

센서 ROIC 기술 동향

ROIC Technology Trends for Sensors

노태문 (T.M. Roh)	혼성신호처리연구실 실장
전영득 (Y.-D. Jeon)	혼성신호처리연구실 선임연구원
여준기 (C.-G. Lyuh)	혼성신호처리연구실 선임연구원
조민형 (M.-H. Cho)	혼성신호처리연구실 선임연구원
김이경 (Y.-G. Kim)	혼성신호처리연구실 선임연구원
권종기 (J.-K. Kwon)	나노광전집적연구부 부장

* 본 논문은 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음(10035570, 스마트&그린 빌딩용 자가충전 지능형 센서노드 플랫폼 핵심기술 개발).

IT 기술이 발달함에 따라 저전력, 초소형 센서노드를 설치하여 무인으로 정보를 얻을 수 있는 시스템의 도입이 점차 확대되는 추세이며, 이것을 위하여 온도, 습도, 가스 등 환경정보를 획득할 수 있는 센서뿐만 아니라 초소형 저전력 복합환경 센서 ROIC(Read-Out Integrated Circuit)의 중요성이 증가하고 있다. 또한 휴대폰, 노트북, 스마트폰, 태블릿 PC 등의 모바일 IT 제품들은 빠르게 소형화, 슬림화, 저전력화 되고 있다. 이런 시스템의 요구에 따라 음향부품도 기본적인 음향 감지/출력 성능 이외에 크기 및 소모전력이 중요한 기능요소로 크게 부각되고 있으며, 이것을 위하여 소형화, 저가격화가 가능한 MEMS(Microelectromechanical Systems) 음향센서 및 ROIC 개발이 요구되고 있다. 따라서 본고에서는 복합환경 센서 ROIC 및 MEMS 마이크로폰 ROIC의 기술동향 등에 대해서 고찰하고자 한다.

2013
Electronics and
Telecommunications
Trends

미래 부품소재기술 특집

- I. 머리말
- II. 센서 ROIC 기술 동향
- III. ETRI 센서 ROIC 연구 동향
- IV. 맺음말

I. 머리말

IT 기술이 발달함에 따라 이를 자동차, 건설, 환경, 의료 등 다양한 분야에 접목하려는 시도가 점점 증가하는 추세이며, 그 중 사람들이 하루 중 대부분의 시간을 보내는 빌딩 또는 주택에도 안전, 건강 및 편의를 위해 IT 기술을 접목하려는 시도가 확산되고 있다. 특히, 사람이 생활하는 환경과 밀접한 관련이 있는 대기의 다양한 정보를 수집하여 쾌적한 실내 또는 사무환경을 조성하기 위해 여러 종류의 센서를 탑재한 센서노드 시스템의 필요성이 광범위하게 증대되고 있다. 또한, 산불이나 주변 가스, 미세먼지 등 넓은 지역의 환경감시 등에 저전력, 초소형 센서노드를 설치하여 무인으로 정보를 얻을 수 있는 시스템의 도입이 점차 확대되는 추세이다[1].

이와 같이 센서노드의 필요성이 증가함에 따라 출력 특성이 다양한 여러 개의 환경센서를 하나의 보드로 구현하기 위해서는 환경센서에 특성에 맞는 각각의 신호처리 칩 또는 신호처리 시스템이 필요하게 되어 센서노드의 전력소모 증가와 함께 크기가 커지는 단점이 있다. 따라서, 초소형 저전력 ROIC(Read-Out Integrated Circuit)의 중요도가 높아지고 있다.

휴대폰, 노트북 등의 모바일 IT 제품들은 빠르게 소형화, 슬림화, 저전력화 되고 있으며, 최근에는 스마트폰, 태블릿 PC가 등장하고 있다. 슬림화 경향은 LCD(Liquid Crystal Display)/LED(Light-Emitting Diode) TV 등의 소비가전 제품에서도 뚜렷이 나타나고 있다. 이런 시스템의 요구에 따라 음향부품도 기본적인 음향 감지/출력 성능 이외에 크기 및 소모전력이 중요한 기능요소로 크게 부각되고 있다[2].

MEMS(Microelectromechanical Systems) 마이크로폰은 기존의 ECM(Electret Condenser Microphone)보다 소형화가 가능하다는 장점이 있다. 또한 내열성 및 기계적 내구성이 우수하여 전자기기 제조공정에서 표면 실장 및 자동 조립 공정 적용이 가능하며, 전자기기의

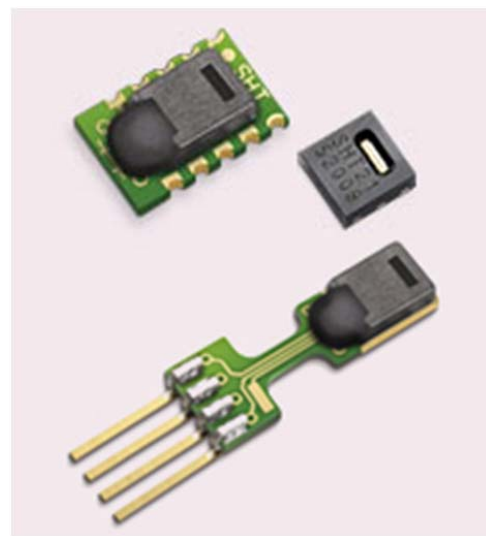
경소형화 및 저가격화를 가능하게 하는 장점이 있다. 따라서 MEMS 마이크로폰은 소형화, 저가격화를 위해 기술개발이 진행되고 있고, 성능측면에서 높은 SNR(Signal-to-Noise Ratio)을 구현하기 위한 연구가 진행되고 있다. MEMS 마이크로폰의 SNR 향상을 위해서는 MEMS 센서 성능을 높이는 방법과 ROIC의 잡음 특성을 향상시키는 방법이 병행되어야 한다.

