

## SCF 시스템의 AAF와 SMF 집적화 설계

正會員 趙 成 翊\* 正會員 辛 烘 圭\*\* 正會員 金 東 龍\*

### The Design for AAF and SMF Integrated Circuits of SCF System

Seong Ik Cho\*, Hong Kyu Shin\*\*, Dong Yong Kim\* *Regular Members*

#### 要 約

본 논문에서는 SCF의 입력신호를 제한하여 혼성왜곡을 방지하고, 출력 신호파형을 평활처리 할 수 있도록 연속시간 능동 RC 필터로 구성된 AAF와 SMF의 설계방법을 제시하였다.

그 후 연속시간 능동 RC 필터로 설계된 AAF와 SMF를 ORBIT 2  $\mu$ m CMOS n-well 공정으로 집적화하여 실험특성을 SPICE 결과와 비교 검토하였다.

#### ABSTRACT

In this paper, we have proposed the AAF and the SMF design method that consist of continuous time active RC filter to prevent aliasing distortion by the limitation of SCF input signal, and to smooth the output signal wave of it. The designed AAF and SMF using continuous active RC filter are fabricated by ORBIT 2- $\mu$ m CMOS n-well process. And then the experiment characteristics of the integrated AAF and SMF are compared with SPICE simulation results.

#### I. 서 론

신호처리는 PCM(pulse code modulation)통신, 인공위성통신, 디지털(digital) 영상처리등에 있어서 필수적인 분야이고, 이러한 시스템의 송수신단의 신호를 선별 또는 복원처리하기 위해선 필터(filter)의

사용이 불가피하게 되었다. 이러한 신호처리 시스템에 이용되는 필터를 필터 함수로부터 설계할때 능동 RC 필터는 수동 RLC 필터에 비하여 인덕터 L이 없으므로 집적화하면 크기와 무게를 감소시킬 수 있으나, 저항 R은 칩 면적을 많이 차지 할 뿐만 아니라 온도 상승에 의한 소자값의 변화로 RC 적(product)을 정확히 유지시키기 어렵다.<sup>[1,2]</sup>

집적화 기술과 MOS 공정기술의 발달로 SC(Switched Capacitor) 회로가 제시되어 집적화에 불리한 능동필터 대신 스위치, 커패시터 그리고 OP AMP로 구성된 SCF(Switched Capacitor Filter)는 모놀리

\* 全北大學校 電氣工學科  
Dept. of Electrical Engineering, Chonbuk. Nat'l Univ.  
\*\* 圓光大學校 電子工學科  
Dept. of Electronics Engineering, Won-Kwang Univ.  
論文番號 : 9394  
接受日字 : 1993年 6月 8日

식(Monolithic)으로 고밀도 집적(IC)화 할 수 있어 크기, 가격에서 잇점이 있을 뿐만 아니라, 외부의 영향을 보상하기 위한 tuning, trimming 회로가 요구되어지지않아 음성신호처리 시스템의 필터링에 널리 이용되어지고 있다.<sup>[3,4]</sup>

그러나 SCF는 샘플링(sampling)이나 S/H(sample and hold) 동작을 하므로 입력신호의 스펙트럼(spectrum)이 되풀이 되어 나이퀴스트(Nyquist) 조건을 만족시키지 못한다면 혼성왜곡(aliasing distortion)을 일으키기 때문에 입력신호가 SCF에 의하여 주파수가 선별되기 전에 입력신호를 제한할 수 있는 AAF(Anti Aliasing Filter)가 필요하고, SCF 출력신호는 계단파형이므로 이의 평활화를 위해선 SMF(Smoothing Filter)가 필수적이다.<sup>[5,6]</sup>

이러한 AAF와 SMF를 필요로 하는 SCF는 스위치의 클럭주파수에 의한 샘플링에 의하여 음성신호를 선별하기 때문에 AAF와 SMF의 실현을 위해선 소자값 변화에 따른 저감도 특성을 갖는 연속시간 능동 RC Sallen-Key 저역통과 필터로 설계되어야 한다.<sup>[7,8]</sup>

그러므로 본 논문에서는 AAF와 SMF를 연속시간 능동 RC 필터로 실현하기 위한 설계명세조건을 설정한 후 CMOS OP AMP를 설계하여 AAF와 SMF를 실현하고, 이를 ORBIT 2- $\mu$ m CMOS n-well 공정으로 집적회로화하여 그 특성을 비교·검토하였다.

