

ADSL 모뎀용 CMOS 아날로그 송수신 필터 설계

°방준호*, 이근호**, 유영규**, 윤창훈***
익산대학 전기과*, 전북대 전기과**, 우석대 정보통신과***

Design of the CMOS Analog Tx/Rx Filters for an ADSL Modem

°Bang, Jun-Ho*, Lee, Gun-Ho**, Yoo, Young-Kyu**, Yun, Chang-Hoon***
Iksan National College*, Chonbuk National University**, Woosuk University***

Abstract - 본 논문에서는 ADSL 모뎀용 아날로그 Front-end 단에 사용되는 Rx과 Tx단의 연속시간 Gm-C 고역 및 저역 통과 필터를 설계하였다. 설계된 Tx의 아날로그 저역 통과 필터는 차단 주파수, 138kHz의 3차 Elliptic 함수를 이용하였고, Rx에서는 138kHz의 3차 Butterworth 고역 필터와 1.1MHz의 3차 Butterworth 저역 필터를 이용하여 설계하였다. 설계된 모든 필터는 주파수와 이득의 튜닝을 용이하게 하고 잡음특성에 유리한 연속시간 Gm-C 실현 법을 이용하여 구현하였다. Gm-C 실현 법을 이용하기 위하여 선형 특성이 개선된 Gm-C적분기를 새롭게 설계하여 이용하였다. 설계에 활용된 파라미터는 IDEC에서 제공한 아남의 0.25 μ m CMOS 1-poly, 5-metal 공정 파라미터를 이용하였으며, 2.5V의 저전압으로써 회로로 구성하였고 HSPICE를 이용하여 검증하였다.

잡음특성에 유리한 연속시간 Gm-C 실현 법을 이용하여 구현하였다. Gm-C 실현 법을 이용하기 위하여 선형 특성이 개선된 Gm-C적분기를 새롭게 설계하여 이용하였다. 설계에 활용된 파라미터는 IDEC에서 제공한 아남의 0.25 μ m CMOS 1-poly, 5-metal 공정 파라미터를 이용하였으며, 2.5V의 저전압으로써 회로로 설계하였다.

1. 서 론

ADSL은 기존의 전화선을 이용하여 최대 9Mbps까지의 전송속도로서 인터넷 등 각종 멀티미디어 서비스를 실현할 수 있다는 장점 때문에 초고속 정보 통신망 구축을 위한 인프라의 핵심으로 부각되면서 최근 그 수요가 급격히 증가하고 있다.[1] 그러나 국내의 ADSL용 모뎀 가격만 약 수십 만 원 대로서 이처럼 가격이 높은 이유는 모뎀을 구성하고 있는 핵심 칩들을 거의 모두 수입하고 있기 때문이다. ADSL 모뎀용 핵심 칩은 국외 일부 회사 등에서 공급하고 있으며, 국내에서는 일부 회사에서 G-lite 제품을 개발하였을 뿐 그 이외의 대부분의 관련업체들은 수입하여 자사 모뎀제품에 활용하고 있다. 국내에서 초고속 정보 서비스의 광범위한 보급과 저가의 고품질 서비스를 제공받고, 관련 부품의 수입 대체효과를 위해서는 ADSL을 포함한 xDSL 모뎀용 핵심 칩의 국내 개발이 시급히 요구되고 있다. 특히 아날로그 Front-end 단의 국내 개발은 더욱 그 필요성이 요구되고 있다.

DMT 변조 방식의 ANSI의 표준화 규격 T1.413-2에 따라 ADSL 모뎀용 아날로그 Front-end 단의 사양을 볼 때 사용자측(ATU-R)과 서비스를 제공하는 측(ATU-C)의 경우로 구분되며,[2] 전송의 방향에 따라 두가지 방향으로 회로가 구성된다. ADSL은 비대칭 구조의 쌍방향 데이터의 전송이 이루어지므로 DMT방식의 경우, ATU-R측을 기준으로 138kHz-1.104MHz의 하향(down-stream)과 34.5kHz-138kHz의 상향(up-stream) 방향의 주파수 대역으로 구별된다.

