

# IoT 용 스마트 센서를 위한 저전력 솔루션

## I. 서론

IoT(Internet Of Things, 사물인터넷)은 지능화된 사물들이 연결되어 형성되는 네트워크 상에서 사람과 사물, 사물과 사물 간에 상호 소통하고, 상황인식 기반의 지식이 결합되어 지능적인 서비스를 제공하는 글로벌 인프라를 의미한다.<sup>[1]</sup> 인터넷에 연결되는 사물의 수는 매년 증가하고 있으며, 이와 관련된 시장의 규모도 매년 급속도로 커지고 있다. 2016년에는 인터넷에 연결되는 사물의 수가 2015년 보다 30% 증가한 64억 개일 것으로 예상되며, 2020년에는 208억 개에 달할 정도로 급성장 할 것으로 예상된다. IoT와 관련된 시장의 규모도 2020년에는 약 3천억 달러가 될 것으로 기대하고 있다.<sup>[2]</sup>

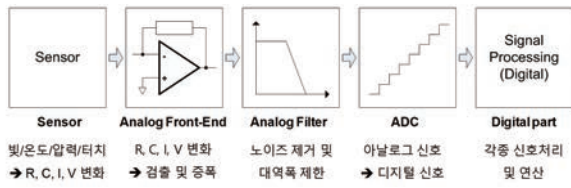
IoT 기술은 디바이스, 네트워크, 플랫폼, 분석/소셜 비즈니스, 응용 산업 서비스로 구분된다.<sup>[3]</sup> IoT 디바이스의 핵심 기술은 지능화된 첨단 스마트 센서를 이용하여 상황인식을 할 수 있는 지능화된 사물을 구현하는 것이다. IoT 디바이스는 전기 플러그를 이용한 안정된 전원을 사용하는 경우보다 일반 배터리를 이용하거나, 에너지 하베스팅으로 전원을 공급하는 경우가 많기 때문에, 전력소모가 매우 작아야 한다. 본 고에서는 IoT 디바이스의 입력 장치인 스마트 센서의 구현방법과 스마트 센서의 전력 소모를 줄일 수 있는 솔루션에 대해 소개한다.

## II. IoT 용 스마트 센서

스마트 센서는 IoT 디바이스의 입력장치로서 빛, 온도, 압력, 터치 등의 입력을 검출하는 역할을 한다. 스마트 센서는 <그림 1>과 같이 구성되어 있다. 센서부에서 빛, 온도, 압력, 터치 등의 입력에 따라 발생된 저항(R), 정전용량(C), 전류(I), 전압(V) 등의 전기적 신호의 변화는 각



송봉섭  
(주)세미센스



〈그림 1〉 스마트 센서의 구성도

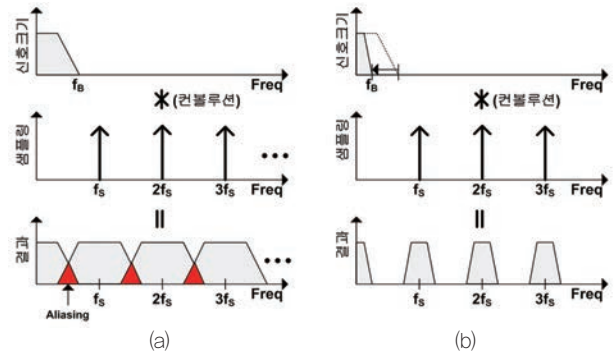
중 아날로그 회로와 디지털 회로, 소프트웨어 알고리즘을 통해 상황인식이 가능한 정보로 가공된다.

상황인식을 하기 위해서 센서부(sensor)는 빛, 온도, 압력, 터치 등의 변화가 저항(R), 정전용량(C), 전류(I), 전압(V)의 전기적 신호로 변하는 성질을 갖는 물질로 구성된다. 예컨대, 스트레인 게이지는 온도와 압력에 따라 저항이 변하게 되고, 전도성 전극은 도전성 물체의 터치 입력에 따라 정전용량이 변하는 성질을 갖게 되며, 반도체는 빛의 세기에 따라 전자의 발생량이 변하는 특성을 갖는다. 이러한 물질들의 특성을 이용하여 온도 센서, 압력 센서, 터치 센서, 이미지 센서 등이 구현된다.

