

논문 2011-48SD-5-6

## 24 채널 정전 용량형 터치 검출 ASIC의 구현

(Implementation of 24-Channel Capacitive Touch Sensing ASIC)

이 경 재\*, 한 표 영\*\*, 이 현 석\*\*, 배 진 웅\*\*\*, 김 응 수\*\*\*, 남 철\*\*\*\*

(Kyoungjae Lee, Pyoyoung Han, Hyunseok Lee, Jinwoong Bae, Eungsoo Kim, and Chul Nam)

### 요 약

본 논문은 24 채널 정전 용량형 터치 검출 ASIC에 대한 것이다. 제안된 회로는 아날로그 회로부와 디지털 회로부로 구성되어 있다. 아날로그 회로부는 사용자의 접촉을 전기적인 신호로 변환시키며 디지털 회로부는 전기적인 신호의 변화를 디지털 데이터로 변환시키는 역할을 담당한다. 디지털 회로는 I2C가 내장되어 시스템 동작 계수들을 호스트 프로세서에서 변경해 줄 수 있도록 설계되었다. 따라서 온도 변화 등 외부환경 변화에도 안정적으로 동작할 수 있다. 본 ASIC은 0.18um CMOS 공정으로 구현되었으며 그 크기는 약 3 mm<sup>2</sup> 이고 소비전력은 5.3 mW이다. 설계에는 Cadence사와 Synopsys사의 상용 개발환경이 사용되었다.

### Abstract

This paper presents a 24 channel capacitive touch sensing ASIC. This ASIC consists of analog circuit part and digital circuit part. Analog circuits convert user screen touch into electrical signal and digital circuits represent this signal change as digital data. Digital circuit also has an I2C interface for operation parameter reconfiguration from host machine. This interface guarantees the stable operation of the ASIC even against wide operation condition change. This chip is implemented with 0.18 um CMOS process. Its area is about 3 mm<sup>2</sup> and power consumption is 5.3mW. A number of EDA tools from Cadence and Synopsys are used for chip design.

**Keywords :** 터치 센싱, 정전용량 센서, ASIC, SoC. (Touch Sensor, Capacitive sensor, ASIC, SoC)

### I. 서 론

터치 입력방식은 직관적 입력이 가능하고 화면위에 직접 장착되므로 모바일 기기의 입력 장치로서 널리 쓰이고 있다. 터치 검출 장치의 구현 방식은 크게 저항막 방식과 정전용량 방식으로 나눌 수 있는데 그 중 정전용량 방식은 저항막 방식에 비해 내구성이 높고 멀티

터치를 검출할 수 있기 때문에 새롭게 각광받고 있다. 정전용량형 터치 센서는 사용자의 조작에 의해 터치스크린에 생기는 정전용량 변화를 전기적 신호로 변환하고 이를 최종적으로 디지털 값으로 변환하여 결과를 표현한다.

정전용량형 터치 검출기의 구현 방식은 출력 값의 종류에 따라 C-V 변환 (capacitance to voltage conversion) 방식과 C-T 변환 (capacitance to time conversion) 방식으로 나눌 수 있다<sup>[1~2]</sup>. 본 논문에서 다루는 터치 검출 회로는 C-T 변환 방식에 기반을 두고 있다. C-T 변환 방식 회로는 간단한 회로 구조와 안정적인 동작이 장점이다.

본 논문에서는 C-T 변환 방식의 회로에서 각 구성 요소들이 터치 검출 감도와 어떤 상관관계를 갖는지 분석하였다. 이와 같은 분석을 바탕으로 구현 가능한 범

\* 학생회원, \*\* 정회원, 광운대학교 전자통신공학과  
(Department of Electronics and Communications Engineering, Kwangwoon University)

\*\*\* 학생회원, 항공대학교 정보통신공학과  
(Department of Information and Telecommunication Engineering, Korea Aerospace University)

\*\*\*\* 정회원, 건국대학교 전자정보통신공학과  
(Department of Electronics Engineering, Konkuk University)

접수일자: 2011년3월22일, 수정완료일: 2011년4월26일

위 내에서 검출 감도가 극대화 되도록 회로를 설계하였다. 이 회로는 터치스크린에 생긴 2pF 이상의 정전용량 변화를 안정적으로 검출할 수 있다.

설계된 회로는 0.18um CMOS 공정으로 구현되었으며 디지털 회로는 1.8V 아날로그 회로는 3.3V 전원을 사용한다. 구현된 회로의 3 mm<sup>2</sup>의 면적을 가지며 그 소비 전력은 5.3mW이다.