본 연구에서는 T1.413-2 규격에 따라 ADSL 모뎀용 아날로그 Front-end 단에 사용되는 Rx과 Tx단의 연속시간 Gm-C 고역 및 저역 통과 필터를 설계하였다. 설계된 Tx의 아날로그 저역 통과 필터는 차단 주파수, 138kHz의 3차 Elliptic 함수를 이용하였고, Rx에서는 138kHz의 3차 Butterworth 고역 필터와 1.1MHz의 3차 Butterworth 저역 필터를 이용하여 설계하였다. 설계된 모든 필터는 주파수와 이득의 튜닝을 용이하게 하고

2. 본 론

2.1 ADSL 모뎀용 아날로그 Front-end 블록의 필터 구성

그림 1에 설계된 ADSL용 아날로그 Front-end의 블록을 나타내었다. 이 블록을 모두 단일 칩상에서 구현할 경우 수신경로의 Rx에서 Rx-AGC1 증폭기, 연속시간 Gm-C 고역 및 저역 통과 필터, Rx-AGC2 증폭기, Σ - Δ ADC, 그리고 송신경로 Tx에서 Σ - Δ DAC, 연속시간 Gm-C 저역 필터, pre-driver와 line-driver가 구성되며 기타 전압공급회로와 튜닝 회로 등이 필요에 따라 설계될 수 있다.

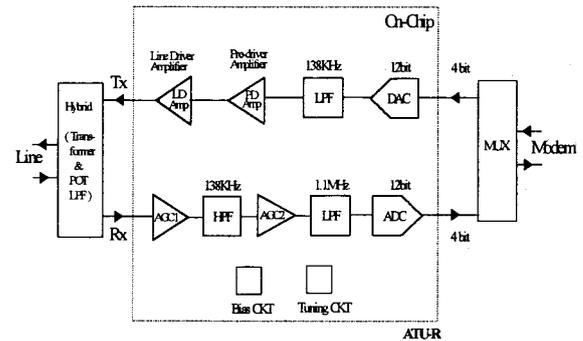


그림.1. ADSL 모뎀용 아날로그 Front-end단 회로

이 중에서 필터는 Rx에 HPF(High Pass Filter)와 LPF(Low Pass Filter)가 중속 연결로 구성되며, Tx에는 저역 필터가 구성된다. 이 필터들은 송수신 채널의 주파수 대역 선택하여 처리하는 역할을 하는데 Rx 경로에서 138kHz-1.104MHz의 신호 주파수를 그리고 Tx경로에서 34.5kHz-138kHz 대역의 신호 주파수를 선택하는 역할을 수행한다. 또한 Dynamic range 개선을 위한 echo를 감소하며 DMT sidelobe와 out of band 제거하고 Rx 필터의 경우 후단부의 ADC를 위한 anti-aliasing 역할을 수행하며, Tx 필터의 경우 DAC 출력의 image spectrum제거를 위한 smoothing 역할을 수행하게 된다.

2.2 필터 설계에 이용된 입력 선형성을 개선시킨 Gm-C 적분기 설계

연속시간에서 신호를 처리하는 필터를 구성하는 가장 일반적인 방법은 트랜스컨덕턴스 (Gm) 증폭기와 커패시터를 사용하여 Gm-C 적분기를 구성하고 이를 이용하여 연속시간 필터를 설계하는 것이다. Gm-C 적분기를 구성하는 트랜스컨덕턴스 증폭기는 입력 전압에 선형적으로 비례하는 출력 전류를 발생시키는 증폭기로서 이때 이득이 증폭기의 트랜스컨덕턴스 값이다. Gm 회로는 넓은 입력 신호 범위 내에서 선형적인 입력 대 출력 특성을 가져야 하며 전기적으로 Gm 값을 조절할 수 있는 것이 바람직하다. 또한 전압을 입력 신호로 갖기 때문에 입력 저항은 매우 커야 하며 출력 신호는 전류이기 때문에 출력 저항도 매우 커야 한다. 따라서 MOS 트랜지스터를 이용한 입력 회로가 유리하며 출력 저항을 증가시키기 위해서 캐스코드 회로등 여러가지 설계 기법을 사용하기도 한다. [3]

본 논문에서는 이러한 Gm-C 회로의 특성을 만족할 수 있도록 입력 선형범위를 하며 최대화하며 Gm 값이 조절 될 수 있으며 특히 2.5V의 저전압으로 동작할 수 있는 저전압 구조의 Gm-C 적분기를 설계하였다. 설계된 적분기를 그림 2에 나타내었다.