센서부에서 발생한 전기적 신호는 아날로그 프론트-엔드(Analog Front-End, AFE)라고 표현된 아날로그 회로의 구성에 따라 신호처리에 적합한 신호의 종류(대개는 전압)과 크기로 증폭된다.

적절한 크기로 증폭된 아날로그 신호는 노이즈 제거 및 대역폭(bandwidth) 제한을 위해 아날로그 신호처리 과정을 거쳐야 한다. 아날로그 필터(analog filter)는 원하는 주파수를 제외한 다른 주파수 성분들을 감쇄시키는 역할을 한다. 센서부에 의해 발생한 전기적 신호의 주파수 대역을 제외한 나머지 주파수 성분들을 제거함으로써 노이즈 성분을 제거하면, 센서의 감도 성능이 향상된다.

아날로그 저역통과필터(low pass filter)는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변경하기 전에 원 신호의 대역폭을 제한함으로써 에일리어싱(aliasing)에 의한 신호의 왜곡을 방지한다. 아날로그 신호는 디지털 신호로 변환되기 위해 샘플링의 과정을 거쳐야 하는데, 아날로그 신호의 대역폭( $f_B$ )이 샘플링 주파수( $f_s$ )의 1/2보다 작지 않으면



〈그림 2〉 샘플링에 의한 에일리어싱: (a) 에일리어싱 발생, (b) 대역폭 제한 후 에일리어싱 제거

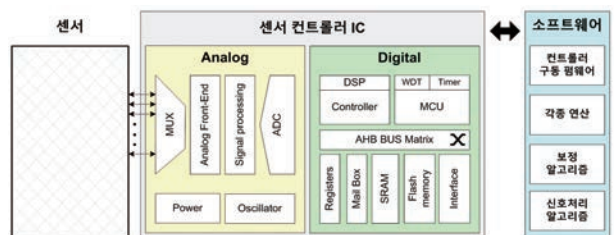
〈그림 2(a)〉와 같이 에일리어싱이 발생한다. 에일리어싱이 발생하면, 원래의 신호가 왜곡되어 센서의 감도 성능이 저하된다. 따라서, 아날로그 필터는 〈그림 2(b)〉와 같이 샘플링 전에 아날로그 신호의 대역폭을 제한함으로써 에일리어싱을 방지하는 역할도 한다.

아날로그 필터로 노이즈가 제거되고, 대역폭이 제한된 아날로그 신호는 아날로그-디지털 변환기(analog to digital converter, ADC)에 의해 디지털 신호로 변환된다. 디지털 신호로 변환된 신호는 각종 알고리즘으로 여러 가지 연산과 분석, 신호처리를 통해 스마트 센서의 최종 정보로 가공된다.

**스마트 센서는 IoT 디바이스의 입력장치로서 빛, 온도, 압력, 터치 등의 입력을 검출하는 역할을 한다.**  
**컨트롤러 IC의 전력 소모는 크게 정적 전류(static current), 동적 전류(dynamic current), 누설 전류(leakage current)로 분류된다.**

### III. 스마트 센서의 전류소모

스마트 센서의 최종 제품은 〈그림 3〉과 같이 구현된다. 센서의 목적에 따라 입력을 감지할 수 있는 센서부를 구성하고, 센서 컨트롤러 IC를 이용하여 센서부 출력인 전



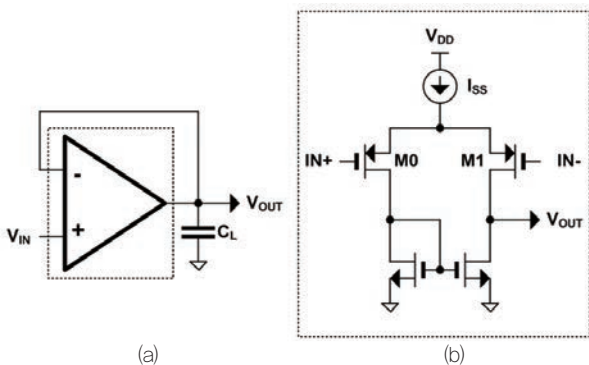
〈그림 3〉 스마트 센서의 구현

기적 신호를 검출한다. 스마트 센서의 전력은 컨트롤러 IC에서 모두 소모하므로, 저전력 스마트 센서의 핵심은 저전력 컨트롤러 IC 기술이다.