본고에서는 기존의 환경센서 ROIC 및 MEMS 마이크로폰 ROIC의 동향과 더불어 여러 센서들을 하나의 칩으로 처리 가능한 ETRI 복합환경센서 ROIC와 MEMS 마이크로폰의 ROIC 기술을 소개하고자 한다.

II. 센서 ROIC 기술 동향

1. 복합환경센서 ROIC

주변의 환경을 모니터링 하기 위한 환경센서는 여러 종류가 있으며, 온도, 습도, 가스 등을 예로 들 수 있다. 이와 같이 다양한 환경센서들이 존재하지만, 센서의 출력형태를 살펴보면 크게 전압, 전류, 기전력, 정전용량,



(그림 1) 센시리온사의 온습도 센서

저항으로 분류할 수 있다. 센서의 신호들은 증폭, 신호 변환 및 처리과정을 거쳐 우리에게 정보를 제공하게 된다.

먼저, 온도와 습도를 살펴보면, 아날로그 출력을 가지는 개별센서로도 공급 되기도 하지만, 습도는 온도와 밀접한 관계가 있기 때문에 이 두 센서는 하나의 모듈화하여 제품화가 되기도 한다. 대표적인 제품으로 (그림 1)에 나타난 바와 같이 센시리온사(Sensirion)의 디지털 출력형 온습도 센서가 있으며, 습도센서의 경우 습도의 양에 따라 캐패시터 값이 변하는 정전용량 방식이다. 내부에 ROIC를 내장하여 센서에서 출력되는 신호를 전압으로 변환 후 14비트 신호변환기를 사용하여 센서신호를 디지털 값으로 변환한다. 또한, 자체적으로 디지털 보정기능을 포함하고 있어 온도 및 습도에 대하여 보정된 값을 I2C(Inter-Integrated Circuit) 또는 I2C와 유사한 디지털 직렬 인터페이스를 통해 원하는 정보를 얻을 수 있다.

온습도센서와는 달리 가스센서의 경우, (그림 2)와 같이 ROIC를 포함하지 않은 아날로그 신호 출력타입이 여전히 많이 출시되고 있다. 가스센서는 해당되는 가스와 반응하면 기전력 또는 저항 값이 변하게 되는데, 기전력의 경우에는 높은 입력임피던스를 가지는 증폭기를 통해 증폭과 동시에 전압으로 신호를 변환하는 회로가 필요하고, 저항의 경우에는 간단히 저항값이 고정된 레퍼런스 저항과 센서의 출력저항과의 비를 통해 신호를 전압으로 변환해야 한다. 전압으로 변환된 신호는 독립



(그림 2) FIGARO사의 가스센서

된 신호변환기를 거쳐 디지털로 변환되기도 하며, MCU (Micro-Controller Unit)를 포함한 모듈에 장착될 경우에는 GPIO(General Purpose Input/Output) 입력을 통해 MCU에 내장된 ADC(Analog-to-Digital Converter)를 통해 신호변환 후 디지털 신호처리까지 가능하다.

또한, 반도체식 가스센서는 센서와 가스의 반응을 높이기 위해 히팅(heating)을 통해 센서에 열을 가해 주기도 한다. 필요한 히팅 온도를 조절하는 방법으로는 히팅 저항에 전류공급장치를 이용하여 직접적으로 전류를 조절하는 방법을 사용할 수도 있지만, 전류 공급장치 구현이 쉽지 않으므로 간단히 히팅저항의 양단에 걸리는 전압을 조절하여 전류를 조절하는 것이 일반적이다.

센서와는 별도로 ZMDI사는 Sensor Signal Conditioner IC만을 전문적으로 개발하여 시장에 공급하고 있다. ZMDI사의 ROIC는 저항형 센서와 정전용량형 센서의 신호를 처리할 수 있으며, 각 센서의 특성에 따라 이득, 온도범위, 해상도 등이 다양한 ROIC 제품들이 있다 [3]. 또한 ROIC 제품들은 센서의 오프셋, 온도 변화 특성, 비선형 특성 등의 오차성분들을 디지털 방식으로 보정 가능하다.

