

평형 차동 Switched-capacitor 대역 통과 필터의 특성 해석

이교성<sup>o</sup>, 김광수, 김양모  
 충남대학교 전기공학과

Characteristic Analysis of balanced differential Switched-capacitor bandpass Filter

Kyo-Sung Lee<sup>o</sup>, Kwang-Soo Kim, and Yang-Mo Kim  
 Dept. of Electrical Engineering, Chungnam National Univ.

**Abstract** - Balanced differential SCF with common-mode reject fully differential SC network is introduced. Through simulation, performance of balanced differential bandpass SCF and its potentiality of practical application is proposed.

1. 서 론

SCF(Switched-capacitor filter)는 증전의 능동 RC 필터(Active RC filter)의 저항을 커패시터와 스위치로 대체한 필터이다. 초기 SC 필터는 음성 대역 정도의 비교적 저주파 대역에서 동작하도록 고안되었으나 반도체 공정의 향상과 설계 기술의 발달에 힘입어 최근 들어서는 고주파 대역에서 동작하는 필터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이미 그 기술이 실용화되어 의학분야, 휴대용 이동통신분야 뿐만 아니라 RF(Radio-Frequency) Transponder 등 그 응용 영역이 점차 확대되고 있다. 또한 SCF는 단일 칩으로도 많이 사용되고 있으나 모뎀(Modem)과 같은 아날로그 시스템<sup>[1]</sup>내에서 전체 시스템의 성능을 결정하는 중요한 역할을 담당하고 있다.

집적 기술의 발달로 소형 휴대용 기기의 수요는 증가하고 있으며 이와 더불어 저전압에서 동작하는 회로에 대한 연구가 지속되고 있다.

본 논문에서는 평형 차동 대역 통과 SCF( Balanced differential Bandpass Switched-capacitor Filter)를 구성하고 시뮬레이션을 통하여 그 특성을 파악하였다.

2. SC 회로의 특성

기존의 Active RC 필터는 집적회로화 하기 위해서 공정상 부피가 상대적으로 큰 저항소자로 인하여 안정된 시정수(time constant)를 얻을 수 없다. 또한 Active RC 필터는 중심 주파수에 비례하여 전력 소비가 증가하며, 기생 요소 때문에 높은 중심 주파수에서 high Q-pole을 실현하는 것이 어렵다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 대안으로 요즘 대두되고 있는 것이 SC 필터

이다. SC 필터는 저항을 커패시터와 스위치로 대체함으로써 IC화 하기가 용이하며, 전력소비가 적고 기생 요소에 둔감하다. 또한 샘플링 방식을 사용하므로 tuning이 용이하며 대량 생산이 가능하고 그로 인해 생산 비용이 적게 드는 장점이 있다.

SCF가 저주파대에서 독점적으로 사용되고 있는 이유는 RC 필터나 디지털 필터와 비교하여 다음과 같다. 종전의 RC 필터는 현재의 기술 공정상에서 정확한 저항값을 얻기 힘들며, 따라서 안정된 시정수(time constant)를 결정하기가 어렵다. 반면 SCF에서는 시정수가 커패시터의 비로 결정되므로 공정상 변동에 의한 영향에 둔감한 장점<sup>[2],[3]</sup>을 가진다. 또한 샘플링 방식을 사용하므로 디지털 필터와 유사하게 post-tuning을 할 수 있다는 장점도 있다. 게다가 SCF는 디지털 필터에 비해 소형으로 집적화가 가능하며 전력소비가 적다<sup>[4]</sup>. 특히 회로 설계자의 노력여하에 따라 동일한 차수에서 디지털 필터보다 정확도, 안정도가 우수한 필터를 설계할 수 있다.

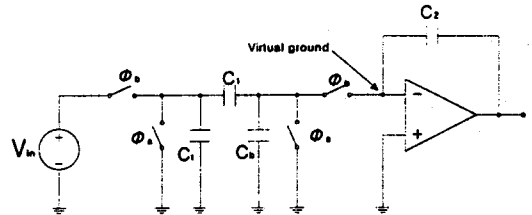


그림 1. Stray-insensitive SC Circuit

그림 1은 SC 회로가 기생 요소의 영향을 받지 않는다는 것을 보여준다. C1과 C2는 각각 C1의 상부와 하부에 존재하는 기생 요소이다. C1은 phi\_1가 on 되었을 때 입력 전압 V1으로 충전되고 phi\_2가 on 되었을 때 접지로 방전된다. 한편 C2는 phi\_2와 phi\_3와 관계없이 항상 접지와 연결(접지 또는 가상 접지)된다. 따라서 SC 회로는 기생요소가 회로의 동작에 영향을 미치지 않는다.

일반적으로 SCF는 저주파 대역에서 우수한 성능을 나타내지만 입력 신호 주파수가 높아질수록 일정한 입력 신호를 유지할 수 없으므로 샘플 홀드 회로<sup>[5]</sup>를 입력단에 부가하여 필터의 특성을 개선할 수 있다.