## II. 터치 검출 시스템

### 1. 터치 검출 시스템

터치 검출 시스템은 그림 1에서 보인 것과 같이 터치스크린과 (touch screen), 터치 검출 회로(touch sensing circuit), 호스트 프로세서(host processor)로 구성된다. 터치스크린은 투명한 전도성 물질을 스크린위에 입힌 것으로 사용자의 조작에 따라 기생하는 정전용량의 값이 변한다. 터치 검출 회로는 사용자의 터치에 의해 발생하는 터치스크린의 정전용량 변화를 디지털 데이터 형태로 만들어 호스트 프로세서에 전달한다. 호스트 프로세서는 터치 검출 회로가 생성한 데이터를 처리하여 터치 여부를 최종적으로 판단한다. 호스트 프로세서와 터치검출 회로 사이에는 전송되는 데이터의 양이 많지 않으므로 구조가 간단한 직렬통신 규격이 사용된다. 본 논문은 그림 1의 시스템에서 터치 검출 회로의 구조와 구현 방안에 대한 것이다.

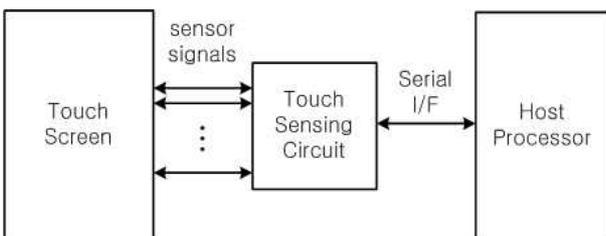


그림 1. 터치 검출 시스템의 구조  
Fig. 1. Touch sensing system architecture.

### 2. 터치 검출 회로의 구조와 역할

그림 2에서 보인 것과 같이 설계된 터치 검출 회로는 아날로그 회로부와 디지털 회로부로 구성된다. 아날로그 회로부는 RC 충전/방전 회로 (RC charging /discharging circuit), 기준전압 생성기 (reference voltage generator) 그리고 비교기(comp)로 구성된다. RC 충전/방전 회로는 터치스크린의 정전용량 변화를 RC 회로 충전/방전 시간의 변화로 나타나게 한다. 기준 전압

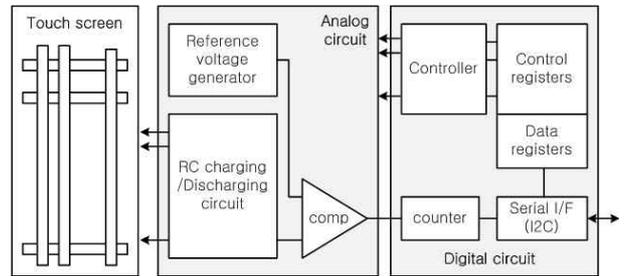


그림 2. 간략화된 터치 검출 회로의 구조도  
Fig. 2. Simplified block diagram of touch sensing circuit.

생성기는 전압비교의 기준을 안정적으로 제공한다. 비교기는 기준전압과 RC 충전/방전 회로 출력을 서로 비교하여 디지털 회로의 입력으로 제공한다.

디지털 회로부는 아날로그 회로의 동작을 제어하는 제어 레지스터(control registers), 호스트 컴퓨터와 통신에 필요한 직렬통신기(serial I/F), 비교기의 출력이 논리값 '1'이 되는 구간의 시간을 측정하는 계수기(counter)로 구성된다.

이 회로에서 i) 사용자가 터치스크린에 접촉하면 그 결과로 터치스크린에 기생하는 정전용량이 증가된다. ii) 이로 인해 RC 충전회로의 방전 시간이 길어진다. iii) 길어진 방전 시간으로 인해 RC 회로의 출력이 비교기의 기준 전압보다 높은 시간이 길어지며 따라서 비교기 출력이 논리값 '1'이 되는 시간이 길어진다. iv) 길어진 시간만큼 계수기가 더 높은 값을 가지게 되고 이 차이를 터치되지 않은 경우의 값과 비교하여 터치 여부가 판별된다.

## III. 아날로그 회로부

### 1. 구조 및 동작원리

그림 3(a)는 RC 충전/방전 회로를 간략화한 것이다. 이 회로에서  $C_{ext}$ 는 터치스크린에 기생하는 정전용량의 등가 값이다.  $C_{ext}$ 는 터치스크린에 사용자가 손을 대면 그 값이 증가한다.  $C_{int}$ 는 사용자 접촉에 의한  $C_{ext}$ 의 변화량을 측정하는 기준이 되는 내부 축전기이다. 4개의 스위치들은  $C_{ext}$ 와  $C_{int}$ 를 충전/방전하는데 사용되며 디지털 회로에 의해 그 동작 시간과 상태가 제어된다.  $SW_{charge}$ 는  $C_{ext}$ 를 충전시키는데 사용되는 스위치이다.  $SW_{share}$ 는  $C_{ext}$ 에 저장된 전하를 내부 축전기인  $C_{int}$ 로 전달되도록 한다.  $SW_{discharge}$ 와  $SW_{Rdischarge}$ 는  $C_{int}$ 에 저장된 전하를 방전시키는데 사용된다.  $SW_{Rdischarge}$ 가 먼저 닫혀 RC지연에 의한 방전이 이루어지도록 한다.