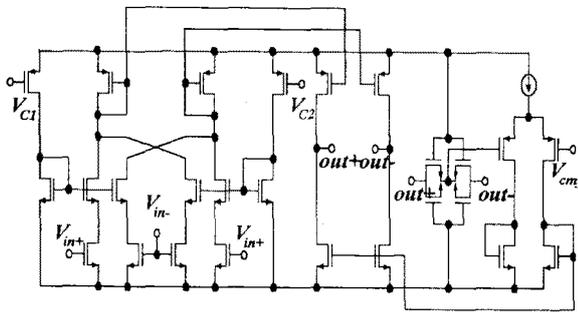


그림 2. 입력 선형성을 개선하여 설계한 2.5V Gm-C 적분기

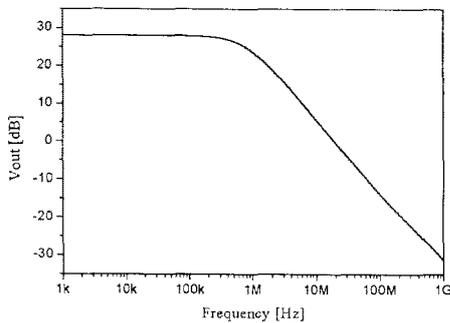


그림 3. Gm-C 적분기의 AC 특성

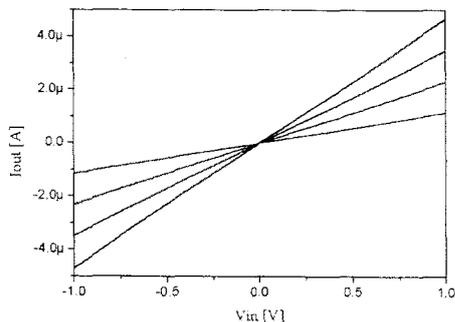


그림 4. Gm-C 적분기의 입력 선형범위 특성

그림 2에서 보는 바와 같이 설계된 Gm-C 적분기는 입력 선형 특성을 개선하기 위한 입력 회로를 적용하였으며, 온도 및 잡음에 의한 주파수 변동에 대처하기 위한 Gm값이 전압 Vc에 의하여 조절 될 수 있도록 하였고 2.5V의 저전압으로 동작함과 동시에 fully-differential 구조로써 입력단을 4-input으로 설계하고, 기준 전압 안정을 위해 common-mode feedback 회로를 적용하여 설계하였다. 그림 3과 4에 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

2.3 연속시간 Gm-C 송신(Tx)단 필터의 설계

T1.413-2 규격에 따라 ADSL 모뎀용 아날로그 Front-end 단에 사용되는 수신(Rx)단과 송신(Tx)단의 연속시간 Gm-C 고역 및 저역 통과 필터를 설계하였다. 먼저 Tx단의 아날로그 필터는 차단 주파수, 138kHz의 저역 통과 필터가 필요한데 이를 구현하기 위하여 3차 Elliptic 함수를 이용하여 설계하였다. Tx 저역 통과 설계 명세 조건은 그림 5 및 표 1과 같다.

