

가변 이득 및 차단주파수 특성을 갖는 CMOS Gm-C 5차 저역통과필터

방준호*, 송재호*, 소병문*, 유인호*, 이우춘*
전북대*

A CMOS Gm-C 5th-order Lowpass Filter with Variable Gain & Cutoff Frequency

Jun-Ho Bang*, Jae-Ho Song*, Byeong-Mun So*, In-Ho Ryu*, Woo-Choun Lee*
Chonbuk National University*

Abstract - 가변 이득 및 차단주파수 특성을 가지는 5차 CMOS Gm-C 필터를 설계하였다. 설계된 필터는 CMOS 차동 트랜스컨덕터들로 구성하였으며 트랜스컨덕터들은 각각 전압 조정에 의하여 트랜스컨덕턴스 값이 변환되도록 설계하였다. 가변 차단주파수 특성은 외부잡음으로 발생할 수 있는 필터 차단주파수의 변형을 보상할 수 있고 한 개의 필터로써 다중대역 수신단에 적용할 수 있도록 하고자 하였다. HSPICE 시뮬레이션 결과, 1.5MHz~3.5MHz의 차단주파수의 조정이 가능하였고 이득은 -2.8dB~2.6dB으로의 조정이 가능하였다.

중대역으로의 활용을 고려하여 설계사양을 설정하였다. 이때 주파수 대역의 조정 특성은 필터를 구성하는 트랜스컨덕터 설계에서 고려하였다.

<표 1> 5차 저역통과 필터 설계 사양

설계 파라미터	설계방법 및 목표 값
필터합수	5차 Elliptics
수동회로망	제자형 복중단 LC 회로망
차단주파수	2.5MHz (Tuning가능)
통과대역 Ripple	1dB
통과대역 감쇄도	6dB(복중단특성)
저지대역 감쇄도	3.75MHz에서 40dB이상
전원공급전압	3.3V
소비전력	15mW이하

1. 서 론

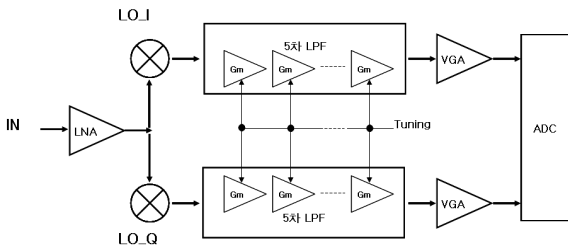
다중모드, 다중대역 통신용 시스템을 구현하기 위한 직접변환 수신기에 사용되는 저역통과 필터는 넓은 주파수 동작범위를 갖도록 하여야 한다. 이러한 경향에 따라 가능한 적은 칩 면적 안에서 넓은 주파수 대역을 갖으며 주파수 조정 특성을 갖는 필터에 대한 연구가 진행되고 있다.[1]-[7]

본 논문에서는 위와 같은 연구 경향에 따라 다중모드 및 다중대역 직접변환방식 수신단에 적용하기 위한 테스트 칩의 제작을 목적으로 이득 및 차단주파수의 조정 특성을 갖는 연속시간 5차 일립틱 Gm-C 저역통과 필터를 설계하였다. 필터 설계의 기본블록인 트랜스컨덕터(Gm)는 1단 캐스코드 증폭기 구조를 활용하여 완전 차동구조로 입출력단 회로로 구성하고 CMFB 회로를 추가하여 잡음에 대응하고 입출력 동작전압이 안정화 되도록 하였다. 또한 트랜스컨덕터의 트랜스컨덕턴스 값이 외부 전압으로 조정되고 이를 통하여 필터의 주파수 대역이 가변될 수 있도록 구성하였다. 설계된 회로들은 CMOS 3.3V 0.35 μ m설계 파라미터를 활용하여 HSPICE로써 그 특성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1. 직접변환 수신단용 저역통과필터 설계

