

# ADSL 송수신단용 저역통과 능동필터 설계

## A Design of Lowpass Active Filter for ADSL Tx/Rx Stage

이 근 호\*

(Geun-Ho Lee\*)

\*전주대학교 정보기술공학부

(접수일자: 2004년 8월 24일; 수정일자: 2004년 11월 29일; 채택일자: 2004년 12월 3일)

기존의 음성신호와 다른 주파수 대역을 사용하여 데이터 통신이 가능한 ADSL 모뎀 송수신단의 CMOS 아날로그 저역 능동필터를 각각 설계하여 제안하였다. 설계된 필터는 2.5V의 저전압 동작이 가능하며, 각각의 설계사양에 따라 송신단에서는 138kHz의 차단주파수값을 갖는 저역통과 능동필터가 수신단에서는 1,100kHz의 차단주파수 특성을 갖는 저역통과 능동필터가 설계 되었다. 이득과 단위이득 주파수 특성 면에서 개선된 high-swing cascode 방식의 저전압 능동소자가 필터를 설계하기 위한 기본 블록으로 이용되었다. 제안된 소자와 설계 제안된 필터는 0.25 $\mu$ m CMOS n-well 공정 파라미터를 이용하여 그 특성이 검증되었다.

**핵심용어:** ADSL 모뎀, 음성신호 대역, 연속시간 능동필터

**투고분야:** 음향 신호처리 분야 (1,2)

CMOS analog lowpass filters using speech signal bandwidth for a Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL) modem are presented. Designed active lowpass filters are composed of the CMOS complementary high-swing cascode stage which can increase transconductance of an active element. As a result, their cutoff frequency are 138kHz and 1,100kHz respectively. A low-voltage high-swing cascode integrator which improved on a gain and unit gain frequency used to design the filters. The designed filters are verified by HSPICE simulation with the 0.25 $\mu$ m CMOS n-well parameter and a single 2.5V power supply.

**Keywords:** ADSL Modem, Speech signal bandwidth, Continuous-time active filter

**ASK subject classification:** Acoustic Signal Processing (1,2)

## I. 서론

음성처리 뿐만이 아닌 영상처리 기능까지 요구하는 멀티미디어 시스템 설계를 위해 현재 활발히 연구가 진행되고 있는 연속시간 신호처리 방식의 필터는 신호를 직접 처리할 수 있어 전력소모가 상대적으로 적어야 하는 모바일 시스템 구축시에도 많은 장점을 지니고 있다 [1,2]. 더불어 기존의 전화선을 이용하여 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 장점 때문에 DSL (Digital Subscriber Line) 방식의 통신망 구축은 그 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 따라서 본 논문에서는 저전력 특성을 보유하여 모바일 시스템 구축에 응용이 용이한 새

로운 방식을 이용하여 현재 상용화 되어 있는 ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line) 모뎀의 아날로그 입력단용 연속시간 저역 능동필터를 설계하였다. ADSL 시스템에 이용되고 있는 모뎀은 구성하고 있는 핵심 칩들을 거의 모두 수입에의존하고 있기 때문에 그 가격면에서 공급자와 사용자에게 많은 부담이 되고 있다. ADSL 모뎀용 핵심 칩은 국외 일부 회사 등에서 주로 공급하고 있으며, 국내 대부분의 관련업체들은 수입하여 자사 모뎀제품에 활용하고 있다. 따라서 초고속 정보 서비스의 광범위한 보급과 저가의 고품질 서비스를 제공받고, 관련 부품의 수입대체효과를 위해서는 ADSL를 포함한 xDSL 모뎀용 핵심 칩의 국내 개발이 시급히 요구되고 있다. 하지만 필터를 포함한 ADSL 모뎀용 아날로그 Front-end 단에 관한 국내의 연구개발 실적은 매우 미약한 편이며 극소수에 불과하다. 최근 DSL용 아날로그에 관련된 발표된 논문을 살펴볼 때 출력 구동단의 증폭

책임저자: 이 근 호 (ghlee@jj.ac.kr)  
560-759 전북 전주시 완산구 효자동 3가 1200  
전주대학교 정보기술공학부  
(전화: 063-220-2935 ; 팩스: 063-220-2058)

가 부분에 관한 내용으로 필터 부분은 다루지 않고 있다. 또한 최근 발표된 다른 논문은 유사한 방법으로 구현된 시스템들이나 공급전압이 최대 3.3V로 설계되어있다 [3,4].