컨트롤러 IC의 전력 소모는 크게 정적 전류(static current), 동적 전류(dynamic current), 누설 전류(leakage current)로 분류된다. 정적 전류는 항상 일정하게 흐르는 전류로서 아날로그 증폭기에서 사용되는 전류이고, 동적 전류는 디지털 로직에서 소모되는 전류이며, 누설 전류는 트랜지스터가 OFF되어 있는 상태에서 흐르는 전류로서 대부분이 디지털 로직과 메모리에서 발생한다.

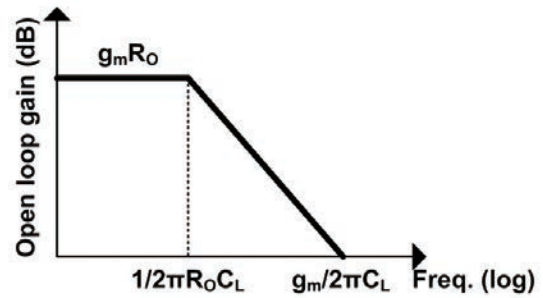
### 1. 정적 전류(static current)

아날로그 증폭기에서의 전류 소모는 1)회로의 대역폭과 2)노이즈 성능에 의해 결정된다. <그림 4>와 같은 간단한 형태의 단위-이득 증폭기(unity-gain amplifier)의 예를 통해 아날로그 증폭기의 전류 소모와 대역폭의 관계를 알아보기로 한다. <그림 4(a)>의 단위-이득 증폭기는 <그림 4(b)>와 같은 차동 증폭기(differential amplifier)의 출력 전압( $V_{OUT}$ )을 (-)입력에 연결하는 부궤환(negative feedback)을 구성하는 것으로 구현된다. 단위 이득 증폭기는 차동 증폭기의 이득(gain)이 1보다 큰 주파수에서만 정상동작할 수 있고, 이것이 동작 가능한 대역폭이 된다. <그림 4(b)>의 차동 증폭기에서 M0와 M1의 소신호 트랜스컨덕턴스(small signal



<그림 4> (a) 단위-이득 증폭기와 (b) 차동 증폭기

**아날로그 증폭기에서 필요로 하는 정적 전류 소모는 1)대역폭과 2)노이즈 성능에 의해서 결정된다.**



<그림 5> 증폭기의 주파수 응답 곡선

transconductance)를  $g_m$ 이라 하고, 등가 출력 저항(equivalent output resistance)를  $R_o$ , 부하 정전용량(load capacitance)를  $C_L$ 이라고 하면, 차동 증폭기의 이득( $A_{open}(j\omega)$ )은 (1)과 같다.

$$A_{open}(j\omega) = \frac{g_m R_o}{1 + j\omega R_o C_L} \quad (1)$$

(1)에 따라 주파수에 대한 차동 증폭기의 이득은 <그림

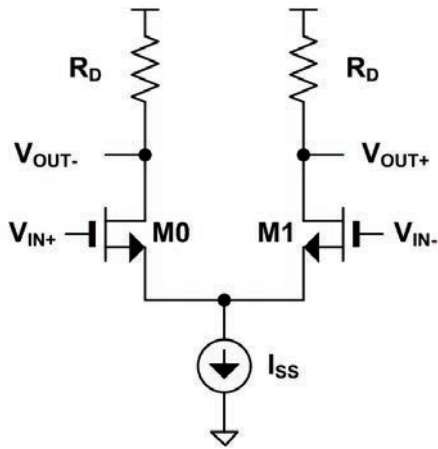
5>의 주파수 응답 곡선과 같이 근사화 된다.  $C_L$ 은 부하 정전용량으로서 이미 정해져 있는 값이므로, <그림 4(a)>의 단위-이득 증폭기 대역폭은 <그림 4(b)> 차동 증폭기의  $g_m$ 에

의해 결정되며,  $g_m$ 은 다음의 식과 같이 차동 증폭기의 전류( $I_{SS}$ )에 의해 결정된다.<sup>[4]</sup>

$$g_m = \sqrt{2\mu C_{OX}(W/L)I_D} \quad (2)$$

$\mu$ 는 트랜지스터의 모빌리티(mobility)이고,  $C_{OX}$ 는 M0와 M1의 게이트에 형성되는 정전용량으로서 트랜지스터의 특성파라미터이다.  $W$ 와  $L$ 은 각각 M0와 M1의 채널 폭과 길이이며,  $I_D$ 는 M0과 M1의 드레인에 흐르는 전류로서  $I_{SS}/2$ 와 같다. 아날로그 증폭기에서 필요로 하는 정적 전류소모는 대역폭에 의해 결정된다.