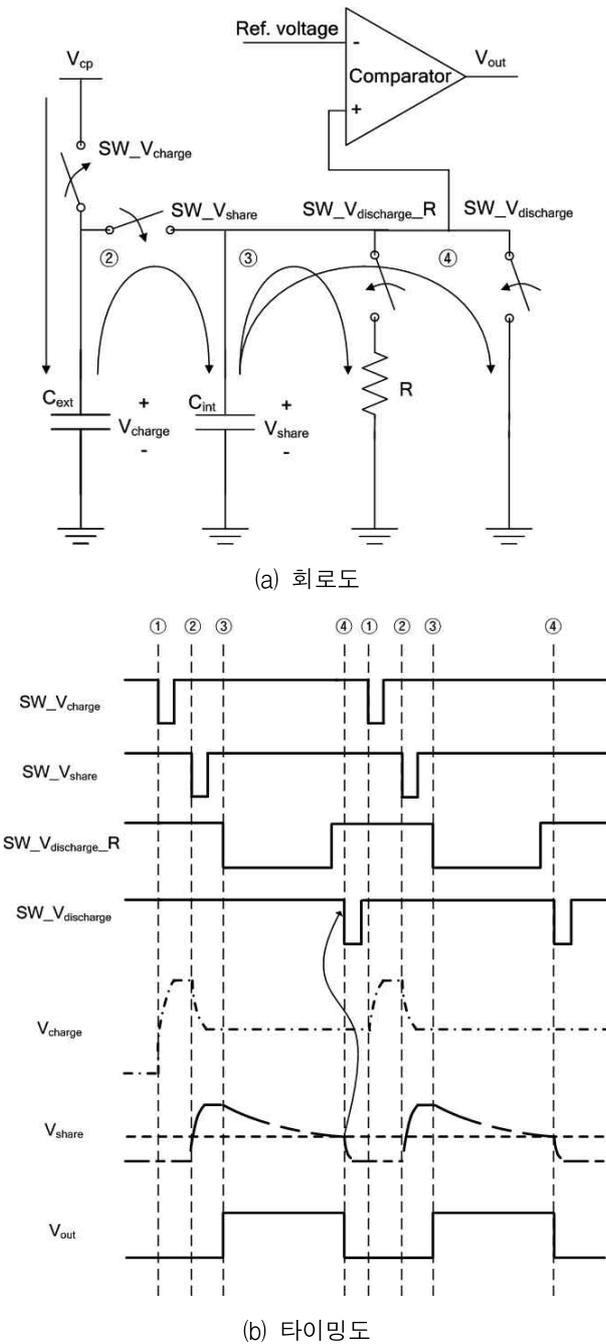


그림 3. RC 충전/방전 회로와 그 동작 타이밍도  
 Fig. 3. RC charging/discharging circuit and its operation timing.

SW<sub>discharge</sub>는 디지털 회로부가 RC 방전 시간을 측정한 이후에 추가로 닫힌다. 이 스위치를 통해 R 값이 작은 방전 경로가 만들어져 C<sub>int</sub>에 남아있는 전하가 신속하게 방전되게 한다. 이를 통해 한 채널에 대한 처리 시간을 단축할 수 있다.

그림 3(b)의 타이밍도는 제어부인 디지털 회로부의 스위치 제어 신호의 인가 시간에 따른 정전 용량 검출

회로의 동작을 보여준다. 터치로 인한 C<sub>ext</sub>의 변화는 스위치들의 단속 (on/off) 동작 결과로 전압의 형태로 변환된다. ①의 시간에서 SW<sub>charge</sub>가 닫히면 C<sub>ext</sub>에 전하가 충전되어 V<sub>charge</sub> 값이 그림 3(a)에서 충전 장치의 출력 전압인 V<sub>cp</sub>가 된다. ②의 시간에 SW<sub>share</sub>가 닫히면 C<sub>ext</sub>에 충전되었던 전하가 C<sub>int</sub>로 옮겨지게 된다. C<sub>ext</sub>와 C<sub>int</sub>가 병렬로 연결되어 V<sub>share</sub>의 값이 V<sub>cp</sub>~0 사이에서 결정된다. ③의 시간에 SW<sub>Rdischarge</sub>가 닫히면 C<sub>int</sub>에 저장된 전하가 방전된다. 이 때 방전시간은 C<sub>int</sub>와 R 값을 시정수로 하여 결정된다. ④의 시간에 SW<sub>discharge</sub>가 닫히면 C<sub>int</sub>에 남은 전하는 빠르게 방전된다. 비교기는 기준전압(V<sub>ref</sub>)과 RC 충전/방전 회로의 출력전압 (V<sub>int</sub>)을 비교하여 RC 충전/방전 회로의 출력전압이 기준전압 보다 높으면 전원전압의 값을 출력하고 반대의 경우 논리값 '0'을 출력한다. 비교기는 차동증폭기를 이용해서 구현되었으며 이 차동증폭기 출력단에 연결되는 디지털 회로는 SW<sub>Rdischarge</sub>이 닫힌 시점부터 OP-AMP 출력값 (V<sub>out</sub>)이 기준전압보다 작아지는 시점 사이의 시간을 측정하여 호스트 프로세서에 전달한다.