본 논문에서는 ADSL 모뎀용 아날로그 입출력단 내에 사용되는 송신단과 수신단의 연속시간 저역통과 필터를 각각 설계하였으며, 필터는 주파수와 이득의 튜닝을 용이하게 하고 잡음특성에 유리한 트랜스컨덕터를 이용하여 구현하였다. 설계에 활용된 파라미터는 0.25 $\mu$ m CMOS 1-poly, 5-metal n-well 공정 파라미터를 이용하였으며, 저전력 특성 보유를 위해 2.5V의 저전압 동작이 가능하도록 설계하였다.

## II. ADSL 모뎀 기본 블록 고찰 및 기본소자 설계

### 2.1. 입출력단 구성블록 고찰

ADSL모뎀 입출력단의 전반적인 구성도를 그림 1에 나타내었다. 점선으로 표현되어 있는 아날로그 입출력단 블록에 나타나 있는 바와 같이 수신단에서 필요로 하는 소자들은 대표적으로 증폭기, 연속시간 고역 및 저역 통과 능동필터, 아날로그-디지털 변환기 등이 있다. 그리고 송신단에서 필요로 하는 대표적인 소자들은 디지털-아날로그 변환기, 연속시간 저역 통과 필터, 각종 드라이버 등이 있으며 이들의 원활한 동작을 위해 전압공급 회로와 튜닝 회로 등이 설계되어 추가될 수 있다.

모뎀에서 필요로 하는 소자들 중에서 연속시간필터는 수신단에서 고역통과필터와 저역통과필터가 중속 연결로 구성되어 동작을 수행하며, 송신단에는 저역 통과필터가 단일로 구성되어 동작한다. 주파수 대역 선택을 위해 설계 구성된 필터들은 수신단 경로에서 138kHz-1.104

kHz의 신호 주파수를 선택 처리해야 하며 송신단 경로에서는 34.5kHz-138kHz 대역의 신호 주파수를 선택하는 역할을 수행한다.

### 2.2. 입력 선형성을 개선시킨 능동소자 설계

통신시스템에 필수적으로 이용되는 연속시간 능동필터의 경우, 이산시간 필터에 비해 연속시간 필터는 신호를 직접처리 할 수 있어 전력소모가 적어야 하는 대용량 초고속 멀티미디어 시스템 설계에 많은 장점을 지니고 있다. 본 논문에서는 전력소모가 적은 연속시간 신호처리 능동소자를 이용하여 저주파 대역을 필요로 하는 통신용 모뎀의 사양에 부합하는 연속시간 능동필터를 설계하였다. 능동소자의 주 구성원인 트랜스컨덕턴스는 입력 전압에 선형적으로 비례하는 출력 전류를 발생시키는 증폭기로서 넓은 입력 신호 범위 내에서 선형적인 입력 대 출력 특성을 가져야 하며 트랜스컨덕턴스 값을 용이하게 조절할 수 있어야 한다[5,6]. 또한 전압과 전류를 통한 신호처리를 위해 입력 저항과 출력 저항은 매우 커야 한다. 따라서 MOS 트랜지스터를 이용한 입력 회로가 유리하며 출력 저항을 증가시키기 위해서 캐스코드 구조 등 여러 가지 설계 기법을 사용하기도 한다[7]. 이러한 특성을 만족할 수 있도록 입력 선형범위를 최대화하여 이득 특성이 조절 될 수 있으며, 특히 2.5V의 저전압으로 동작할 수 있는 저전력 구조의 능동소자를 설계하였다. 우선 선형성에 커다란 영향을 미치는 이득값의 증대를 위해 high-swing 캐스코드 구조를 적용하여 이득값과 비례관계에 있는 소자의 트랜스컨덕턴스 값을 증대 시켰다.