아날로그 증폭기에서 필요로 하는 정적 전류 소모는 노이즈 성능에 의해서도 결정된다.  $R_D$ 의 부하 저항을 갖는 <그림 6>과 같은 차동 증폭기의 출력 전압( $V_{OUT}$ )은 (3)과 같고, M0와 M1의 채널에서 발생하는 열 잡음(thermal noise)에 의한 출력 노이즈 전력( $\overline{V_{n,OUT}^2}$ )은 (4)와 같다.<sup>[4]</sup> (4)의  $k$ 는 볼츠만 상수( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K),  $T$ 는 절대



〈그림 6〉 차동 증폭기

온도,  $\gamma$ 는 트랜지스터의 특성 계수다.

$$V_{OUT} = g_m R_D V_{IN} \quad (3)$$

$$\overline{V_{n,OUT}^2} = 4kT\gamma g_m R_D^2 \quad (4)$$

(3)에서 출력 전압( $V_{OUT}$ )은  $g_m$ 에 비례하므로, 출력 전력은  $g_m$ 의 제곱에 비례하는 반면, 노이즈 전력은  $g_m$ 에 비례한다. 즉, 차동 증폭기의 전류( $I_{SS}$ )가 증가할수록( $g_m$ 이 증가할수록), 노이즈 대비 원하는 신호의 크기가 커져서, 신호대잡음비(signal to noise ratio, SNR) 성능이 향상된다. 요컨대, 아날로그 증폭기에서 필요로 하는 정적 전류 소모는 1)대역폭과 2)노이즈 성능에 의해서 결정된다.

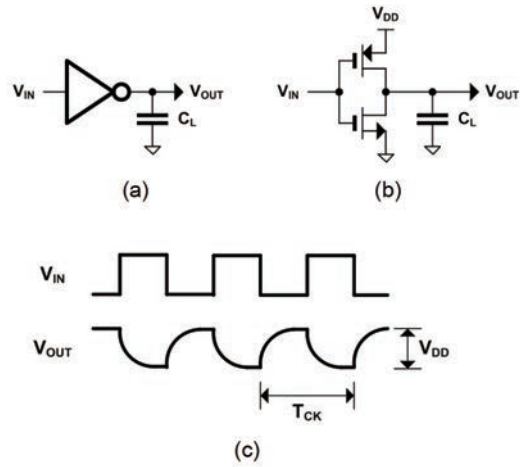
## 2. 동적 전류(dynamic current)

CMOS 디지털 로직 회로에서 소모되는 동적 전류는 로직의 출력이 0에서 1로 변할 때, 출력 전압을 해

당 전압 레벨( $V_{DD}$ )로 상승시키기 위해 부하 정전용량(〈그림 7〉의  $C_L$ )에 전하를 충전하는 것으로 소모된다. 〈그림 7〉과 같은 인버터의 예에서, 입력( $V_{IN}$ )이 1에서 0으로 변할 때마다 출력 전압( $V_{OUT}$ )은 0에서 전원전압( $V_{DD}$ )로 상승한다. 0에서  $V_{DD}$ 로 상승시키기 위해 필요한 전하량( $Q$ )은 다음과 같다.

$$Q = C_L V_{DD} \quad (5)$$

디지털 로직에서 가장 높은 주파수 신호인 클럭의 주기



〈그림 7〉 인버터의 (a) 심볼, (b) CMOS 레벨 회로, (c) 입출력 신호

를  $T_{CK}$ 라 하면, 디지털 로직은 최소한  $T_{CK}$ 에 한 번 씩  $C_L \times V_{DD}$ 만큼의 전하를 공급해야 하므로, 평균적인 전류 소모( $I_{AVG}$ )는 다음과 같다.

$$I_{AVG} = C_L V_{DD} / T_{CK} = C_L V_{DD} f_{CK} \quad (6)$$

CMOS 디지털 로직에서 소모되는 동적 전류는 부하 정전용량과 전원전압, 그리고 클럭 스피드에 의해 결정된다.