## II. SCF 시스템의 AAF와 SMF 실현을 위한 능동 RC필터 회로

입력신호가 SCF에 의하여 주파수 선별되기 전에 나이퀴스트 조건을 만족시켜 혼성왜곡을 방지하고, 출력신호를 평활하게 처리하기 위한 SCF 시스템의 구성도는 그림1과 같다.



그림 1. SCF 시스템 구성도  
Fig. 1. Block diagram of SCF system

그림1의 구성을 보인 SCF, AAF 그리고 SMF의 주파수 응답은 그림2와 같으며, S/H 응답(sin x/x)을 무시하였다.

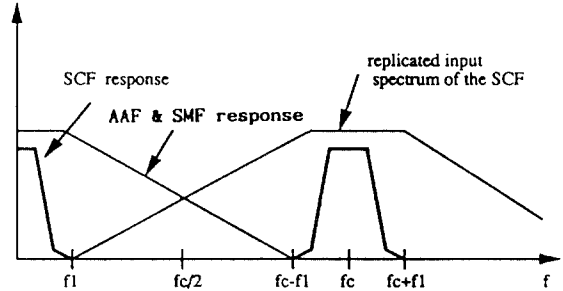


그림 2. SCF, AAF, SMF의 주파수 응답  
Fig. 2. Frequency responses of SCF, AAF and SMF

그림2의  $f_1$ 은 SCF의 저지대역(stop-band) 제한 주파수이므로 SCF의 입력 스펙트럼은  $f_c/2 < f < f_c - f_1$  범위에서 에너지를 함유하고 있고, 그것은  $f_1 < f < f_c/2$  범위와 겹쳐진다. 그러나  $f_1 < f < f_c/2$  주파수 범위는 SCF의 저지대역 범위에 존재하므로, SCF 응답범위 넘어있는 AAF 응답은 SCF에 의하여 억제되어 전체 시스템의 출력에는 나타나지 않으므로 SCF의 응답은 SMF에 의하여 평활처리 된다.

음성 신호처리 SCF 시스템에서 SCF는 시정수와 OP AMP의 비이상성에 의해 제한된 클럭주파수와 커패시터 비로 저항 R을 모의하므로 AAF는 SCF 클럭주파수에 의한 혼성왜곡을 방지할 수 있도록 하여야 하며, SMF는 SCF의 출력을 평활처리할 수 있도록 연속시간 능동 RC 필터로 AAF와 SMF를 설계하여야 한다. 또한 SCF와 함께 MOS 칩상에 집적화 되어야 하므로 AAF와 SMF의 칩 면적을 감소시키기 위하여 낮은 차수인 그림3과 같은 연속시간 능동 RC 필터를 본 논문에서 사용하고자 한다.

그림3의 전달함수는 식(1)과 같고,

$$H(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{1}{2R^2C^2s^2 + 2RCs + 1}, \quad (1)$$

극점주파수  $\omega_0$ 와 극점 Q를 도입하여 다시 쓰면 식(2)와 같다.

$$H(s) = \frac{\omega_0^2}{s^2 + (\omega_0/Q)s + \omega_0^2} \quad (2)$$

여기서,  $\omega_0 = 1/\sqrt{2RC}$ ,  $Q = 1/\sqrt{2}$  이다.

그림3의 회로에서 두개의 저항이 서로 같고, 두개의 커패시터가 배수 관계를 이루는 한 극점 Q는 R과

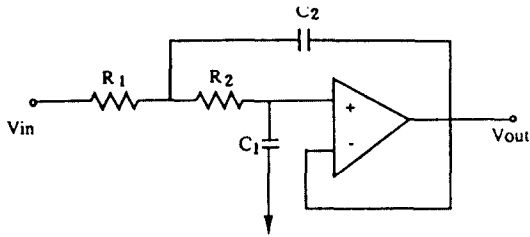


그림 3. AAF와 SMF 실현을 위한 능동 RC 필터  
Fig. 3. Active RC filter for AAF and SMF realization

C에 무관되므로 소자값 변화에 따른 저감도 특성을 유지한다.