2. 상세 분석 및 구조 설계

분석의 첫 단계로 그림 3(b)의 ① 시점에서 C<sub>ext</sub>에 저장되는 전하의 양을 살펴보자. 축전기가 저장하는 전하량은 Q=CV로 표현되므로 SW<sub>charge</sub>를 켜고 충분한 시간이 지나면 이 값은 식(1)과 같이 표현된다. 이 때 V<sub>charge</sub>는 C<sub>ext</sub>의 양단에서 측정되는 전압이다.

$$Q_{ext} = C_{ext} V_{charge} \tag{1}$$

그림 3(b)의 ② 시점에서 회로의 전압을 살펴보면 다음과 같다. 이 때 C<sub>ext</sub>와 C<sub>int</sub>가 병렬로 연결되어도 외부로부터 새로운 전하 공급이 없었으므로 Q<sub>ext</sub> 값은 그대로 유지된다. 여기서 C<sub>ext</sub>와 C<sub>int</sub>가 전하를 공유한 후 가

$$V_{share} = V_{charge} \frac{C_{ext}}{(C_{ext} + C_{int})} \tag{2}$$

지게 되는 전압을 V<sub>share</sub>라고 표현하면 식 (2)와 같다. 그림 3(b)의 ③시점에서 C<sub>int</sub>에 저장된 전하는 R을 통해 방전되기 시작한다. 방전시간은 C<sub>int</sub>R을 시정수로 하여 결정된다. 이 때 V<sub>share</sub>의 값이 시간에 따라 변하는 과정을 V<sub>share</sub>(t)로 표현하면 식(3)과 같다.

$$V_{share}(t) = V_{share} \cdot e^{-\frac{t}{RC_{int}}} \tag{3}$$

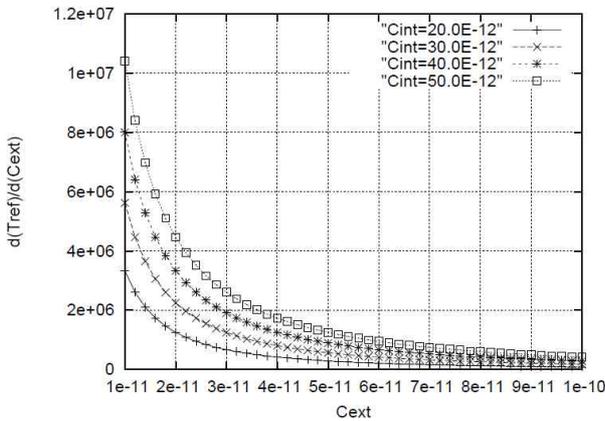


그림 4. 회로의 민감도와 주요 축전기 정전용량 (C<sub>ext</sub>, C<sub>int</sub>) 사이의 상관관계  
 Fig. 4. Relation between touch sensor sensitivity and major capacitors, C<sub>int</sub> and C<sub>ext</sub>

방전의 시작한 회로의 출력전압 V<sub>share</sub>(t)가 비교기의 기준 전압인 V<sub>ref</sub>와 만나는 시간을 T<sub>ref</sub>라고 하고 이 값을 식 (2), (3)을 이용하여 유도하면 다음의 식 (4)와 같이 표현된다.

$$T_{ref} = RC_{int} \cdot \ln \left\{ \frac{V_{charge}}{V_{ref}} \frac{C_{ext}}{(C_{ext} + C_{int})} \right\} \quad (4)$$

구현되는 터치 검출 회로는 C<sub>ext</sub>의 변화를 T<sub>ref</sub>의 변화로 나타나게 하는 장치이므로 C<sub>ext</sub>의 변화에 대한 T<sub>ref</sub>의 민감도(sensitivity)를 계산하면 그 결과는 다음의 식 (5)와 같다. 그림 4는 이를 그림으로 표현한 것이다.

$$\frac{\delta T_{ref}}{\delta C_{ext}} = R \cdot \frac{\alpha^2}{1 + \alpha}, \quad \text{where } \alpha = \frac{C_{int}}{C_{ext}} \quad (5)$$

위의 식 (5)에서 알 수 있는 것은 센서의 감도가 방전용 저항인 R의 값에 선형적으로 비례한다는 것이다. 이는 R이 커지면 RC를 시정수로 하는 C<sub>int</sub>의 방전시간도 길어지기 때문이다. 따라서 R 값은 허용되는 범위 내에서 크게 만들수록 좋다. 다음으로 눈여겨 볼 것은 C<sub>int</sub>와 C<sub>ext</sub>의 비율인 α값이 센서의 감도에 영향을 준다는 것이다. 따라서 센서의 감도를 높이기 위해서는 C<sub>int</sub>의 값 또한 허용되는 범위 내에서 크게 만들수록 좋다.