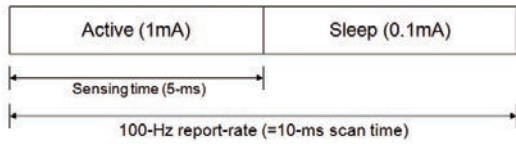
## 3. 누설 전류(leakage current)

누설 전류는 트랜지스터가 OFF되어 있음에도 불구하고 흐르는 전류로서 대개 트랜지스터의 특성에 의해 결정되며, 디지털 로직의 수가 많을수록 높다. 특히, 매우 집적도가 높은 메모리(SRAM, DRAM, eFlash, EEPROM 등) 블록에서의 누설 전류가 높다. 누설 전류는 트

랜지스터의 문턱전압(threshold voltage,  $V_T$ )이 높을수록 감소시킬 수 있으나, 트랜지스터의 특성은 제조 공정(fabrication)에 의해 결정되는 것이고, SoC에서 사용하는 메모리는 대개 이미 개발되어 있는 IP를 도입하기 때문에, 설계 시에 고려할 수 있는 대상이 아니다.

## IV. 스마트 센서의 저전력 솔루션

스마트 센서의 전력 소모를 감소시키기 위해서 매우



〈그림 8〉 100Hz 리포트-레이트가 필요한 센서의 동작 시나리오 예시

적은 전류를 소모하는 회로의 개발이 중요하지만, 센서의 저전력 동작 시나리오를 개발하는 것도 매우 중요하다. 수백 MHz나 수 GHz 대역이 필요한 데이터를 주고받는 시스템의 경우, 모든 회로들이 매우 빠른 속도로 동작을 하지만, 센서의 경우는 그렇지 않다. 센서에서 검출 결과를 알려주어야 하는 주기를 리포트-레이트(report-rate)이라고 하는데, 목적에 따라 다르지만 일반적으로 요구되는 리포트-레이트는 수 ~ 수 백 Hz 수준이다. 필요한 리포트-레이트를 고려하여, 실제 센서가 동작해야 하는 시간만 전원을 공급하고, 나머지 시간에는 전원을 차단시키는 방법을 사용하면, 실제 소모되는 전력이 크게 감소된다.

**스마트 센서의 저전력 솔루션은**  
**1)빠른 검출 속도, 2)저전력 슬립-모드 (sleep mode) 솔루션, 3)저전력 아날로그 및 디지털 회로를 확보하는 것이다.**

예컨대, 〈그림 8〉과 같이 아날로그 및 디지털 회로의 동작 전류가 1mA이고, 5ms만에 검출할 수 있는 속도를 갖는 센서 시스템을 100Hz의 리포트-레이트로 구동한다고 할 때, 평균 전류 소모는 다음과 같다.

$$I_{AVG} = 1mA \times \frac{5}{10} + 0.1mA \times \frac{5}{10} = 0.55mA \quad (7)$$

센서 회로의 동작 전류는 1mA지만, 리포트-레이트에 따라 실제 소모되는 전류는 감소된다.

따라서, 스마트 센서의 저전력 솔루션은 1)빠른 검출 속도, 2)저전력 슬립-모드(sleep mode) 솔루션, 3)저전력 아날로그 및 디지털 회로를 확보하는 것이다.

### 1. 빠른 검출 속도(fast sensing time)

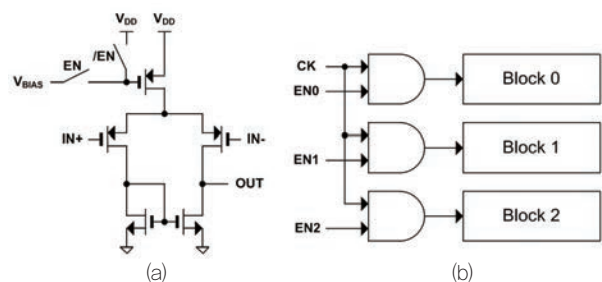
스마트 센서는 목적에 따라 필요한 리포트-레이트가 정해져 있다. 따라서, 빠른 속도로 상황인식(센싱)을 할 수 있으면, 그만큼 쉬는 시간이 길어지기 때문에 전력 소모를 감소시킬 수 있다. 스마트 센서의 검출 속도는 센서 부에서 출력되는 전기적 신호의 대역폭과 연산 속도에 의

