200 전주대학교 정보기술컴퓨터공학부