구현 측면에서 살펴보면 C<sub>int</sub>와 R의 값을 키우는 데는 제약이 따른다. 그림 3의 회로에서 사용자의 터치를 의미 있는 수치로 검출하기 위해서는 R의 경우 수 MΩ, C의 경우 수십 pF 정도가 되어야 한다. 또한 제작에 사용된 공정에서 1pF의 축전지를 구현하는데 약 1000um<sup>2</sup>의 실리콘 면적이 필요하고 1 MΩ의 저항을 구현하는

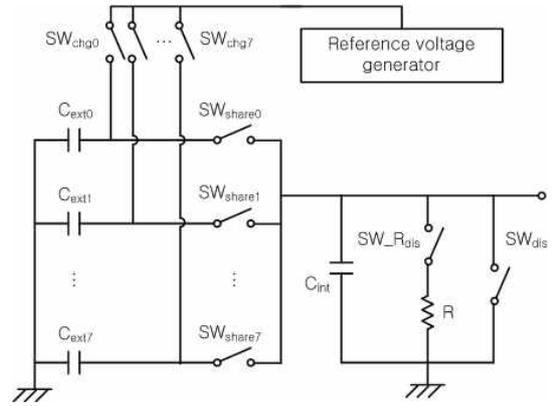


그림 5. 8개의 채널이 면적을 많이 차지하는 C<sub>int</sub>와 방전용 R을 공유하는 회로의 구조  
 Fig. 5. Circuit structure that area consuming C<sub>int</sub> and discharging R share 8 channel front end circuits.

데 5600um<sup>2</sup>의 실리콘 면적이 필요하다. 따라서 회로의 검출 감도 증가를 위해 R과 C<sub>int</sub> 값을 크게 하면서도 회로의 면적을 작게 하기 위해 8개의 채널이 시분할 방식으로 C<sub>int</sub>, R, 비교기, 충전회로를 서로 공유하도록 그림 5와 같이 설계하였다. 24 채널용 회로는 8 채널용 회로 블록 3개를 배치하여 구현하였다.

V<sub>ref</sub>와 V<sub>charge</sub>는 회로의 동작온도와 전원전압 등 외부 요인에 의해서도 변화될 수 있으므로 이들 값에 대한 T<sub>ref</sub>의 민감도를 유도하였다. 그 결과는 다음의 식 (6), (7)과 같다.

$$\frac{\delta T_{ref}}{\delta V_{charge}} = RC_{int} \cdot \frac{1}{V_{charge}} \quad (6)$$

$$\frac{\delta T_{ref}}{\delta V_{ref}} = -RC_{int} \cdot \frac{1}{V_{ref}} \quad (7)$$

위의 식(6), (7)로부터 알 수 있는 것은 R과 C<sub>int</sub>의 값은 가능한 한 작게 하고, V<sub>charge</sub>와 V<sub>ref</sub>는 허용되는 범위 내에서 크게 하는 것이 T<sub>ref</sub>의 민감도를 낮추는데 유리하다는 것이다. 하지만, C<sub>int</sub>와 R은 식(5)에서 보인 것과 같이 터치 감도를 높이기 위해 큰 값을 가져야 하므로 적용하기 어렵다. 따라서 V<sub>charge</sub>와 V<sub>ref</sub>가 외부 환경 변수에 민감하게 반응하지 않도록 설계하는 방법을 택하였으며 이런 이유로 V<sub>charge</sub>와 V<sub>ref</sub>를 band-gap reference 회로에 기반을 둔 기준전압 생성기를 이용하여 생성하였다.