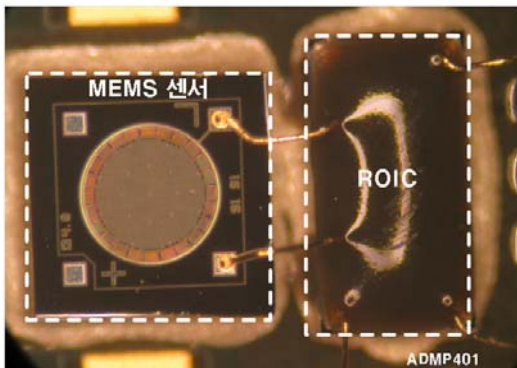
2. MEMS MIC ROIC

현재 스마트폰, 태블릿 PC 등 대부분의 정보통신 휴대기기에 통화 등의 목적으로 음성 신호를 입력 받기 위한 마이크 및 마이크에서 나오는 신호를 처리하기 위한 ROIC가 하나의 모듈로 구성된 마이크로폰 모듈이 포함되어 있다. 2010년까지는 ECM 기반의 마이크로폰이 주로 사용되었다. 그러나 ECM 마이크로폰의 경우 열공정에 취약하여 휴대기기 제작 시 ECM 마이크로폰 관련 작업 공정은 자동화된 공정을 사용하지 못하고 대부분 수작업에 의존하고 있어 생산 비용의 증가 요인이 되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 2010년경부터는 MEMS 기반의 마이크로폰의 사용이 증대되고 있다[4].

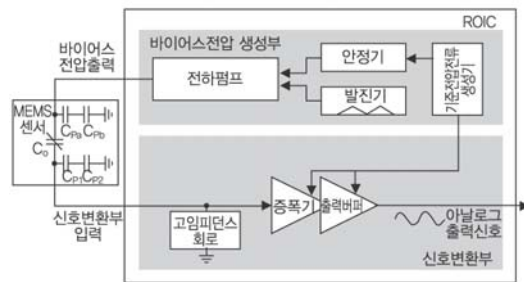
MEMS 마이크로폰의 경우 ECM 마이크로폰에 비해 열 공정에 강한 특성을 갖고 있어 휴대기기 제작 시 자동화된 SMT(Surface-Mount Technology) 공정 사용이 가능하여 ECM 마이크로폰을 사용하는 경우에 비해 생산 공정비용 및 물류비용을 줄일 수 있다.

MEMS 마이크로폰은 (그림 3)에 나타낸 바와 같이 기능적으로 MEMS 센서와 ROIC로 구성된다. MEMS 센서는 멤브레인과 백플레이트로 구성되어 음압에 따라 캐패시턴스 값이 변하는 가변 캐패시터와 같이 구성된다. 센서의 음압에 따른 캐패시턴스 변화량을 전압신호로 변환시키기 위해서는 센서에 10V 수준의 바이어스 전압이 인가되어야 하고, 캐패시턴스 변화에 따른 전류 신호를 전압신호로 변환하는 ROIC가 필요하다. 따라서 MEMS 마이크로폰 ROIC는 바이어스전압생성부와 센서에 의한 전류신호를 전압신호로 변환하는 신호변환부로 구성된다. 그리고 ECM 마이크로폰의 경우 ROIC와 별도로 제작되어 각각을 하나의 모듈로 구성하여 마이크로폰 모듈을 구성하나, MEMS 마이크로폰의 경우 ROIC 제작 공정인 CMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor) 공정과의 호환성으로 인하여 MEMS MIC와 ROIC를 단일칩으로 제작하는 것이 기술적으로 가능하므로 향후 마이크로폰 모듈 제작 비용을 급격히 줄일 수도 있다.

그리고 MEMS 마이크로폰의 경우 ECM 마이크로폰



(그림 3) MEMS 마이크로폰 구성 사진



(그림 4) MEMS 마이크로폰 ROIC 구조도

에 비해 작은 크기로 제작이 가능하다. 이러한 이유들로 현재는 스마트폰을 비롯한 대부분 마이크로폰 제품 시장에서 MEMS 마이크로폰 제품이 사용되고 있고, MEMS 마이크로폰 및 ROIC의 성능 향상을 위해 기술 개발이 이루어지고 있다.

MEMS 마이크로폰 ROIC 구조는 (그림 4)와 같다. 바이어스전압생성부는 기준전압전류생성기, 안정기, 발진기, 전하펌프로 구성된다. 기준전압전류생성기와 안정기를 통한 고정전원과 발진기회로를 통한 클럭신호로 전하펌프를 구동하여 10V 수준의 바이어스전압을 생성한다. 신호변환부는 고임피던스회로, 증폭기, 출력버퍼로 구성된다. 고임피던스회로는 신호변환부입력단자에 DC전압을 설정하면서 음향신호대역에서 전류-전압 신호변환 기능을 한다. 또한 잡음특성을 고려하여 임피던스는 10GΩ 이상으로 설계된다. 증폭기는 입력신호를 증폭하여 기준 출력신호 감도로 신호증폭기능을 하고, 출력버퍼는 높은 부하 구동기능을 한다.

MEMS 마이크로폰, 특히 ROIC와 관련하여 최근 중요성이 높아지고 있는 주요규격은 감도(sensitivity), 신호대잡음비(SNR), RF 내성 (RF immunity), 전원잡음 억제(PSR: Power Supply Rejection, PSRR: Power Supply Rejection Ratio) 특성이다.