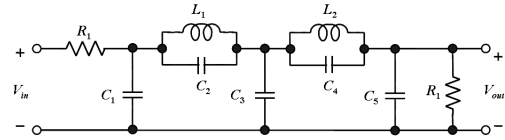
본 논문에서는 설계할 필터의 블록을 포함하는 직접변환 수신단의 구조를 그림 1에 나타내었다. 5차 필터를 구성하는 내부의 트랜스컨덕터(Gm)의 트랜스컨덕턴스 값을 조정할 수 있도록 함으로써 필터의 이득 및 차단주파수를 변화시킬 수 있도록 하는 구조이다. 이러한 구조는 수신단의 크기를 줄이면서 일정한 범위 내에서 필터의 차단특성을 임의로 조절할 수 있도록 함으로써 다중대역 직접변환기용으로 사용될 수 있도록 한다.



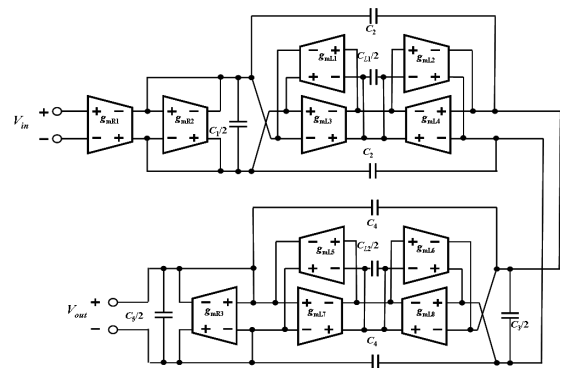
<그림 1> 필터블록을 갖는 직접변환 수신단

필터 설계사양은 표 1과 같다. 필터의 응용시스템은 WCDMA로 결정하고 이에 따라 기본 차단주파수는 2.5MHz로 설정하였고 저지대역에서의 감쇄도는 3.75MHz에서 40dB이상으로 설정하였다. 앞서 언급한 것처럼 공정과정에서 나타나는 주파수 변형을 보상할 수 있고 주파수 크기의 조정이 가능하도록 함으로써 다

표 1의 설계 사양에 맞는 필터를 설계하기 위한 첫 단계로써 낮은 감도 특성을 유지할 수 있는 장점을 가지고 있는 제자형 복중단 LC회로를 기본 수동회로로 설계하였다. 또한 수동필터를 능동필터로 변환하기 위한 변환법으로는 설계가 비교적 간단하면서도 정확한 능동필터의 특성 값을 얻어내기 유리한 자이레이터 직접변환법을 이용하였다.



<그림 2> 5차 수동 복중단 제자형 타원 필터



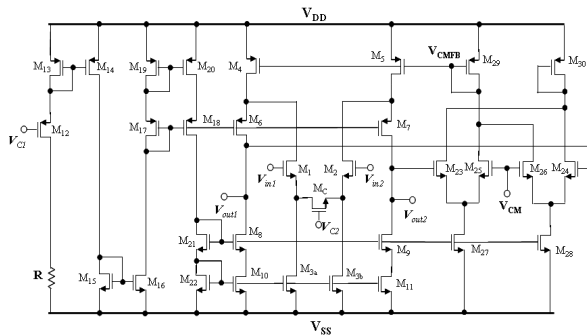
<그림 3> 설계된 5차 Gm-C 능동 타원 필터

그림 2은 5차 수동 복중단 제자형 타원 필터이고, 그림 3은 자이레이터 직접변환법에 의하여 수동-능동 변환된 필터회로를 또 다시 차동구조로 구성하여 완성한 것이다.