### 3. 아날로그 회로의 구성 블록

#### 가. RC 충전/방전 회로

RC 충전/방전 회로는 그림 6에서 보인 것과 같이 4개 MOSFET (M0~M3), 1개의 축전지(C<sub>int</sub>), 2개의 저항(R0, R1)으로 구성된다. 이 회로에서 M0는 그림 3(a)에서 C<sub>ext</sub>에 전하를 공급하는 것을 제어하는 SW\_V<sub>charge</sub>에 해당한다. 트랜스미션 게이트(transmission gate)는 그림 3(a)의 SW\_V<sub>share</sub>에 해당한다. SW\_V<sub>share</sub>는 C<sub>ext</sub>의 전하를 C<sub>int</sub>로 전달하는 역할을 하기 때문에 본 ASIC에서 민감도에 영향을 줄 수 있기 때문에 전압 전달 특성이 좋은 트랜스미션 게이트가 사용되었다. M1, M2는 그림 3에서 SW\_V<sub>discharge</sub>[2:0]에 해당한다. 방전용으로 두 가지 저항을 (5M, 2.5MΩ) 선택적으로 사용해서 동작 조건 변화에 유연하게 대처하도록 하였다. M3는 SW\_V<sub>discharge</sub>에 해당한다. 이 회로도에서 V<sub>cp</sub>는 기준전압 생성기로부터 공급되며 출력신호인 V<sub>share</sub>는 비교기의 입력으로 연결된다. 제어 신호인 SW\_V<sub>charge</sub>, SW\_V<sub>share</sub>, SW\_V<sub>discharge</sub>[2:0] 신호들을 모두 디지털 회로부에서 공급된다.

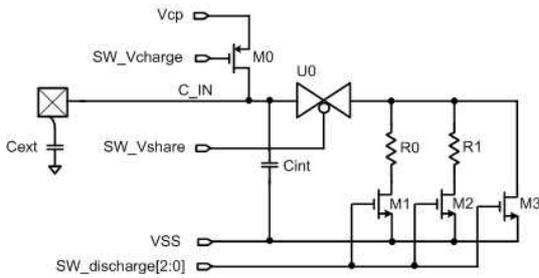


그림 6. RC 충전/방전 회로  
Fig. 6. RC charging/discharging circuit.

#### 나. 기준 전압 생성기

그림 7의 기준전압 발생기는 Band-gap reference 회로와 전압 분배기로 구성된다. Band-gap reference 회로는 외부 온도와 전원에 민감하지 않은 안정적인 전압을 제공한다. 이 회로의 출력은 전압 분배기를 거쳐 필요한 전압으로 변환된 후 RC 충전/방전 회로의 V<sub>cp</sub> 단자와 비교기의 V<sub>ref</sub> 단자에 연결된다.

MUX2X1은 칩 완성 후 band-gap reference가 정상적인 작동을 하지 못할 경우를 대비하기 위해서 R<sub>p1</sub>과 R<sub>p2</sub>의 비를 이용하여 만들어낸 전압을 사용할 수 있게 한다. 전압 분배기의 출력은 rcon[3:0] 신호 값을 조절하여 제어할 수 있도록 되어 있다.

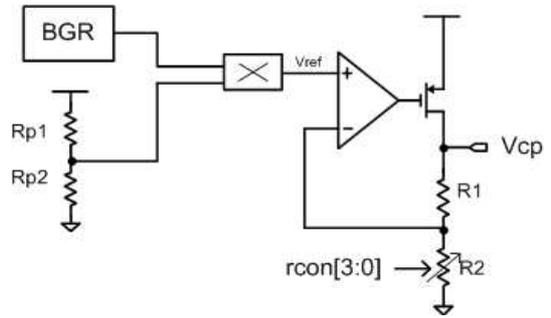


그림 7. 기준전압 발생기  
Fig. 7. Reference voltage generator.

### IV. 디지털 회로부

디지털 회로의 기본 기능은 아날로그 회로의 스위치들을 적절한 시간에 켜고 끄는 것과 호스트 프로세서와 통신하는 것이다. 전원이 가해지면 레지스터에 저장된 초기 값을 이용하여 동작이 시작된다. 온도 변화 등 ASIC의 동작에 영향을 줄만한 환경의 변화가 있을 때, 호스트 프로세서는 I2C 채널을 통해 아날로그 회로에 대한 새로운 설정 값을 전송한다. 설정 값으로는 5개의 스위치의 단속시간, RC 충전/방전 회로의 동작 주기, 기준전압기의 출력값, C<sub>int</sub>의 크기, 방전용 저항의 크기 등이 있다. 필요한 제어용 레지스터의 수를 줄이기 위해서 각종 제어 레지스터는 8개의 채널마다 하나씩 할당했다. 따라서 동일한 그룹에 속하는 8개의 채널은 모두 동일한 제어 값을 가진다.

측정된 정전용량 값은 24개의 14 비트 레지스터에 저장되며 이를 I2C를 이용해서 호스트 프로세서에서 읽어 처리한다. 측정데이터에서 노이즈 성분을 제거하고 터치를 검출하는 신호처리 동작은 호스트 프로세서에서 이루어진다고 가정하여 구현하지 않았으며 이 부분에 대해서는 추가적인 연구를 진행하고 있다.

스위치 제어회로와 I2C 블록은 Verilog HDL로 기술되었으며 이들에 대한 기능 시험은 Altera사의 Spartan FPGA<sup>[3]</sup>와 Totalphase사의 Aardvark 모듈<sup>[4]</sup>을 이용하여 검증하였다.