감도 규격은 기준음압에서 출력신호의 크기를 의미한다. 기준음압은 94dB SPL(Sound Pressure Level, 1Pa)이다. 노울스사(Knowles), 인피니온사(Infineon), 아날로그디바이스사(Analog Device), 윌프슨마이크로일렉

트로닉스사(Wolfson Microelectronics) 등의 상용 MEMS 마이크로폰은 -42dBV/Pa 혹은 -38dBV/Pa 의 감도로 생산되고 있다. 마이크로폰의 음압구멍이 금속 케이스 상단에 있는 상단구멍 마이크로폰(Top Hole Microphone)은 -42dBV/Pa 정도의 감도를 보여주고 있고, 음압구멍이 PCB(Printed Circuit Board)쪽에 있는 하단 구멍 마이크로폰(Bottom Hole Microphone)은 -38dBV/Pa 의 감도를 가진다. 하단구멍마이크로폰이 감도특성이 우수하고 전자기기 케이스에 초박형 부착이 가능하다는 장점이 있어 점차 많이 사용되고 있다. ROIC와 관련하여 감도는 ROIC의 신호증폭과 관련이 있다. MEMS 센서의 감도가 부족한 경우, 목표 감도의 신호 출력을 위해 ROIC신호 증폭이 필요하다. ROIC에서 신호증폭은 잡음을 증가시키므로 잡음특성 저하를 최소화하기 위해서 MEMS 센서의 기생 캐패시턴스에 의한 신호 손실을 최소화 방법과 저잡음 신호 증폭방법에 대한 연구가 필요하다.

신호대잡음비(SNR)는 기준음압에서 출력신호크기와 잡음크기의 비를 나타낸다. 기준음압은 94dB SPL 이고, 잡음은 $20\sim 20\text{kHz}$ 신호대역에서 a-weighting 필터된 값이다. SNR은 초기 상용제품이 $55\sim 58\text{dB}$ 수준이었으나, 현재 아날로그디바이스와 울프슨마이크로일렉트로닉스사에서 65dB 성능의 제품을 발표하였으며, SNR 향상을 위한 연구가 현재도 활발하게 진행되고 있다[5], [6]. SNR측면에서 신호의 크기는 MEMS 센서에 의해 결정되고, 잡음은 대부분 ROIC에서 생성된다. 따라서 ROIC의 저잡음화가 필요하고, 이를 위한 일반적인 방법은 플리커잡음 감소를 위해 소자 사이즈를 증가시키는 것과 열잡음 감소를 위해 트랜스컨덕턴스를 증가시키는 것이다. 그렇지만 이 방법은 칩 면적과 소모전류를 증가시켜 제품 경쟁력을 저하시킨다. 따라서 이를 극복하면서 잡음을 줄이기 위한 저잡음 ROIC 개발이 필요하다.

RF 내성(RF immunity)은 마이크로폰 외부의 RF 신호에 대한 간섭 억제 정도를 의미한다. 마이크로폰에서

RF 신호 간섭은 크게 2개 경로가 있다. 첫번째는 민감한 회로 및 소자로의 직접적인 간섭현상이다. 이 경우 금속케이스를 이용한 차폐로 문제를 해결할 수 있다. 두번째는 마이크로폰 단자를 통한 간섭현상으로, 전원단자와 신호출력단자를 통한 RF 에너지 유입현상이다. ROIC 단자로부터 유입된 RF 신호는 ESD(Electrostatic Discharge) 등의 비선형소자로 인해 복조화되어 가청영역에서 잡음특성을 저하시킬 수 있다. 이를 방지하기 위해 최근의 MEMS 마이크로폰은 RF 필터를 내장하고 있고 적용기기의 마이크로폰 주변 RF 간섭 조건에 따라 RF 필터 특성을 선택할 수 있다. 노울스사의 경우 시스템의 RF 간섭정도에 따라 RF 필터 특성을 세분화하여 제품을 생산하고 있다[7]. 휴대기기의 소형화에 따른 마이크로폰 배치상의 제약으로 마이크로폰의 RF 신호간섭 환경은 더욱 악화될 것으로 예상되므로, RF 내성 특성도 마이크로폰의 중요한 특성이 되고 있다.

전원잡음억제특성은 전원잡음이 마이크로폰 출력에 영향을 미치는 정도를 의미한다. 휴대기기에 무선통신칩셋과 프로세서칩 등의 소모전류가 큰 칩이 많아짐에 따라 전원의 잡음레벨이 높아지고 있다. 높은 전원잡음에서도 마이크로폰 잡음특성을 유지하는 성능지표로 PSRR과 PSR이 있다. PSRR은 전원에 인가된 사인파와 출력단자에서의 신호비를 나타내는 것으로, 주파수별 전원잡음 영향을 파악할 수 있는 정보를 제공한다. PSR은 GSM(Global System for Mobile Communications)과 같은 TDMA(Time Division Multiple Access) 디지털 변조방식의 통신회로를 사용할 경우 전원에 유기되는 펄스잡음에 대한 출력단자에서의 억제정도를 의미하는 것으로, 0.1Vpp , 217Hz 구형파를 전원에 인가했을 때 출력단자에서 나타나는 신호의 크기를 의미한다. 상용 MEMS 마이크로폰 PSRR은 $-40\text{dB} \sim -55\text{dB}$ 수준이고, PSR은 -70dBV 수준이다. 컴퓨팅 파워의 증가와 고속 통신시스템 채용에 따라 전자기기의 전원잡음 증가가 예상되므로 전원잡음억제특성은 중요한 성능지표

가 될 것이다. 특히 자동차와 같은 전원잡음이 큰 어플리케이션 분야에서는 전원잡음억제특성이 가장 중요한 성능지표가 될 수도 있다. 따라서 자동차와 같은 고 전원잡음 어플리케이션용으로 5V 전원을 이용하고, 높은 PSRR을 구현하는 MEMS 마이크로폰 개발도 필요하다.