일반적으로 능동소자에서 유도해 낼 수 있는 이득과 단위이득주파수의 결과식, 그리고 이를 결정하는 트랜스컨덕턴스와 전류와의 관계는 다음식과 같이 나타낼 수 있다. 수식을 통해 능동소자의 이득과 단위이득주파수는 트랜스컨덕턴스 값에 의해 결정됨을 알 수 있다. 따라서 이득단에서 전류값을 조절함으로써 전류값과 비례하는 특성을 보여주는 트랜스컨덕턴스값을 용이하게 조절할 수 있도록 설계하였다. 이는 칩 제작시 발생할 수 있는 온도 및 잡음에 의한 주파수 변동에 대처할 수 있도록 구성된 것이다. 또한 완전 차동구조가 대칭적으로 구성됨으로 저전압인 1.25V의 전압으로 동작 가능하였으며, 이로 인해 저전력 특성을 보유할 수 있도록 설계된 형태이다. 그림 2와 3에 능동소자의 이득과 단위이득주파수 그리고 선형성을 나타내는 시뮬레이션 결과를 보여 주었다.

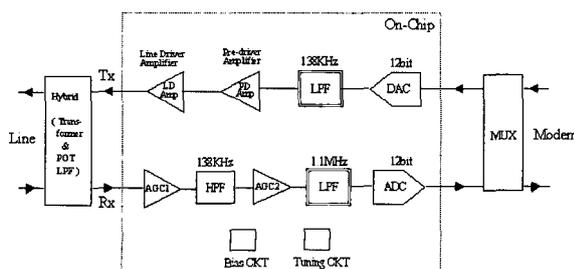


그림 1. ADSL 모뎀의 입출력단 구성도  
Fig. 1. Structure of ADSL Front-end stage.

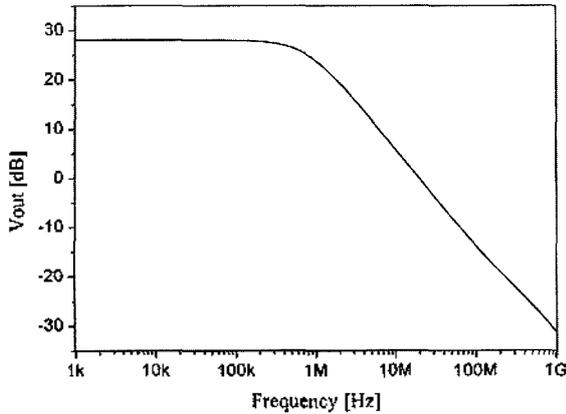


그림 2. 제안된 능동소자의 AC 특성  
Fig. 2. AC characteristic of proposed active element.

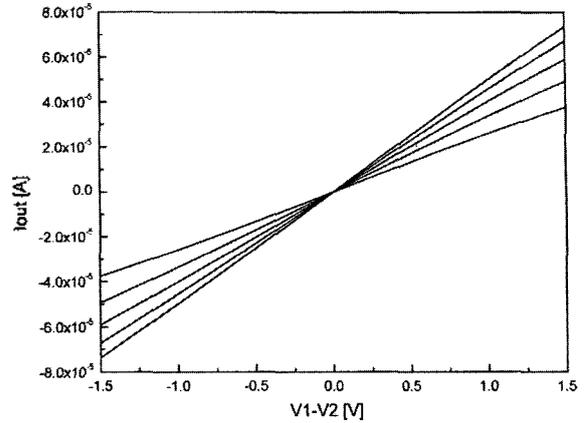


그림 3. 제안된 능동소자의 선형성  
Fig. 3. Linearity of proposed active element.

$$A = \frac{g_m}{g_{ds}} \quad (1)$$

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

$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial V} \quad (3)$$

### III. ADSL모뎀용 송수신단 저역통과 필터 설계

#### 3.1. 송신단 저역통과 필터 설계

제안된 능동소자를 이용하여 ADSL 모뎀용 아날로그 입출력단에 사용되는 송신단의 연속시간 저역통과 능동 필터를 설계하였다. 먼저 송신단에서 이용되는 아날로그 연속시간 필터는 차단주파수 138kHz의 저역통과 필터가 필요하다. 이를 구현하기 위해 3차의 타원함수를 이용하여 설계하였다. 송신단 저역통과 능동필터의 설계 명세 조건은 표 1과 같다. 표 1의 설계 명세 조건에 따라 송신단 저역통과 능동필터를 구성하기 위하여 제자형 복종단 수동 필터를 설계하고, 신호흐름선도를 이용한 SFG 실현법을 통하여 능동필터로 변환함으로써 최종적으로 연속시간 능동필터를 설계하였다. 그림 4에 설계된 저역

그림 4. 송신단용 3차 연속시간 저역통과 능동필터  
Fig. 4. Tx 3rd continuous-time lowpass active filter.