표 1. Tx 저역통과 필터의 설계명세조건

Input referred noise	100nVHz ^{-1/2}
Max input level	1 Vpd
Max output level	1 Vpd
Cutoff Freq.	138kHz
Type	3rd-Elliptic
Freq. tuning	-43.75% -- 0%
Max in-band ripple	1 dB
Group delay	< 50us @ 34.5 < f < 138kHz
Group delay distortion	< 15us @ 34.5 < f < 138kHz

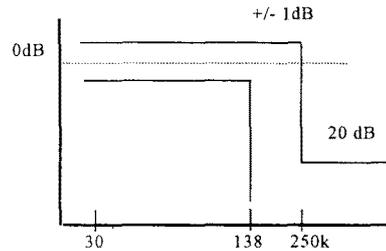


그림 5. Tx 저역통과 필터의 설계명세조건

위의 설계 명세 조건에 따른 Tx 저역필터를 구성하기 위하여 먼저 감도특성에 강한 제자형 복종단 수동 필터를 설계하였고 SFG 실현법을 사용하여 능동필터로 변환하고 최종적으로 Gm-C 연속시간 능동필터로 설계하였다. 그림 6에 설계 명세 조건에 따라 설계된 제자형 복종단 수동 필터를 나타내었고 그림 7에 설계된 Gm-C 연속시간 능동필터를 나타내었다. 그리고 필터에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 9와 10에 나타내었다.

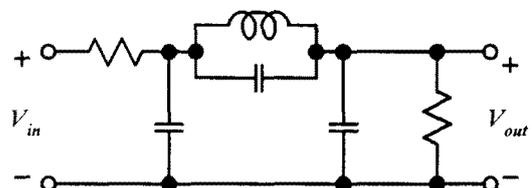


그림 7. 제자형 복종단 수동 필터

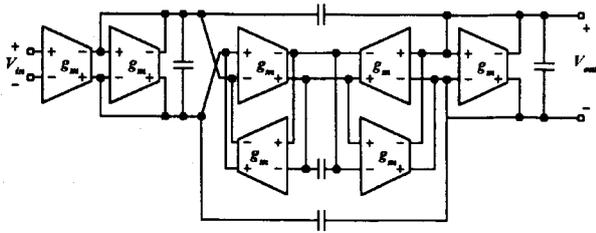


그림 8. Tx단용 3차 Gm-C 연속시간 저역 능동필터

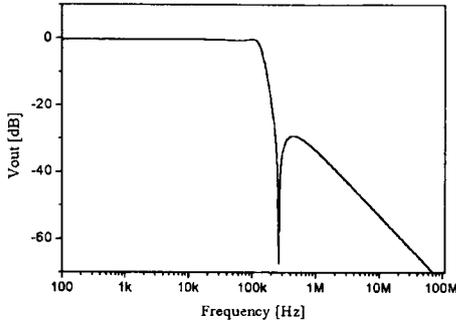


그림 9. Tx단 3차 필터의 AC 특성

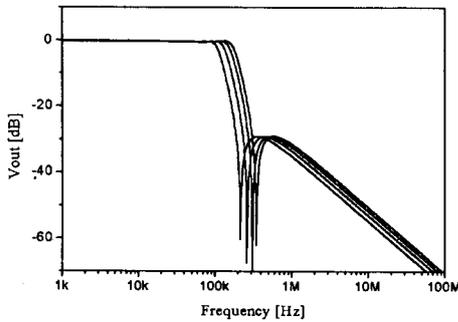


그림 10. Tx단 3차 필터의 주파수 튜닝특성

2.4 연속시간 Gm-C 수신(Rx)단 필터의 설계

Rx단의 아날로그 필터는 차단 주파수, 138kHz의 고역 통과 필터와 차단 주파수, 1.1MHz의 저역 통과 필터가 필요한데 고역 통과 필터는 3차 Butterworth 함수를 이용하여 그리고 저역 통과 필터도 역시 3차 Butterworth 함수를 이용하여 설계하였다. 먼저 Rx 저역 통과 설계 명세 조건은 그림 11 및 표 2와 같다.