III. ETRI 센서 ROIC 연구 동향

1. ETRI 복합환경센서 ROIC 기술

가. 개요

센서노드의 전력소모와 보드크기를 최소화하기 위하여 여러 타입의 센서 출력신호를 처리하기에 적합한 구조를 제안하며, 이를 구현한 복합환경센서 신호처리 ROIC를 기술한다.

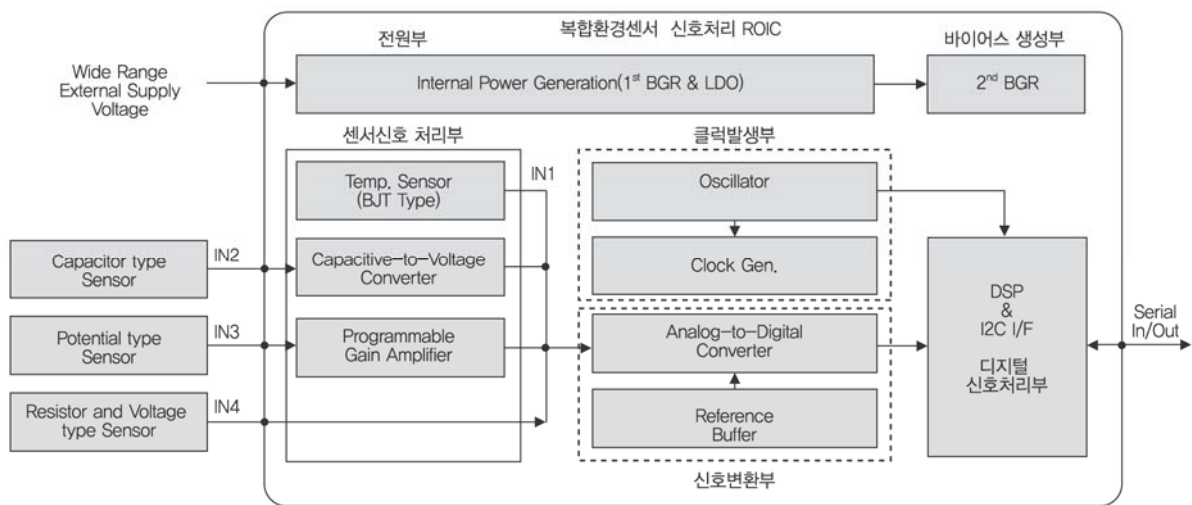
나. 설계

(그림 5)는 제안하는 복합환경센서 신호처리 ROIC의 구조도를 나타낸다[8]. 첫 번째 입력인 CMOS 기반의

온도센서는 ROIC에 내장되었고[9], 외부의 캐패시턴스, 기전력 및 저항 또는 전압 출력의 센서신호를 하나의 칩으로 처리할 수 있도록 제안하는 ROIC는 IN1~IN4의 4가지 입력신호를 처리할 수 있다. 각 센서의 출력신호를 신호변환기에서 처리할 수 있도록 캐패시턴스-전압 변환기, PGA(Programmable Gain Amplifier)와 같은 인터페이스로 구성되어 있다.

IN2의 입력인 캐패시턴스-전압 변환기는 클럭 속도에 관계없이 동작 가능한 스위치드-캐패시터 구조를 적용하였고, 센서를 입력단 샘플링 캐패시터로 사용하고 피드백 캐패시터를 가변으로 구현하여 이득을 조절할 수 있다. IN3의 입력인 PGA는 기전력 타입의 센서출력을 처리하기 위해 비반전 증폭기 구조를 적용하여 높은 입력 임피던스를 가지면서 가변 저항을 통하여 저항비에 따라 최대 이득 12까지 조절가능 하도록 설계되었다. 저항 또는 전압인 IN4 입력은 저항의 경우 전원전압과 접지 사이에 센서와 외부 기준저항을 직렬연결을 함으로써, 간단히 전압으로 변환하여 신호변환기로 바로 입력된다.

이와 같이 인터페이스를 거친 센서출력은 전압형태로



(그림 5) 복합환경센서 ROIC 구조도

신호변환기의 입력으로 인가되어 디지털 코드로 변환된다. 제안하는 ROIC에는 인크리멘탈 델타-시그마 신호 변환기를 적용하여 적분기와 비교기로 간단히 구현되었다[10][11].