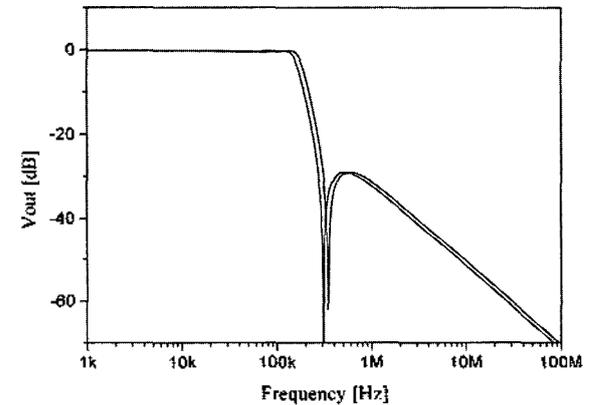


그림 5. 송신단 3차 저역통과 능동필터의 차단주파수 특성  
Fig. 5. The cut-off frequency of Tx 3-rd filter.

능동필터를 나타내었다. 그리고 기존의 능동소자[6]를 이용한 필터의 특성과 개선된 소자를 이용한 필터에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 5에 나타내고 있으며, 이 결과들로부터 필터의 설계 명세 조건을 만족하는 특성을 얻어내었음을 알 수 있다.

표 1. 송신단 저역통과 필터의 설계명세조건

Table 1. The specification of Tx lowpass filter.

Max input level	1 Vpd
Max output level	1 Vpd
Cutoff Frequency	138 kHz
Filter Function	3rd-Elliptic
Max in-band ripple	1 dB

#### 3.2. 수신단 저역통과 필터 설계

수신단에서 필요로 하는 대표적인 능동필터는 차단 주파수 138kHz의 고역통과 필터와 차단 주파수 1,100kHz의 저역통과 필터가 필요하다. 본 논문에서는 제안된 능동소자를 이용하여 3차의 Butterworth 함수를 이용하여 저역통과 필터를 설계하였다. 수신단 저역통과 필터의 설

표 2. 수신단 저역통과 필터의 설계명세조건  
Table 2. The specification of Rx lowpass filter.

Max input level	1 V <sub>pd</sub>
Max output level	1 V <sub>pd</sub>
Cutoff Frequency	1,100 kHz
Filter Function	3rd-Butterworth
Max in-band ripple	1 dB

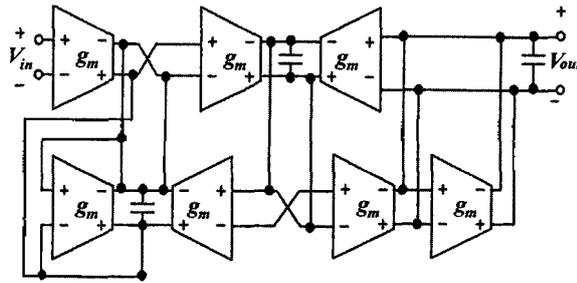


그림 6. 수신단용 3차 연속시간 저역통과 능동필터  
Fig. 6. Rx 3rd continuous-time lowpass active filter.

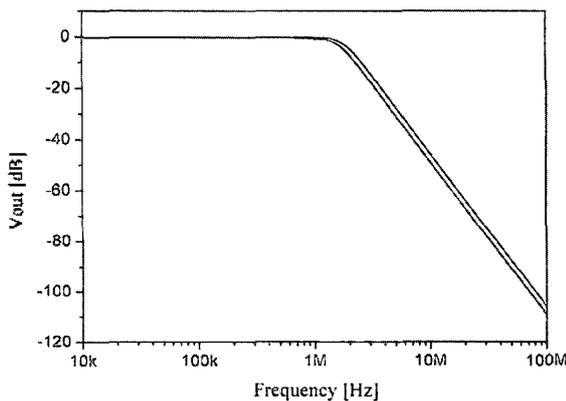


그림 7. 수신단 3차 저역통과 능동필터의 차단주파수 특성  
Fig. 7. The cut-off frequency of Rx 3-rd filter.

계 명세 조건은 표 2에 나타내었고, 설계 명세 조건에 따라 구성된 능동필터를 그림 6에 보여 주고 있다.

그림 7에 설계된 수신단의 저역통과 연속시간 능동필터의 차단주파수 특성을 나타내었으며, 기존의 능동소자를 이용하여 설계된 능동필터보다 개선된 특성을 보여주고 있음을 알 수 있다.