### III. AAF와 SMF 설계

그림3의 AAF와 SMF 필터를 설계하기 위한 설계 명세조건은 표1과 같다.

표 1. AAF와 SMF 설계조건

Table 1. Design specification of AAF and SMF

- AAF와 SMF는 R, C 값이 최악(worst-case tolerance)의 조건하에서도 만족하도록 설계(R, C 오차:  $\pm 25\%$ )
- fstop/fpass 비는 (30-40)
- SCF인 클럭주파수(fc)에서 35 [dB] 이상
- 능동 RC 필터의 차수는 칩 면적을 고려하여 2차 저역 통과 필터로 설계
- 차단주파수는 10KHz 이상
- AAF와 SMF용 CMOS OP AMP의 부하 구동: 10[K $\Omega$ ], 20[pF]

위의 설계조건에 따라 주파수 변환된 그림3 회로의 R과 C의 소자값은 표2와 같고, 내부회로는 그림4와 같다.

표 2. 주파수 변환된 소자값

Table 2. Element values of frequency transformation

R <sub>1</sub>	400 K $\Omega$	C <sub>1</sub>	25 pF
R <sub>2</sub>	400 K $\Omega$	C <sub>2</sub>	50 pF

### IV. 실험 및 고찰

AAF와 SMF를 실현하기 위하여 설계된 그림4의 능동 RC 필터를 2- $\mu\text{m}$  CMOS n-well 공정으로 집적 회로화한 필터의 현미경 사진을 그림5에 보였다. 실현된 필터의 공급전원은  $\pm 5\text{V}$ 를 사용하였다.

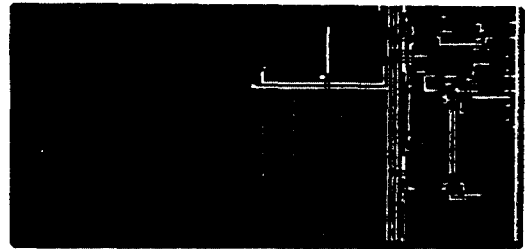


그림 5. AAF와 SMF의 능동 RC 필터 현미경 사진  
Fig. 5. Micrograph of active RC filter for AAF and SMF