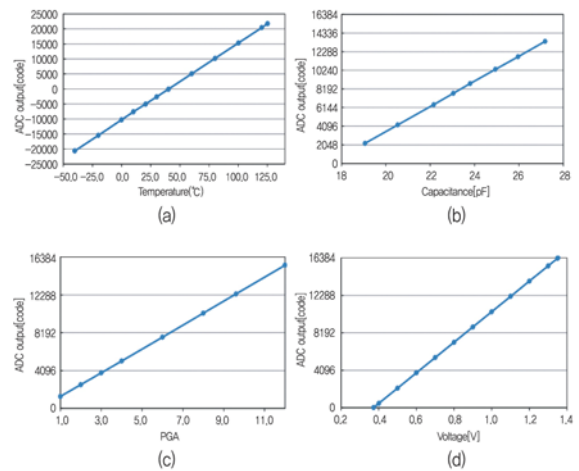
디지털 신호처리(DSP : Digital Signal Processing)를 위해 구현된 Hard-wired 엔진과 EEPROM(Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)은 14비트의 디지털 신호를 기반으로 최대 3차식까지 보정이 가능하고, PWM(Pulse-Width Modulation) 출력뿐만 아니라 설정된 값을 초과 또는 미만 시 상태를 알려 주는 알람기능을 지원한다. 또한, 표준화된 I2C 직렬 디지털 인터페이스를 기반으로 외부와의 통신이 가능하다.

다. 구현

복합환경센서 신호처리 ROIC는 (그림 6)과 같이 0.18um CMOS 공정으로 제작되었으며, 면적은 1.38mm²이다. (그림 7)은 각 입력에 대한 출력 값을 측정한 결과이다. 온도는 2차 디지털 보정된 결과로써 전 구간의 온도범위에서 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 오차를 가지며, 캐패시턴스는 오차범위 $\pm 23\text{fF}(\pm 0.3\%)$ 수준에서 측정되었다. PGA 성능측정을 위해 80mV 전압을 인가한 후 이득을 조절에 따른 ROIC 출력값을 측정하였고, 전압을 신호변환기에 직접 인가한 경우 대략 1.0V 입력범위에서 0.37% 오차 수준을 확인할 수 있었다.



(그림 6) 복합환경센서 신호처리 ROIC 칩사진



(a) 온도, (b) 캐패시터, (c) PGA 이득, (d) 전압입력

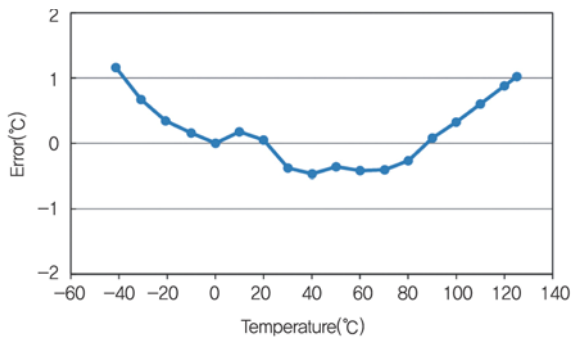
(그림 7) 측정결과

(그림 8)은 복합환경센서 신호처리 ROIC를 실장한 센서노드 사진으로, 온도센서를 내장한 ROIC와 캐패시터 타입의 습도센서, 기전력 및 저항 타입의 가스센서를 포함하고 있다. 총 4종의 센서를 탑재한 센서노드 크기는 2.8x3.0cm²이고, 14비트 모드로 4종의 센서 동작 시 ROIC 동작모드 평균전류소모는 624uA이다.

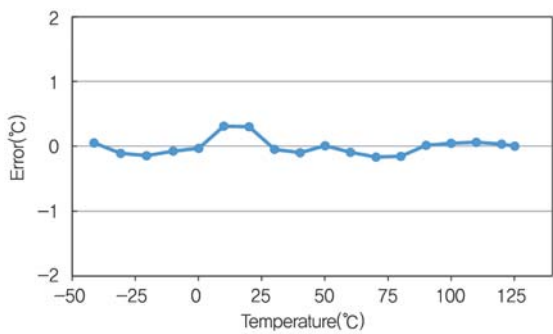
(그림 9)는 ROIC의 온도센서를 측정한 결과로써, 보정 전일 경우 측정온도(-40°C ~ 125°C) 구간에 대해 최대 1°C 이상의 오차를 보인다. 그러나 ROIC에 내장된 보정 알고리즘을 통해 2차 보정 후에는 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 이하의 오차를 보이는 것을 확인할 수 있다.



(그림 8) ROIC를 실장한 센서노드



(a) 보정 전



(b) 보정 후

(그림 9) ROIC 온도 오차

라. 결론 및 향후 연구 방향

초소형 저전력 센서노드를 구현하기 위해서 본고에서 ETRI에서 개발한 복합환경센서 신호처리 ROIC를 소개하였다. 향후 회로의 최적화를 통해 전력소모 및 면적을 최소화할 수 있을 것으로 예상된다.

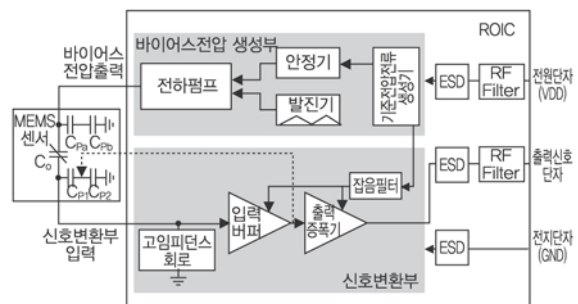
3. ETRI MEMS MIC ROIC

가. 개요

ETRI에서는 MEMS 마이크로폰 센서와 ROIC를 개발하고 있다. 그 중에서 ROIC와 관련하여 감도 및 SNR 향상을 위한 회로기법을 소개한다.