표 2. Rx 저역통과 필터의 설계명세조건

Input referred noise	100nVHz ^{-1/2}
Max input level	1 Vpd
Max output level	1 Vpd
Cutoff Freq.	1.1MHz
Type	3rd-Butterworth
Freq. tuning	-43.75% -- 0%
Max in-band ripple	1 dB
Group delay	< 50us @ 138K < f < 1.104M
Group delay distortion	< 15us @ 138K < f < 1.104M

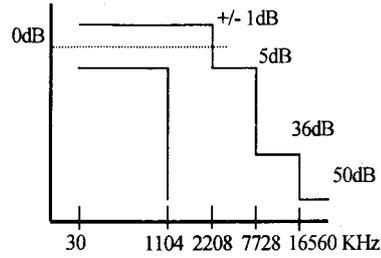


그림 11. Rx 저역 통과 필터의 설계명세조건

그림 12에 설계 명세 조건에 따라 설계된 제자형 복중단 수동 필터를 나타내었고 그림 13에 설계된 Rx단의 저역통과 Gm-C 연속시간 능동필터를 나타내었다. 그리고 필터에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 14와 15에 나타내었다.

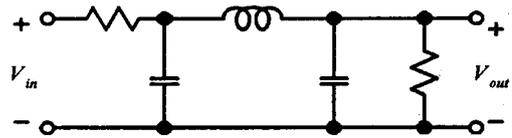


그림 12. 제자형 복중단 수동 필터

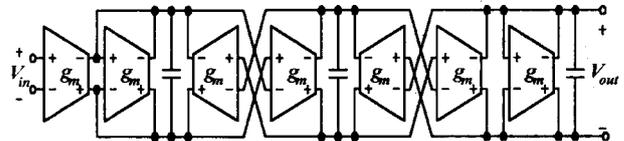


그림 13. Rx단용 3차 Gm-C 연속시간 저역 능동필터

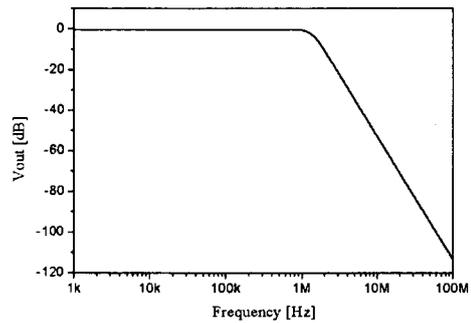


그림 14. Rx단 3차 저역필터의 AC 특성

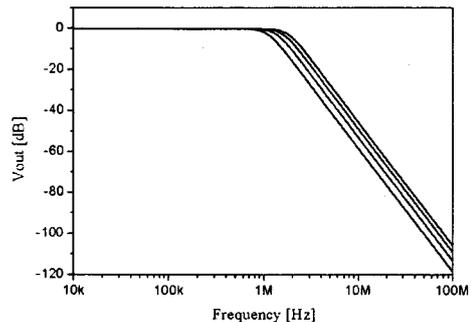


그림 15. Rx단 3차 저역필터의 주파수 튜닝특성

다음으로 Rx 고역 통과 설계 명세 조건은 그림 16 및 표 3과 같다.

표 2. Rx 고역통과 필터의 설계명세조건

Input referred noise	100nV/√Hz
Max input level	1 V _{pd}
Max output level	1 V _{pd}
Cutoff Freq.	138 kHz
Type	3rd-Butterworth
Freq. tuning	-43.75% -- 0%
Max in-band ripple	1 dB
Group delay	< 50us @ 138K < f < 1.104M
Group delay distortion	< 15us @ 138K < f < 1.104M

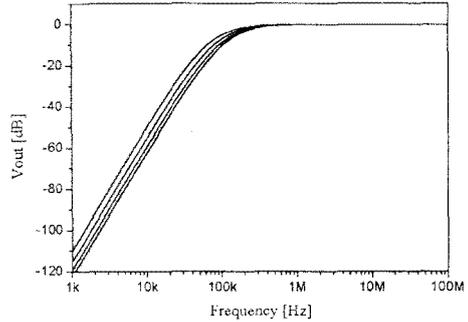


그림 15. Rx단 3차 고역필터의 주파수 튜닝특성

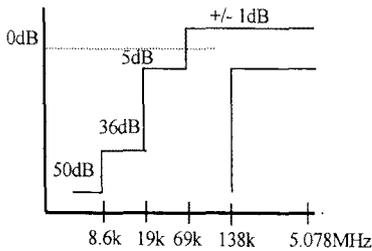


그림 16. Rx 고역통과 필터의 설계명세조건

그림 17에 설계 명세 조건에 따라 설계된 제자형 복중단 수동 필터를 나타내었고 그림 18에 설계된 Rx단의 고역통과 Gm-C 연속시간 능동필터를 나타내었다. 그리고 고역 필터에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 19와 20에 나타내었다.