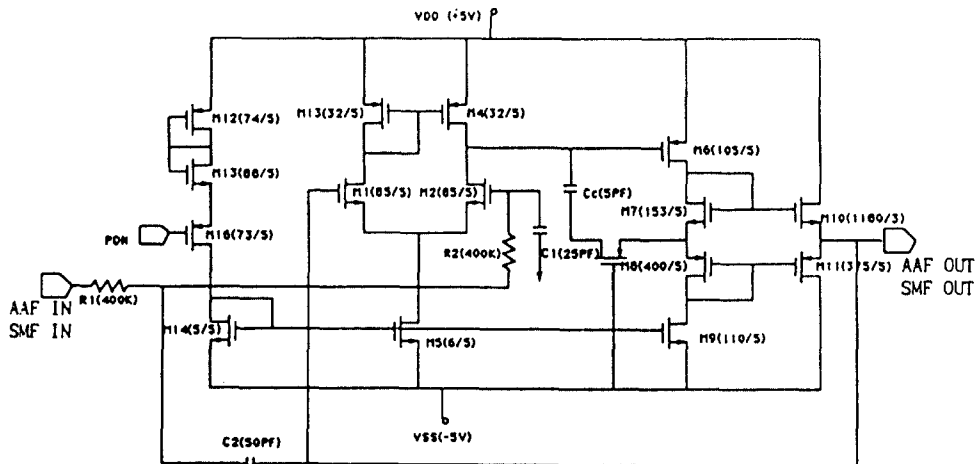


그림 4. 설계된 AAF와 SMF 내부회로

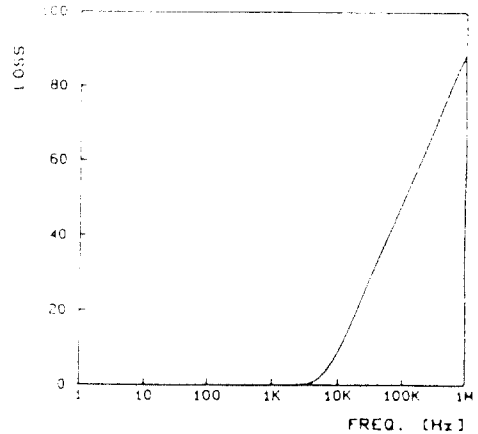
Fig. 4. Internal circuits of the designed AAF & SMF

그림4의 능동 RC 필터를 구성하는 CMOS OP AMP의 SPICE 시뮬레이션 동작특성과 측정된 특성을 비교한 결과를 표3에 나타냈으며, CMOS OP AMP의 측정된 계단응답은 그림6과 같다.

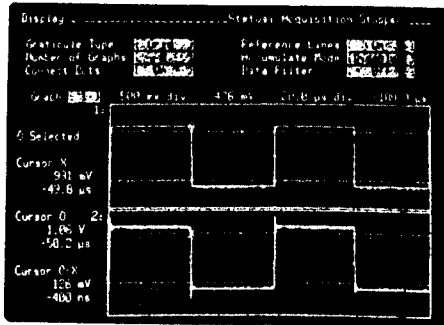
표 4. 능동 RC 필터의 CMOS OP AMP 동작특성  
Table 4. Characteristics of CMOS OP AMP for active filter

PARAMETER	SPICE	MEASURED
전원 (VDD, VSS) [Volt]	±5	±5
OPEN LOOP GAIN [dB]	76	72.2
SLEW RATE [V/μsec]	12	7.3
PSRR+	80	73.5
Output resistance [Ω]	200	956
소비전력 [mVolt]	5.76	3.56
GB [MHz]	5.3	2.0
OFFSET Voltage [mVolt]	0	0.21
CMRR [dB]	82	68.6
OUTSWING (Vout) [Volt]	-4.0 ~ +3.5	-3.2 ~ +3.2

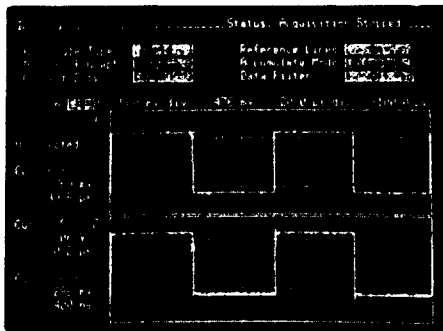
집적화된 그림5의 AAF와 SMF의 능동 RC 필터를 실험측정결과 그림7(b)와 같이 차단주파수(cut-off frequency)가 7.5[KHz]로 측정되었으며, 그림4의 회로를 SPICE 시뮬레이션한 주파수 특성은 그림7(a)와 같이 9[KHz]를 나타내었다.



(a)

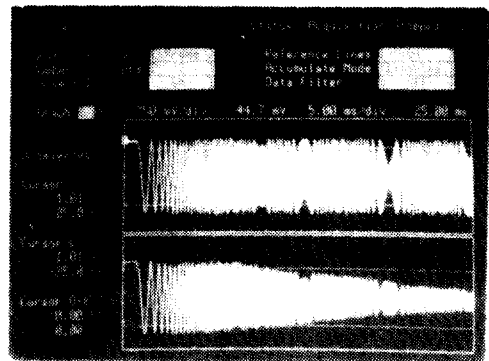


(a)  $C_1 = 100$  [pF]



(b)  $C_1 = 1$  [pF]

그림 6. CMOS OP AMP의 계단응답 (freq. 10KHz)  
Fig. 6. Step response of CMOS OP AMP (freq. 10KHz)



(b)

그림 7. 주파수 특성비교 (a) SPICE, (b) 측정값  
Fig. 7. Comparison of frequency characteristics (a) SPICE (b) measurement value