### V. Layout

그림 8은 터치 검출용 ASIC의 반도체 설계도면을 보여 준다. 본 ASIC은 0.18um CMOS 공정으로 구현되었으며 전체 크기는 5.76 (=2.4x2.4) mm<sup>2</sup> 이다. 설계도면에서 좌측의 세 블록이 아날로그 회로부이다. 여기에

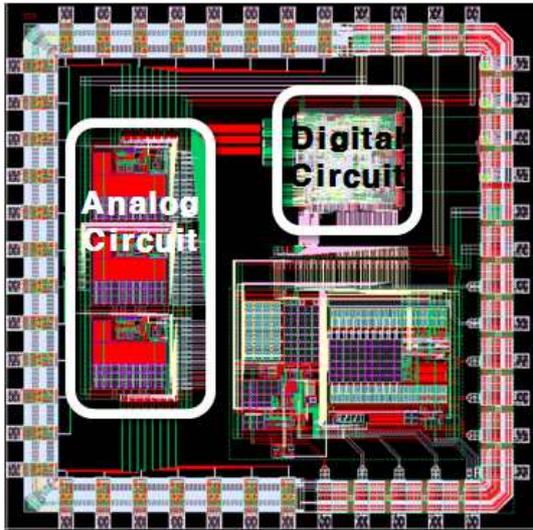


그림 8. 터치 검출 회로 반도체 설계도면  
Fig. 8. Silicon layout of touch screen controller.

서 한 블록이 8개의 채널을 담당한다. 우측 상단 블록은 디지털 회로부이다. 우측 하단의 블록은 웨이퍼를 공유하는 다른 ASIC을 위한 것으로 이 회로와 관련이 없다. 순수하게 PAD의 면적을 제외하고 연관된 아날로그 회로부와 디지털 회로부의 면적을 합산하면 그 값이 약  $3\text{mm}^2$  이다. 구현된 ASIC에서 아날로그 회로는 3.3V로 동작하고 디지털 회로는 1.8V로 동작한다. 두 영역간의 정합부위에는 전위변환기 (voltage level converter)가 삽입되어 신호전달이 원활하게 이루어지도록 한다.

정전용량 감지형 터치 센서의 Layout 단계에서는 I/O PAD의 기생 정전용량( $C_{\text{parasitic}}$ )도 고려해야 한다. 회로에서 I/O PAD의 기생 정전용량을 추가로 고려하면  $C_{\text{ext}}$ 에  $C_{\text{parasitic}}$ 을 병렬로 연결된 형태가 되어  $C_{\text{ext}}$ 가  $C_{\text{parasitic}}$  만큼 증가된다. 본 ASIC을 구현한 공정에서 범용의 I/O PAD는 그 기생 정전용량이 약 100pF에 달했다. 반대로 재료의 성질에 따라 달라지지만 터치스크린의 정전용량은 이 값에 미치지 못한다. 앞서 식(5)에서 살펴본 것과 같이  $C_{\text{ext}}$ 의 증가로  $C_{\text{int}}/C_{\text{ext}}$  값이 작아지면 센서의 감도가 그에 비례해서 낮아지므로  $C_{\text{parasitic}}$  값을 가능한 범위에서 낮추는 것이 필요하다. 이와 반대로  $C_{\text{parasitic}}$ 의 영향이 상쇄되도록  $C_{\text{int}}$ 의 값을 키우는 방법도 있지만 이는 칩의 크기를 크게 하는 단점이 있다. 본 ASIC에서는 일반 I/O PAD에 비해  $C_{\text{parasitic}}$  값이 작은 RF회로용 I/O PAD를 사용하여  $C_{\text{parasitic}}$ 의 영향을 최소화하였다.

## VI. 실험 및 분석

그림 9는 구현된 터치센서 ASIC의 시험 환경을 보여 준다. 오른쪽 PCB에 놓여 있는 것이 터치 패드이다. 구현된 ASIC은 PCB의 배면에 있어 사진에서는 보이지 않는다. 오른쪽 하단의 검은색 상자는 I2C 신호를 읽어서 PC의 USB port로 전달하는 Aardvark 모듈이다.

그림 10은 제작된 터치 센서의 실험 결과를 보여주는 그림으로 터치 센서의 오실로스코프의 동작화면이다. 이 신호가 측정된 지점은 그림 3(a)의 비교기의 입력

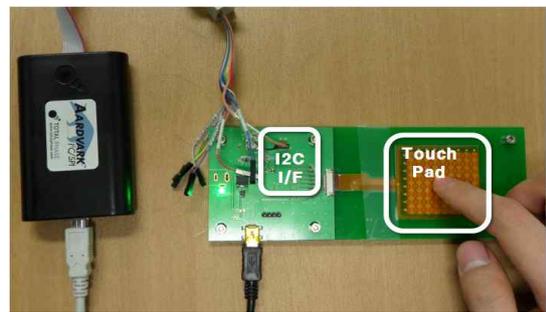


그림 9. 터치 검출 ASIC 시험 환경  
Fig. 9. Experiment environment of the touch controller.