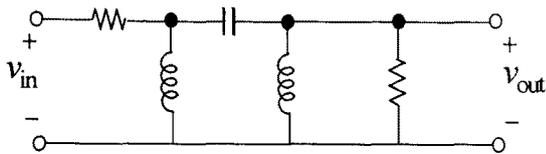


그림 17. 제자형 복중단 수동 필터

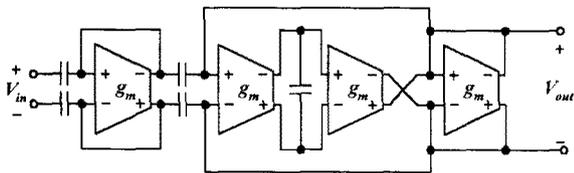


그림 18. Rx단용 3차 Gm-C 연속시간 고역 능동필터

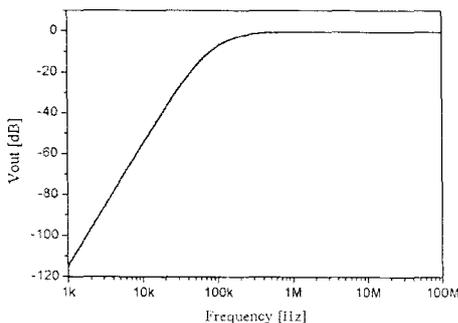


그림 19. Rx단 3차 고역필터의 AC 특성

3. 결 론

본 논문에서는 ADSL용 아날로그 Front-end단을 구성하는 각 블록을 ANSI의 표준화 규격 T1.413-2에 따라 설계 사양을 결정하고 송신 및 수신경로의 활용되고 있는 아날로그 필터를 연속시간 Gm-C 구조로써 설계하였다.

Tx의 아날로그 저역 통과 필터는 차단 주파수, 138 kHz의 3차 Elliptic 함수를 이용하였고, Rx에서는 138 kHz의 3차 Butterworth 고역 필터와 1.1MHz의 3차 Butterworth 저역 필터를 이용하여 설계하였다. 설계된 모든 필터는 주파수와 이득의 튜닝을 용이하게 하고 잡음 특성에 유리한 연속시간 Gm-C 실현 법을 이용하여 구현하였다. Gm-C 실현 법을 이용하기 위하여 선형 특성이 개선된 Gm-C적분기를 새롭게 설계하여 이용하였다. 설계 파라미터는 IDEC에서 제공한 아남의 0.25 μm CMOS 1-poly, 5-metal 공정 파라미터를 이용하였으며 특히 2.5V의 저 공급전압 집적회로로 제작하기 위하여 각 회로를 LV 구조에 맞도록 구성하면서 동시에 noise와 linearity등이 최적화된 회로를 설계하였다.

본 논문에서 설계된 필터들은 앞 단과 뒷 단의 모든 아날로그 회로와 함께 ADSL모뎀용 아날로그 Front-end 단 전체를 단일 칩으로 제작하기 위한 연구를 진행중이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Z. Y. Chang, and et all, "A CMOS Analog Front-End circuit for and FDM-Based ADSL System", IEEE J. of Solid-State Circuits, VOL-30, NO.12, pp.1449-1456, DEC. 1995.
- [2] M. Moyal, M. Groepl and T. Blon, "A 25-kft, 768-kb/s CMOS Analog Front End for Multiple-Bit-Rate DSL Transceiver", IEEE J. of Solid-State Circuits, VOL.34, NO.12, pp.1961-1972, DEC. 1999.
- [3] C. H. Lin and M. Ismail, "A 2V 5th-order Fully-Differential CMOS Gm-C Filter for Wide-band Communication", IEEE Proc. pp.II-136-139, 1999.