주파수 변환된 AAF와 SMF의 소자값을 실현하기 위해 캐피터는  $4.6 \times 10^{-4}$  [pF/μm<sup>2</sup>]의 단위소자값을 가지는 2 poly를 사용하였고, 저항 R은 칩면적을 고려하여 단위면적당 소자값이 21 [Ω/μm<sup>2</sup>]을 가지는 poly 대신에 2.2 [KΩ/μm<sup>2</sup>]을 가지는 n-well을 사용하여 그림4의 능동 RC 필터를 ORBIT 2μm CMOS DESIGN 규칙에 따라 레이아웃 하였으며, 그림5와 같이

집적회로화한 필터는  $0.356[\text{mm}^2]$ 의 칩 면적을 차지하였다.

능동 RC 필터 실현을 위해 설계된 CMOS OP AMP를 SPICE 시뮬레이션 특성과 측정결과와 비교할때 표4와 같이 OPEN LOOP GAIN :  $72.2[\text{dB}]$ , GB :  $2.0[\text{MHz}]$ , slew rate :  $7.3[\text{V}/\mu\text{sec}]$ , 출력저항 :  $956[\Omega]$ 으로 시뮬레이션 결과에 비하여 다소 차이가 있지만 소비전력은  $3.56[\text{mV}]$ 로 감소되었다. 또한 비반전 계단응답(inverting follower step response)에 의한 slew rate는 그림6에 보인 바와 같이  $C_L=1[\text{pF}]$ 인 경우에  $7.3[\text{V}/\mu\text{sec}]$ ,  $C_L=100[\text{pF}]$ 인 경우에  $5.26[\text{V}/\mu\text{sec}]$ 의 특성을 보여 설계된 CMOS OP AMP가 AAF와 SMF에 적합함을 보였다.

표2의 주파수 변환된 소자값으로 집적화된 능동 RC 필터의 특성은 그림7과 같이 차단주파수(cutoff frequency)가  $7.5[\text{KHz}]$ 로 SCF 클럭주파수( $100\text{-}300\text{KHz}$ )에 의한 나이키스트 조건을 만족하여 혼성왜곡을 방지할수 있음을 보였으며, SCF의 출력신호를 평활처리할 수 있음을 알 수 있었다.

## V. 결 론

본 논문에서 AAF와 SMF에 사용된 OP AMP는 CMOS로 설계하였으며, 필터는 표1의 설계사양과 칩면적을 고려하여 2차 능동 RC 회로망으로 설계하였다. 설계된 필터 회로의 집적화를 위하여 ORBIT  $2\text{-}\mu\text{m}$  CMOS n-well 공정 파라메타에 의해 커패시터는 2 poly로, R은 n-well을 이용하여 레이아웃하였으며, DRC, ERC, extract 통하여 회로를 검증하고 집적화 하였다.

집적화된 AAF와 SMF의 주파수 특성은 그림6(b)와 같이 차단주파수가  $7.5[\text{KHz}]$ 이므로 그림2와 같이 SCF의 샘플링에 의한 나이키스트 조건을 만족시켜 클럭주파수에 의한 혼성왜곡이 방지되고, SCF의 출력으로 부터  $3.4\text{KHz}$ 의 음성대역 신호를 평활처리할 수 있음을 보였다.

그러나 SPICE 시뮬레이션한 결과에 비해 차단주파수  $1.5[\text{KHz}]$  정도 주파수특성 차이가 있으나, 이러한 특성의 차이는 집적화된 소자인 저항과 커패시터의 오차에 의하여 발생하였다.

AAF와 SMF의 구성에 사용된 OP AMP는  $20[\text{pF}]$ 와  $10[\text{K}\Omega]$ 의 부하를 구동할 수 있도록 출력단을 class AB 형식으로 설계하여 출력임피던스와 GB를 측정한 결과  $956[\Omega]$ 과  $2[\text{MHz}]$ 인데 이는 출력단의

전류와 MOS Tr.의 channel length modulation 영향에 기인한 것이다. 그러나 집적화된 OP AMP의 특성은 표4와 같이 GB가  $2[\text{MHz}]$ , slew rate는  $100[\text{pF}]$ 의 부하에서  $5.26[\text{V}/\mu\text{sec}]$ 의 특성을 보여 음성대역의 신호처리에 적합함을 알 수 있었다.