해 결정된다. 아날로그 회로의 대역폭과 아날로그-디지털 변환기(ADC)의 샘플링-레이트(sampling-rate)는 센서부에서 출력된 전기적 신호의 대역폭에 따라 결정되고, 연산 속도는 프로세서의 성능과 연산 알고리즘에 따라 결정된다. 스마트 센서의 전력 소모를 감소시키기 위해서는 센서부의 전기적 신호 변화를 빠른 속도로 검출할 수 있는 아키텍처(architecture)와 효율적으로 연산할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요하다.

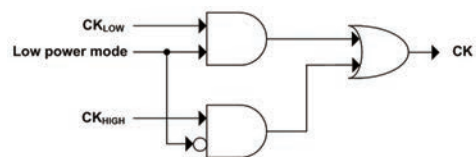
### 2. 저전력 슬립-모드 솔루션

센싱 동작을 하지 않는 슬립-모드에서는 슬립-모드에서 일반 동작 모드로 전환시키기 위한 최소한의 동작만 필요하기 때문에, 컨트롤러 IC는 전원 공급 회로와 클럭 발생기 정도의 아날로그 회로와 모드 전환을 위한 최소한의 디지털 로직만 사용한다. 따라서, 슬립-모드의 전력 소모를 감소시키기 위해서는 1)슬립-모드에서 사용하지 않는 회로들에 공급되는 전류를 차단해야 하고, 2)디지털 로직에 사용되는 클럭 주파수를 낮춰야 한다.

슬립모드에서 사용하지 않는 회로의 전류 공급을 차단하는 방법의 간단한 예를 〈그림 9〉에 도식화하였다. 아날로그 회로의 경우는 〈그림 9(a)〉와 같이 전류를 공급하는



〈그림 9〉 전류 공급 차단의 예 : (a) 아날로그 회로, (b) 디지털 회로



〈그림 10〉 클럭 주파수 변경 시

트랜지스터를 OFF시킴으로써 전류를 차단한다. EN을 0으로 하면 전원으로부터 전류가 공급되는 길이 폐쇄되어 누설 전류 외 어떠한 전류도 소모되지 않는다. 디지털 회로의 경우는 <그림 9(b)>와 같이 사용하지 않는 부분에 공급되는 클럭을 차단하여 전류 소모를 막는다. EN0, EN1, EN2에 따라 해당 블록에 클럭 공급이 차단되면, 해당 블록의 로직 게이트 출력 전압이 변하지 않아서 전류를 소모하지 않는다.(6)

슬립-모드에서는 어떠한 연산도 수행하지 않기 때문에 빠른 속도의 클럭이 필요하지 않다. 디지털 로직의 전류 소모는 클럭의 주파수에 비례하기 때문에(6), 슬립-모드에서 낮은 주파수의 클럭을 사용함으로써 전류 소모를 줄일 수 있다. 클럭 주파수는 <그림 10>과 같은 방법으로 간단하게 변경할 수 있다.

### 3. 저전력 아날로그 및 디지털 회로

스마트 센서의 전력 소모를 줄이기 위해서는 센서의 검출 속도를 향상시키고, 슬립-모드에서의 전류 공급을 차단해야 한다. 이와 함께, 센싱 동작 중에 반드시 동작해야 하는 아날로그 및 디지털 회로의 전력 소모를 줄이는 것이 매우 중요하다.

아날로그 회로의 전력 소모는 III.1에서 살펴본 것과 같이 회로의 대역폭과 노이즈 특성에 의해 결정된다. 아날로그 회로의 대역폭은 아날로그 증폭기의 소신호 트랜스컨덕턴스  $g_m$ 에 비례하고,  $g_m$ 은 (2)와 같이 트랜지스터에 공급되는 전류의 제곱에 비례한다. 따라서, 아날로그 회로의 대역폭을 2배 높이기 위해서는 4배의 전류를 사용해야 한다. 아날로그 회로에서 필요 이상의 전류를 소모하지 않기 위해서는 아키텍처 개발 단계에서 각 회로마다 필요한 대역폭과 신호대잡음비가 명확히 설정되어야 한다.