집적 기술의 발달과 더불어 회로의 저전력화가 이루어지고 있다. 그러나 극도로 낮은 공급 전압에서 CMOS

SC 회로가 정상적으로 동작하기는 어렵다. 낮은 공급 전압에서 동작하는 경우, MOS의 문턱 전압이 CMOS 연산 증폭기의 구동을 방해하고 MOS의 구동 저항이 매우 크기 때문이다. 따라서 적당한 구동 전압을 얻기 위해서는 전압 체배기(Voltage Multiplier)를 이용하여 적당한 클럭 전압을 공급해 주어야 한다.

### 3. 아날로그 스위치

일반적인 MOS 스위치의 경우 NMOS와 PMOS는 각각 입력을 전달하는 특성이 다르다. 입력을 로직(logic) 1, 로직 0으로 고려하는 경우, 우선 NMOS는 로직 0에 대해서는 좋은 전달 특성을 가지나 로직 1에 대해서는 입력이 문턱전압만큼 감소하고 전달되므로 좋은 특성을 지니지 못한다. 반면 PMOS의 경우 로직 1에 대한 전달 특성은 좋으나 로직 0에 대한 전달 특성은 좋지 않다.

Device	'1'의 전달	'0'의 전달
NMOS	poor	good
PMOS	good	poor

표 1 MOS의 입력 전달 특성

따라서 이러한 단점을 보완한 것이 상보형 스위치(Complementary Switch) 혹은 상보형 전송 게이트(Transmission Gate)이다.

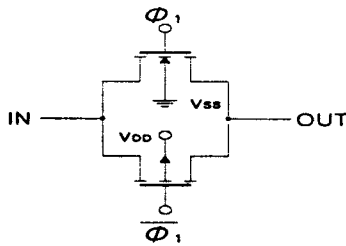


그림 2. 상보형 스위치

상보형 스위치는 입력의 전달 특성이 좋으나 스위칭이 동시에 이루어지지 않으면 기생요소가 동작하는 소자에 영향을 미치는 단점이 있다. 따라서 정확한 스위칭이 필요하다.

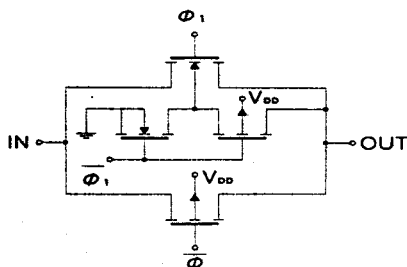


그림 3. Switched tube

상보형 스위치를 보완한 형태로 NMOS의 몸체를 스위칭하고자 하는 신호의 전위와 같은 곳에 연결하여 문턱 전압을 낮게하고 낮은 on 저항을 가지는 Switched tube<sup>(6)</sup>를 그림 3에 나타내었다. 그러나 Switched tube는 소자수가 증가하여 집적화하는 경우 공간을 많이 차지하고 기생 요소의 영향을 받으며 잡음의 영향을 받는다는 단점이 있다.

### 4. 평형 차동 대역 통과 SC 필터

#### 4.1 해석모델

완전 차동 연산 증폭기에서 연산 증폭기가 적당한 범위 내에서의 동작을 확실히 하고 정확한 입출력의 공통-모드(Common-mode) 전압을 얻기 위해서 공통-모드 폐환 회로(Common-Mode Feedback Circuit)가 필요하다. 이에 대한 대책으로 본 논문에서는 평형 차동 구조의 SCF를 제안하였다.

그림 4는 제안된 평형 차동 SC 대역 통과 필터를 나타낸다. 회로는 동일한 구조를 가지는 두 개의 single-ended 대역 통과 필터로 구성된다. 공통 모드 폐환이 존재하지 않으므로 입출력 공통 모드 전압은 적절한 동작 범위에서 연산 증폭기가 동작하도록 정의될 수 있다. 안정된 동작을 위해서 부폐환 SC 적분기 루프를 구성하였다. 전체 SCF의 응답은 초기 조건에 의한 과도 응답과 입력 신호에 의한 정상 상태 응답의 합으로 얻을 수 있다.

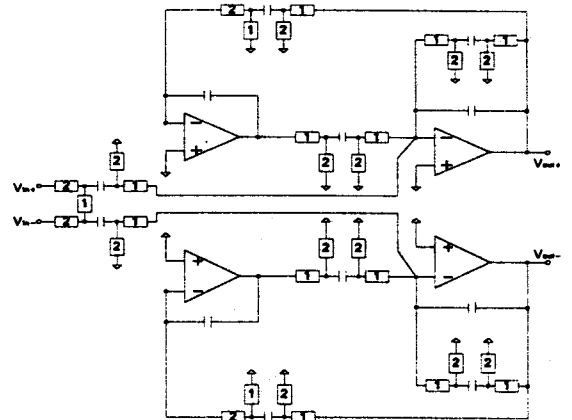


그림 4. 평형 차동 대역 통과 SCF

#### 4.2 Common-mode reject fully differential SC network

입력 신호에 의한 공통 모드 성분을 억제하기 위해서 그림 5와 같이 공통 모드 억제 차동 SC 회로를 입력단에 구성하였다. 이 구성은 원래 클럭에 의한 오류를 줄이기 위해서 사용되었으나<sup>(7)</sup> 본 논문에서는 입력 공통