#### IV. 결론

연속시간 능동필터는 음성 및 데이터 통신 시스템에서 필수적으로 사용되는 서브 블록이다. 본 논문에서는 새로운 구조의 능동소자를 이용하여 현재 상용화되어 대부분의 개인 인터넷 사용자들이 사용하고 있는 ADSL 모뎀

의 아날로그 입출력단 사양에 맞는 능동필터를 설계함으로써 그 응용도를 확인하였다. 설계된 필터의 세부사양은 표준화된 규격에 따라 결정하였고, 이에 따라 기존의 전화선을 이용한 대역에서 이용 가능한 ADSL 모뎀 입출력단에 포함되는 송신단 및 수신단 각각의 아날로그 저역통과 능동필터를 연속시간 신호처리 방식을 이용하여 설계하였다.

송신단에서 필요로 하는 아날로그 저역통과 능동필터는 차단주파수 138 kHz의 3차 타원함수를 이용하여 설계되었고, 수신단에서 이용되는 저역통과 능동필터는 차단주파수 1,100 kHz의 3차 Butterworth 함수를 이용하여 설계하였다. 트랜스컨덕턴스값을 이용하여 설계된 각각의 필터는 능동소자 내부 이득단의 전류값을 제어함으로써 주파수와 이득의 튜닝이 다른 방식에 비해 용이하며, 잡음 특성에 유리하였다. 연속시간 저역통과 필터를 설계하기 위하여 선형 특성이 개선된 능동소자를 새롭게 설계하여 이용하였으며, 시뮬레이션을 통해 본 논문에서 설계된 연속시간 필터는 기존의 소자를 이용한 필터보다 개선된 특성을 보유하고 있음을 알 수 있었다. 설계 파라미터는 아남에서 제공한 CMOS n-well 공정 파라미터를 이용하였으며 특히 2.5V의 저 공급전압 집적회로로 제작하기 위하여 각 블록을 저전압 구조에 맞도록 구성하여 차단주파수 특성이 우수한 저역통과 능동필터를 설계함으로써 추후 상용화시 DSL용 모뎀의 아날로그 블록 온칩화에 응용 가능할 것으로 사료된다.

#### 참고 문헌

1. C. Toumazou, F. J. Lidgley and D. G. Haigh, *Analogue IC design : the Current-mode approach*, IEEE Circuits and systems series 2, Peter Peregrinus Ltd., on behalf of the Institution of Electrical Engineering, (London, 1993), Chap. 11, 783-923
2. J. Sabadell, C. Aldea, S. Celma and P. A. Martinez, "A Low Voltage High Frequency Integrator for CMOS Continuous-time Current-mode Filters", Proc. IEEE ISCAS Conf., 339-349, 1998.
3. 안인수 외 4인, "Fully Differential CMOS 연산증폭기 설계", 대한전자공학회지 37 (6), 85-95, 2000.
4. J. Y. Lee, and et all, "A 3V linear input range tunable CMOS transconductor and its application to a 3.3V 1.1MHz Chebyshev low-pass Gm-C filter for ADSL", Proceedings of the IEEE 2000 Custom Integrated Circuits Conf., 387-390, 2000.
5. C. S. Yoo, and et all "A ±1.5V, 4-MHz CMOS Continuous-Time Filter with a Single-Integrator Based Tuning", IEEE J. Solid-State Circuits 33, 18-27, Jan. 1998.

6. 이근호 외 3인, "3V CMOS Fully-Balanced 상보형 전류모드 적분기 설계", 한국음향학회지 16 (4), 106-113, 1997.
7. C. H. Lin and M. Ismail, "A 2V 5th-order Fully-Differential CMOS Gm-C Filter for Wide-band Communication", IEEE Proc. 136-139, 1999

---

## 저자 이력

---

• 이 근 호 (Guen-Ho Lee)



1969년 3월 29일생  
1994년 2월: 전북대학교 공과대학 전기공학과 공학사  
1997년 2월: 전북대학교 대학원 석사 및 시스템 공학석사  
2000년 8월: 전북대학교 대학원 석사 및 시스템 공학박사  
2002년 3월: 현재 전주대학교 정보기술공학부 조교수  
※주관심분야: 멀티미디어 시스템, 통신 신호처리