디지털 회로의 전력 소모는 로직의 개수에 비례하므로, 디지털 회로의 전력 소모를 감소시키기 위해서는 가능한 적은 수의 로직으로 기능을 구현할 수 있는 최적화 기술

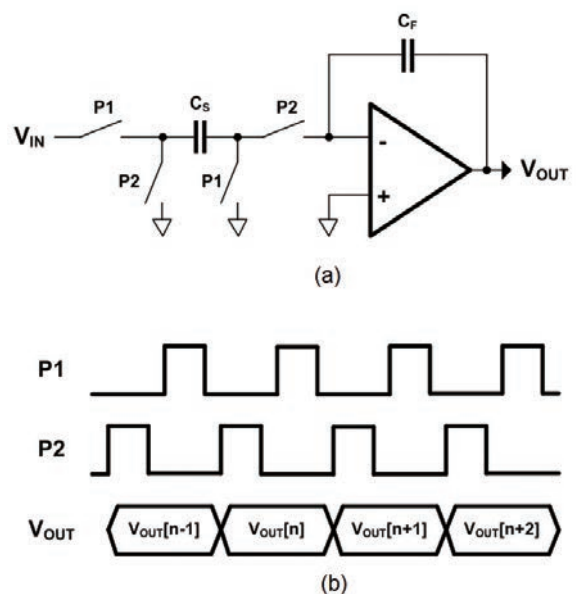
이 필요하다.

아날로그 회로는 각 회로들의 개발 목표를 명확히 설정하고, 반드시 필요한 전류만 사용할 수 있도록 최적화하는 것이 중요하다. 이와 함께, 증폭기를 공유하거나, 클럭의 한 주기 동안 두 번 샘플링하는 방법 등을 사용하면, 아날로그 회로의 전력 소모를 더욱 감소시킬 수 있다. 아날로그 회로는 각 회로들의 개발 목표를 명확히 설정하고, 반드시 필요한 전류만 사용할 수 있도록 최적화하는

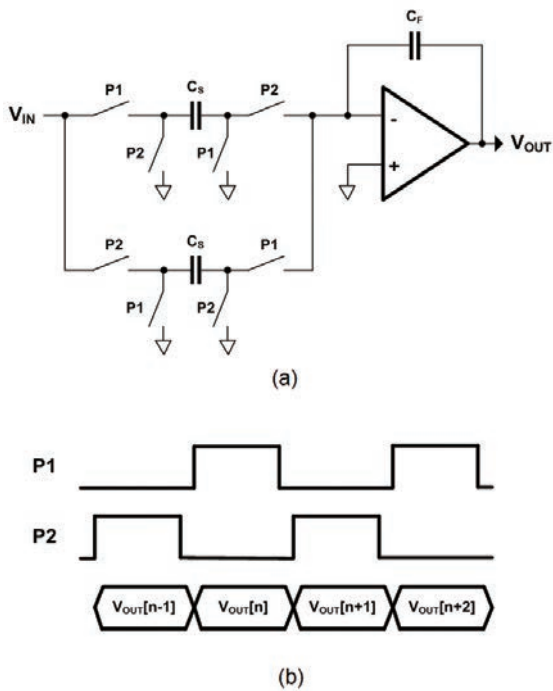
것이 중요하다. 이와 함께, 증폭기를 공유하거나, 클럭의 한 주기 동안 두 번 샘플링하는 방법 등을 사용하면, 아날로그 회로의 전력 소모를 더욱 감소시킬 수 있다

<그림 11>은 일반적으로 사용되는 스위치 캐패시터 회로로 구현한

적분기다. P1과 P2는 서로 겹치지 않는 클럭으로서, P1이 1인 구간동안  $V_{IN}$ 은  $C_S$ 에 샘플링 되고, P2가 1인 구간동안  $C_S$ 에 충전된 전하는  $C_F$ 에 누적된다. P1과 P2의 주기가  $1\mu s$ 라고 하면,  $C_S$ 에  $V_{IN}$ 이 샘플링 완료 되어야 하는 시간과 증폭기의 안정화 시간(settling-time)은 각각 최소한  $0.5\mu s$  보다 빨라야 한다. 즉,  $1MS/s$ 의 동작 속도를 갖는 스위치 캐패시터 적분기의 대역폭은 최소한  $0.5\mu s$



<그림 11> 스위치 캐패시터 적분기: (a) 회로도, (b) 타이밍 다이어그램



〈그림 12〉 더블 샘플링 기법이 적용된 적분기: (a) 회로도, (b) 타이밍 다이어그램

안에 증폭기의 동작이 완료될 수 있는 속도로 결정된다.