공통 모드 성분을 제거하기 위해서 사용되었다. 스위치 2가 on되는 경우, 입력 신호는  $C_1$ 과  $C_1'$ 에 샘플링되고, 스위치 1이 on되는 경우 출력측 노드는 접지와 연결된 것처럼 작용(가상 접지)한다.  $S_1$ 과  $S_2$ 가 스위칭하는 동안  $C_1$ 과  $C_1'$ 에서의 전하의 변화는 각각

$$C_1(V_{in+} - V_{in-})/2, -C_1(V_{in+} - V_{in-})/2$$

이고, 입력 공통 모드 성분과 기생 커패시터  $C_{p1}$ ,  $C_{p2}$ 의 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 따라서 입력단에 이 회로를 사용하는 경우 입력 신호의 공통 모드 성분으로 인한 신호의 감쇄를 방지할 수 있다.

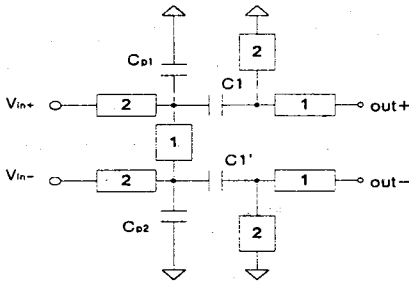


그림 5. 공통 모드 제거 SC 구성

## 5. 시뮬레이션 결과

그림 6은 제안한 필터의 주파수 응답이다. 중심 주파수는 8kHz이며, 400kHz의 클럭 주파수로 스위치를 on-off하며 입력 신호를 취하였다. 시뮬레이션을 통하여 분석한 필터의 소비 전력은 330  $\mu$ W였다.

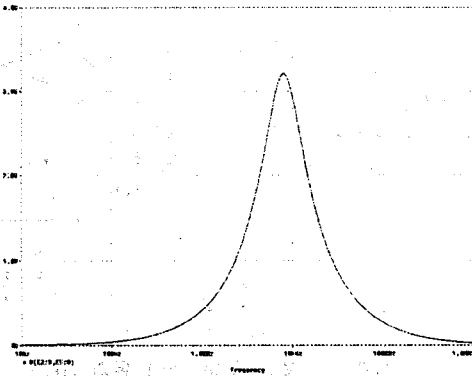


그림 6. 필터의 주파수 응답

## 6. 결론

평형 차동 SC 대역 통과 필터의 특성을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 중심 주파수는 8kHz이고 클럭 주

파수는 400kHz이다.

최근 CMOS 및 BiCMOS를 이용하여 의료 장비<sup>[8]</sup>, 통신 장비 및 RF Transponder 등 고주파 대역에서 사용되는 SCF에 대한 연구가 활발히 진행중이다<sup>[9]</sup>. 고주파 대역에서 사용할 경우 커패시터의 고 집적화가 필요하다. 미래의 휴대용 무선 수신기는 집적화와 전력 소비에 있어서 최상의 레벨을 요구할 것이다. 그러나 필터의 경우 이러한 추세를 잘 따르지 못해 왔으나 SCF는 이러한 가능성을 보여주었으며 그 응용 영역을 넓혀가고 있다. 본 논문에서는 SCF를 구성하고 그 특성을 파악함으로써 이러한 가능성을 확인하였다.

본 연구는 MICROS(KOSEF)의 지원하에 수행되었음

## [참고 문헌]

- [1] Paul J.Hurst, Thomas J.Glad, J.Jeff. Illgner, and George F.Landsburg, "An Analog Front-end for V.22bis Modems", IEEE JSSC, vol.23, No.4, pp978~986, Aug. 1998
- [2] Roubik Fregorian and Gaber C.Temes, "Analog MOS Integrated Circuits for Signal Processing", Wiley-Interscience, pp.265~296, 1988
- [3] P.E.Allen and E.Sanchez-Sinencio, "Switched Capacitor Circuits", Van Nostrand Reinhold Company
- [4] Cecil W.Solomon, "Switched-capacitor filter: precise, compact, inexpensive", IEEE Spectrum, pp.28~32, Jun. 1980
- [5] M.S.Ghausi and K.R.Laker, "A Family of Active Switched Capacitor Biquad Building Blocks", Bell System Technical journal, vol.58, pp.2235~2269, Dec. 1979.
- [6] Rebeschini, Michael E., Hanover Park, IL "Switched capacitor filter for low voltage applications" US Patent, no 4716319, Dec.29, 1987
- [7] R.C Yen and P.R Gray, "A MOS Switched-Capacitor Instrumentation Amplifier", IEEE JSSC, vol.17, no.17, pp.1008~1013, Dec. 1982
- [8] Q.Huang, M.Oberle, "A 0.5mW Passive Telemetry IC for Biomedical Applications", ESSCIRC'97 Sept. 1997
- [9] A.Baschiroto, A.Nagiri, F.Montecchi R.Castello, "Design consideration for a 10.7MHz BiCMOS high-Q double-sampled SC bandpass filter", IEEE ISCAS'96 vol.1, 1996