나. 설계

MEMS 마이크로폰 센서는 구조적으로 신호변환부



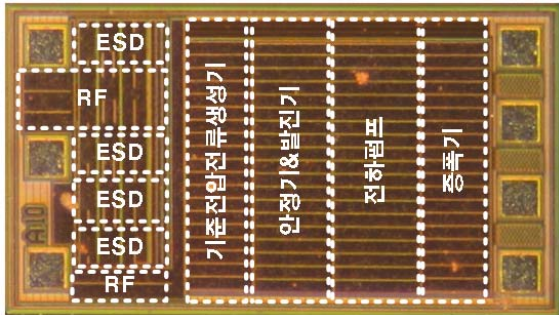
(그림 10) ETRI MEMS 마이크로폰 ROIC 구조도

입력단자에 (그림 10)의 CP_1 과 CP_2 와 같이 기생 캐패시턴스가 존재한다[12]. 기생 캐패시턴스는 센서에서 ROIC 신호변환부로 전달되는 신호전류량의 손실을 야기한다. 따라서 MEMS 마이크로폰의 감도 및 SNR을 향상시키기 위해서 기생 캐패시턴스에 의한 신호손실을 최소화해야 한다. 센서 기생 캐패시턴스 영향을 최소화하기 위해 캐패시터 커플링 기법을 사용하였다. 앞서 (그림 3)에서 입력버퍼 출력을 캐패시턴스(C_{P1}) 단자로 인가함으로써 C_{P1} 을 통한 손실전류의 흐름을 차단할 수 있다. 이를 통하여 신호손실을 약 2dB 줄일 수 있게 된다. 이 기법에 의해 입력버퍼출력에서 신호와 잡음은 약 2dB 증가하는 반면, 출력증폭기 잡음은 증가하지 않아 ROIC SNR이 향상된다.

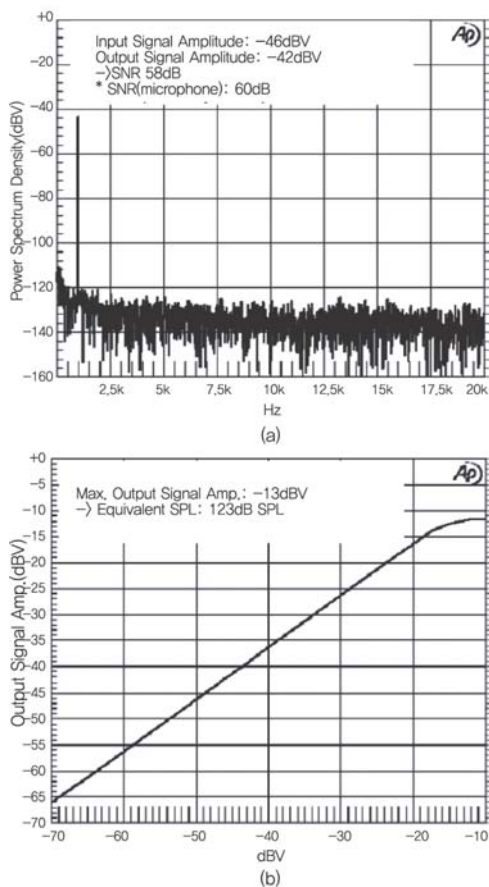
신호변환부는 입력버퍼와 출력증폭기로 구성된다. 출력증폭기는 입력단자의 차동 동작으로 인해 기준전류잡음으로부터 둔감하다. 하지만 입력버퍼(소스폴로워)는 단일-입력 단일-출력 구조로 인해 기준전류 잡음에 직접적인 영향을 받는다. 기준전류 잡음을 낮추기 위해서는 기준전류생성기 회로의 소자 크기가 커져야 하는데, 이는 ROIC 칩크기를 증가시킨다. 따라서 칩면적을 최소화하면서 잡음을 줄이기 위해, 입력버퍼에 인가되는 기준전류가 잡음필터를 통과하도록 하였다. 잡음필터는 RC 저주파필터로 구현하였다. 신호대역의 기준전류잡음은 잡음필터에 의해 억제되고, 추가된 잡음필터 잡음은 잡음특성측정용 필터(a-weighting 필터)에 의해 억제된다. 따라서 기준전류에 의한 잡음을 줄일 수 있다.

다. 구현

ROIC는 (그림 11)과 같이 0.18um CMOS 공정으로 제작되었으며, 면적은 0.43mm²이다. (그림 12)는 ROIC 측정결과이고 <표 1>은 측정결과 요약이다. 측정조건은



(그림 11) ETRI MEMS 마이크로폰 ROIC 칩사진



(그림 12) ETRI MEMS 마이크로폰 ROIC 측정결과:
 (a) SNR, (b) 최대출력신호

<표 1> ETRI ROIC 측정결과 요약

항목	측정결과
전원전압	1.6~3.6V
소모전류	150uA
SNR(ROIC/MIC)	58/60dB
센서바이어스전압	8.9V
PSRR	-66dB
칩 면적	0.43mm ²

2pF 센서 모델을 사용하였고, 94dB SPL에 대한 등가입력신호로 -46dBV를 인가하였다. 측정결과는 60dB SNR, -123dB SPL 최대 등가음압을 보여준다. ROIC와 마이크론의 2dB SNR 차이는 캐패시터 커플링기법에 따른 영향이다.