2.2. 저역통과필터 구성을 위한 트랜스컨덕터 설계

그림 3의 5차 Gm-C 능동 타원 필터를 구성하는 내부 트랜스컨덕터의 설계 사양으로 단위이득 대역폭은 15MHz, 위상마진은 60도 이상으로 설정하였고 슬루율은 5V/ μ s 그리고 출력 저항과 부하 캐패시터는 각각 10M Ω 과 10pF으로 설정하였다. 이와 같은 설계 사양을 만족하기 위한 트랜스컨덕터의 구조는 1단 이득

단을 갖는 폴디드 캐스코드 구조가 적합하기 때문에 본 논문에서는 기존에 연산증폭기의 설계에 많이 활용되고 있는 1단 이득단을 갖는 폴디드 캐스코드 구조를 트랜스컨덕터로써 활용될 수 있도록 설계하였다. 설계된 5차 Gm-C 능동 타원 필터용 트랜스컨덕터를 그림 4에 나타내었다.

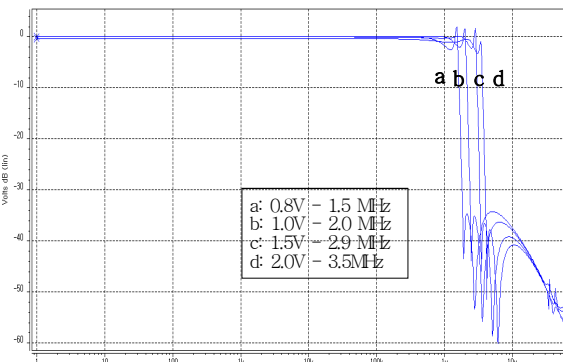


〈그림 4〉 설계된 트랜스컨덕터

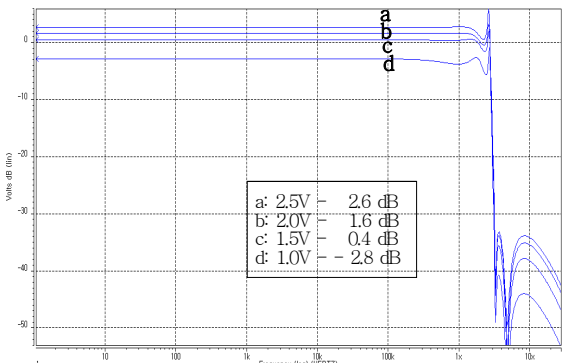
M1~M11는 트랜스컨덕터의 트랜스컨덕턴스(gm) 및 출력저항(Ro)을 얻게 하여주는 차동 입력단 및 폴디드 캐스코드 구조의 출력단을 이루고 있으며 M12~M22는 이득단 및 출력단에 바이어스 전압을 공급하여 주는 바이어스단이다. 또한 M23~M30까지는 공통모드 케환회로를 구성하는데 이는 차동전압의 DC공통모드 전압을 일정하게 유지하여 주는 역할을 한다. 그리고 외부전압의 조절을 통하여 트랜스컨덕턴스 값을 일정한 범위 내에서 원하는 값으로 변환할 수 있도록 설계함으로써 필터 차단주파수의 변형에 대처할 수 있도록 하기 위하여 트랜스컨덕터의 외부 조절전압인 Vc1을 활용하여 트랜스컨덕턴스 값을 조절할 수 있도록 하였다.

2.3. 설계된 5차 Gm-C 필터의 시뮬레이션 및 고찰

설계된 그림 4의 트랜스컨덕터를 그림 3의 5차 Gm-C 능동 타원 필터의 블록에 대입하여 최종적으로 필터를 완성하고, 주파수 및 시간응답 해석을 수행하였으며 그 결과를 그림 5에 나타내었다.



(a)



(b)

〈그림 5〉 설계된 5차 저역필터 특성 (a)주파수 (b)이득

그림 5(a)에서 보는 바와 같이 필터의 통과대역에는 복중단 필터 회로의 특성 때문에 나타나는 6dB의 이득 감쇠는 그림 3의 필터 회로 블록 중 gmR_{1,2}값의 조절에 의하여 0dB까지 보상하였다. 5차 타원필터의 특성에 맞는 감쇠진동과장을 얻을 수 있었으며 차단주파수는 2.5MHz로써 설계 전 설정하였던 표 1의 설계사양에 만족하는 특성을 얻을 수 있었다.