그러므로 본 논문에서 집적화한 AAF와 SMF 필터는 ADPCM 및 음성 통신시스템에 이용되는 SCF에 유용하게 응용될 수 있고, OP AMP는 아날로그 신호처리에 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

1. B. J. Hosticka, R. W. Brodersen, and P. R. Gray, "MOS sampled data recursive filters using switched capacitor integrators," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol.SC-12, pp.600-608, Dec. 1977.
2. Gordon M.Jacobs, David J.Allstot, Robert W. Brodersen, and Paul R.Gray, "Design Techniques for MOS Switched Capacitor Ladder Filters," *IEEE Trans. Circuits and Syst.*, vol.CAS-25, pp.1014-1021, Dec. 1978.
3. Ceil W. Solomon, "Switched-capacitor filters: precise, compact, inexpensive," *IEEE SPECTRUM*, pp.28-32, June 1988.
4. Kenji Nakayama and Yoshiaki Kuraishi, "Present and Future Applications of Switched-Capacitor Circuits," *IEEE CIRCUITS AND DEVICES*, pp.10-21, Sep. 1987.
5. Phillip E. Allen and Edgar Sanchez-Sinencio, *Switched Capacitor Circuit*, Van Nostrand Reinhold Company
6. Ken Martin and Adel S.Sedra, "Effect of the Op Amp Finite Gain and Bandwidth on the Performance of Switched-Capacitor," *IEEE Trans. Circuits and Syst.*, vol.CAS-28, pp.822-829, Aug. 1981.
7. Man Shek Lee, Gabor C. Temes, Chieh Chang, and Mir Bahram Ghaderi, "Bilinear Switched-Capacitor Ladder Filters," *IEEE Trans. Circuits and Syst.*, vol.CAS-28, pp.822-829, Aug. 1981.
8. Roubik Gregorian and Willian E. Nicholson, "CMOS Switched-Capacitor Filters for a PCM Voice CODEC," *IEEE J. of Solid-State Circuits*,

vol.SC-14, No.6, pp.970-980, Dec. 1979.

9. P.R. Gray and R.G. Meyer, "MOS operational amplifier design a tutorial overview," *IEEE J. of Solid-State Circuits*, vol.SC-17, pp.969-982,

Dec. 1982.

10. John A.Fisher, "A High-Performance CMOS Power Amplifier," *IEEE J. of Solid-State Circuits*, vol.SC-20, no.6, pp.1200-1205, Dec. 1985.



趙成翊(Seong Ik Cho) 正會員  
1961年 2月 10日生  
1987年 2月: 全北大學校 電氣工學  
科(工學士)  
1989年 2月: 全北大學校 電氣工學  
科(工學碩士)  
1994年 2月: 全北大學校 電氣工學  
科(工學博士)



辛洪圭(Hong Kyu Shin) 正會員  
1953年 12월 26일 생  
1975년 2월: 전북대학교 전기공학  
과(공학사)  
1980년 8월: 전북대학교 대학원(공  
학석사)  
1989년 2월: 전북대학교 대학원(공  
학박사)

1990년 8월 ~ 1991년 8월: Ohio State Univ. Post doctoral  
course

1978년 3월 ~ 1982년 2월: 전국공업전문대학 전자과

1982년 3월 ~ 현재: 원광대학교 공과대학 전자공학과 교수

※주관심분야: Analog VLSI System design



金東龍(Dong Yong Kim) 正會員  
1945年 7月 31日生  
1967年 2月: 全北大學校 電氣工學  
科(工學士)  
1973年 8月: 全北大學校 電氣工學  
科(工學碩士)  
1984年 5月: 캐나다 마니토바대학  
교 電氣工學科(工學博  
士)

1979年 ~ 1984年: 캐나다 마니토바대학교 電氣工學科 研究員

1973年 ~ 現在: 全北大學校 電氣工學科 教授

1992年 ~ 現在: 全北大學校 附屬 電氣電子回路合成研究所  
所長