라. 결론 및 향후 연구 방향

MEMS 마이크로폰은 고감도, 높은 SNR, 우수한 외부잡음간섭억제 특성, 넓은 신호대역이 요구되고 있다. 이를 구현하기 위해 MEMS 센서개발과 함께 고성능 ROIC 개발이 요구된다. 본고에서는 MEMS 마이크로폰의 SNR 향상을 위해서 MEMS 마이크로폰 센서용 ROIC의 저잡음기법을 제안하였다. 향후 각 회로의 최적화를 통해 SNR을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

IV. 맺음말

IT 기술이 발달함에 따라 자동차, 환경, 의료, 빌딩 등에도 안전, 건강, 편의를 위하여 IT 기술이 침투하고 있다. 이것을 실현시키기 위하여 온도 및 습도뿐만 아니라 CO₂, HCHO 등 가스를 측정할 수 있는 환경센서를 내장한 센서노드가 개발되고 있으며, 초소형 및 저전력 센서노드에 적합한 ROIC가 개발되고 있다. 온습도 센서용 ROIC는 대표적으로 센시리온사와 ZMDI사가 있다.

ETRI는 온습도 센서뿐만 아니라 가스센서를 동시에 구동할 수 있는 복합환경센서 ROIC를 개발하였다.

또한 대표적인 모바일 IT제품인 휴대폰, 노트북에 소모전력을 줄이고 소형화에 대한 장점이 있는 MEMS 마이크로폰에 적합한 ROIC가 개발되고 있다. MEMS 마이크로폰 ROIC로는 인피니온사 및 노울스사가 주도하고 있다. 국내에서는 ETRI가 MEMS 마이크로폰 ROIC를 개발하고 있으며, 현재 성능 개선을 위한 연구를 진행하고 있다.

향후 인간의 안전과 편의를 제공하기 위하여 다양한 종류의 환경센서뿐만 아니라 그에 적합한 소형, 고성능, 저전력, 고신뢰 ROIC에 대한 연구가 지속적으로 진행되어야 한다.

약어 정리

ADC	Analog-to-Digital Converter
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
DSP	Digital Signal Processing
ECM	Electret Capacitor Microphone
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
ESD	Electrostatic Discharge
GPIO	General Purpose Input/Output
GSM	Global System for Mobile Communications
I2C	Inter-Integrated Circuit
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
MCU	Micro-Controller Unit
MEMS	Microelectromechanical Systems
MIC	Microphone
PCB	Printed Circuit Board
PGA	Programmable Gain Amplifier
PSR	Power Supply Rejection

PSRR	Power Supply Rejection Ratio
PWM	Pulse-Width Modulation
ROIC	Read-Out Integrated Circuit
SMT	Surface-Mount Technology
SNR	Signal-to-Noise
SPL	Sound Pressure Level, 1Pa
TDMA	Time Division Multiple Access

참고문헌

- [1] 박강호 외 “스마트 빌딩용 센서 기술 현황 및 전망,” 전자통신동향분석, 제24권 제6호, 2009년. 12. pp. 1-10.
- [2] 양우석 외 “초소형 음향소자의 기술 및 산업 동향,” 전자통신동향분석, 제25권 제5호, 2010. 10. pp. 1-10.
- [3] ZMDI ZSSC/ZSC Selection Guide, 2013.
- [4] iSuppli, Consumer and Mobile MEMS Market Tracker H2 2009.
- [5] Analog Devices, “ADMP510 RF Hardened, Ultralow Noise Microphone with Bottom Port and Analog Output”, accessed Aug. 8, 2013
- [6] Wolfson Microelectronics, “WM7135 Bottom Port Analogue Silicon Microphone”, accessed Aug. 8, 2013.
- [7] Knowles, “Acoustic Interface Design Guide”, accessed Aug. 8st, 2013.
- [8] 전영득 외 “초소형 센서노드 구현을 위한 멀티센서 신호처리 ROIC 개발”, 하계학술대회, 제 36권 제1호, 2013. 7, pp. 35-37.
- [9] K. Souri and K. A. A. Makinawa, “A 0.12 mm² 7.4uW Micropower Temperature Sensor With an Inaccuracy of $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ (3 σ) From -30°C to 125°C ”, JSSC, July, 2011, 1693-1700.
- [10] Cypress MicroSystems, Inc, CY8C27/24/22xxx Data Sheet, 2003.
- [11] J. Markus, et. al, “Theory and Applications of Incremental $\Delta\Sigma$ Converters”, JSSC, April, 2004, pp. 678-690.
- [12] 김이경 외 “저잡음 MEMS 마이크로폰 ROIC”, 대한전자공학회 하계학술대회, 제36권 제1호, 2013. 7. pp. 1845-1846.