〈그림 12〉는 전력 소모를 감소시킨 더블 샘플링 기법이 적용된 스위치 캐패시터 적분기다.<sup>[5]</sup> 〈그림 11〉의 경우, P2가 0인 구간(P1이 1인 구간)동안에는 증폭기가 어떠한 동작도 하지 않는다. 더블 샘플링 기법은 P1이 1인 구간과 P2가 1인 구간 모두 샘플링을 하고, 증폭기를 동작시킴으로써, 샘플링 네트워크나 증폭기가 필요로 하는 대역폭을 1/2로 감소시키는 기술이다. P1이 1인 구간동안  $V_{IN}$ 은 위쪽  $C_S$ 에 샘플링 되고, 아래쪽  $C_S$ 에 충전된 전하는  $C_F$ 에 누적된다. P2가 1인 구간동안  $V_{IN}$ 은 아래쪽  $C_S$ 에 샘플링 되고, 위쪽  $C_S$ 에 충전된 전하는  $C_F$ 에 누적된다. 따라서, 더블 샘플링 기법을 사용하면, P1과 P2의 주기가  $2\mu s$ 라도  $1MS/s$ 의 동작 속도를 확보할 수 있다. 더블 샘플링 기법은 〈그림 11〉의 경우 대비 증폭기의 속도를 1/2로 감소시킬 수 있기 때문에 증폭기에서 필요한 전류 소모를 약 1/4배까지 감소시킬 수 있다.

## V. 결론

스마트 센서는 빛, 온도, 압력, 터치 등의 입력을 검출하는 역할을 하는 입력 장치로서, 상황인식을 하기 위해 IoT 디바이스에 반드시 필요한 부품이다. 스마트 센서는 IoT 디바이스에 적용되는 특성 상 저전력 특성이 매우 중요하다. 스마트 센서의 전력 소모는 아날로그 회로의 대역폭과 관계된 정적 전류와 디지털 로직의 크기 및 클럭 속도와 관계된 동적 전류, 그리고, 누설 전류로 분류된다.

스마트 센서의 전력 소모를 감소시키기 위해서는 주어진 리포트-레이트에 대해 슬립-모드 시간을 길게 갖기 위해 센서의 검출 속도가 빨라야하고, 슬립-모드에서 불필요한 회로에 효과적으로 전류를 차단해야 하며, 저전력의 아날로그 회로 및 디지털 회로 기술이 적용되어야 한다.

## 감사의 글

본고는 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업(10048666, 대기모드에서 터치 제스처를 인식할 수 있는 UI/UX기술이 적용된 모바일 기기용  $100\mu A$ 이하의 초저전력 터치스크린 센서 시스템 개발)의 지원으로 수행된 연구 결과를 활용하였습니다.

## 참고 문헌

- [1] Overview of the Internet of things, ITU-T, 2012.06
- [2] Analysts to Explore the Value and Impact of IoT on Business at Gartner, Gartner, Inc., 2015.11
- [3] 전종암 외 5명, "IoT 디바이스 제품 및 기술 동향", 한국통신학회지, 제31권, 제4호, pp.44-52, 2014.03.
- [4] B. Razavi, Design of Analog CMOS Integrated Circuits, McGraw-Hill, Inc., NY, 2001.
- [5] M. G. Kim, et. al, "A 0.9 V 92 dB Double-Sampled Switched-RC Delta-Sigma Audio ADC," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 43, no. 5, pp. 119-206, May 2008.



송봉섭

- 2004년 2월 서강대학교 공학사 (전자공학)
- 2006년 2월 서강대학교 공학석사 (전자공학)
- 2012년 12월 서강대학교 공학박사 (전자공학)
- 2006년 2월~2008년 7월 삼성전자(주) 선임연구원
- 2012년 5월~현재 (주)세미센스 수석연구원

〈관심분야〉

CMOS 아날로그 회로, 혼성신호 회로, 센서 회로, 고속 회로