그림 5(a)의 결과에서 제어전압의 변화를 통하여 필터의 차단주파수가 각각 1.5MHz, 2MHz, 2.9MHz, 3.5MHz으로 얻어질 수 있음을 확인할 수 있으며, 그림 6(b)로 부터는 필터의 차단주파수는 약 2.5MHz에서 고정된 상태에서 필터의 이득이 각각 2.6dB, 1.6dB, 0.4dB, -2.8dB 값으로 변화될 수 있음을 확인할 수 있다. 설계된 5차 Gm-C 능동필터의 특성결과를 표 2에 나타내었다.

〈표 2〉 설계된 5차 Gm-C 능동필터의 특성 결과

설계 파라미터	목표 값	결과 값
차단주파수	2.5MHz	1.5MHz~3.5MHz (주파수 조정가능)
통과대역 감쇄도	-6dB(복중단특성)	-2.8dB ~ 2.6dB (이득 조정가능)
저지대역 감쇄도	3.75MHz에서 40dB	3.75MHz에서 37dB
전원공급전압	3.3V	3.3V
소비전력	15mW이하	14.5mW

3. 결 론

본 논문에서는 직접변환방식 수신단의 다중대역화 추세에 맞도록 이득 및 차단주파수가 일정한 범위내에서 조절이 될 수 있는 필터를 설계하였다. 필터설계 시, 필터를 구성하기 위한 트랜스컨덕터를 설계함에 있어서 제어전압으로 트랜스컨덕턴스 값의 변화가 가능하도록 설계하였는데 HSPICE 시뮬레이션 결과, 1.5MHz~3.5MHz의 차단주파수의 조절이 가능하였고 이득은 -2.8dB~2.6dB이었던 조절이 가능하였다. 이러한 특성은 응용시스템으로 설정하였던 WCDMA용으로 뿐만아니라 해당 주파수 범위내에서 다른 수신단에도 동시에 활용할 수 있는 다중모드 다중대역용으로 사용할 수 있는 가능성을 확인해주었다.

[참 고 문 헌]

[1] S. Pavan, Y. P. Tsvividis, and K. Nagaraj, "Widely Programmable High-Frequency Continuous-Time Filters in Digital CMOS Technology", IEEE JSSC, vol. 35, no. 4, pp. 503-511, Apr. 2000.

[2] F. Behbahani, W. Tan, A. Karimi-Sanjaani, A. Roithmeier, and A. A. Abidi, "A Broad-Band Tunable CMOS Channel-Select Filter for a Low-IF Wireless Receiver", IEEE JSSC, vol. 35, no. 4, pp. 476-489, Apr. 2000.

[3] G. Bollati, S. Marchese, M. Demicheli, and R. Castello, "An Eighth-Order CMOS Low-Pass Filter with 30-120 MHz Tuning Range and Programmable Boost", IEEE JSSC, vol. 36, no.7, pp. 1056-1066, July 2001.

[4] J. A. De Lima and C. Dualibe, "A Linearly Tunable Low-Voltage CMOS Transconductor With Improved Common-Mode Stability and Its Application to gm-C Filters", IEEE JSSC, vol. 48, no.7, pp. 649-660, July 2001.

[5] U. Yodprasit and C. C. Enz, "A 1.5 V 75dB-Dynamic Range 3rd-order Gm-C Filter Integrated in a 0.18µm Standard Digital CMOS Process", Proc. ESSCIRC 2002, pp. 647-650, 2002.

[6] Hussain A. Alzaher, et al " A CMOS Linear Channel-Select Filter for 3G Multistandard Integrated Wireless Receivers" IEEE JSSC, vol. 37, no. 1, Jan. 2002

[7] B. Pankiewicz, M. Wojcikowski, S. Szczepanski, and Y. Sun, "A Field Programmable Analog Array for CMOS Continuous-Time OTA-C Filter Applications", IEEE JSSC, vol. 37, no. 2, pp. 125-136, Feb. 2002.