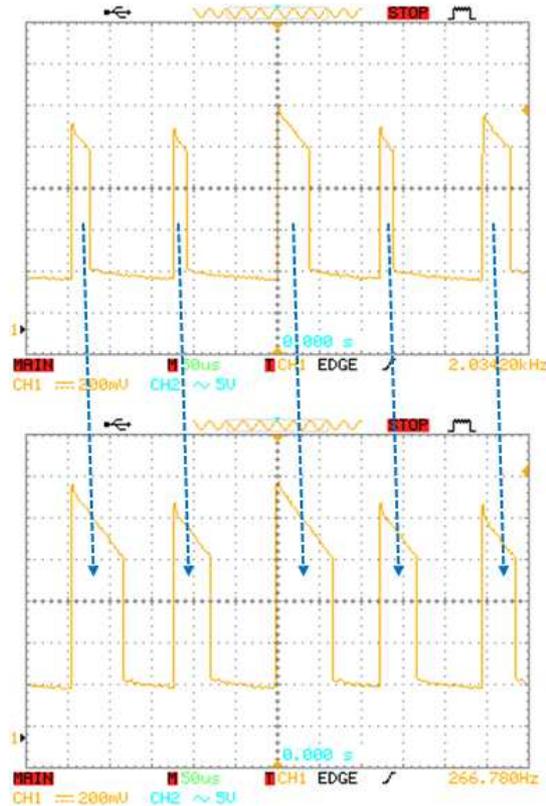


그림 10. 터치 검출 ASIC 실험 결과  
Fig. 10. Experiment result of the touch controller.

단이다. 상단의 그림은 사용자가 Touch pad를 손대지 않은 상태이며 하단의 그림은 사용자가 Touch pad를 손댄 상태이다. 사용자가 터치하면 RC 방전 시간이 길어짐을 확인할 수 있다. 이 그림에서 동일한 조건에서도 시간이 지남에 따라 파형의 폭이 서로 달라짐을 관찰할 수 있는데 이것은 비교기를 여러 채널들이 시분할 방식으로 공유하기 때문이다.

구현된 터치 검출기의 감도를 측정하기 위하여 값을 알 수 없는 터치패드 대신에 이미 값을 알고 있는 축전기 여러 종류를 터치스크린 자리에 장착하여 계수기에 계수되는 값을 측정하였다. 측정 결과 구현된 ASIC에서  $T_{ref}$ 의 변량은 약  $2\mu s/1pf$ 으로 당초 설계에서 목표했던 값에 근접하는 결과이다. 이 값을 바탕으로 정전용량을 알 수 없는 터치스크린들을 연결하여 정전용량의 변화를 측정하였다. 일반적인 스마트폰에서 사용되는 크기의 터치스크린의 경우  $C_{ext}$  값은  $20pF \sim 70pF$  사이에 분포하였다.

또한, 잡음 성분을 고려하여 안정적인 검출이 가능한 수치를 분석한 결과 구현된 회로는 터치스크린에서 사용자의 접촉에 의해 발생한  $2pF$  이상의 정전용량 변화를 안정적으로 검출함을 확인할 수 있었다. 이 과정에서 호스트 시스템에서는 저대역 여과기를 (low pass filter) 소프트웨어적으로 구현하여 노이즈 성분을 제거하였다.

실험 결과가 설계 당시의 예상과 다른 부분도 있다. 터치 검출 회로의 감도는 이론적으로 디지털 회로부에서 RC 충전/방전 회로의 스위치들을 단속하는 시간의 길이와 연관성을 가지지 않아야한다. 하지만, 실제적으로는 채널들이 가지는  $C_{ext}$  값에 따라 스위치의 단속 시간을 채널마다 다르게 조절해야 터치 검출의 감도를 극대화 할 수 있었다. 이와 같은 현상의 원인은 아직 밝혀지지 않았으며 추후 연구를 통해 원인을 규명할 예정이다. 이와 같은 회로의 동작은 구현된 회로를 터치스크린에서 원활하게 동작하지 못하도록 하였다. 구현된 회로에서는 앞서 설명한 것과 같이 8개의 채널이 하나의 제어 레지스터를 공유하여 모두 동일한 스위치 단속 시간을 가지도록 설계되어 있다. 이 결과 일부 채널들만 검출 감도가 극대화된 조건에서 동작하게 된다. 이와 같은 현상을 피하기 위해서는 모든 채널들이 독립적인 제어 레지스터들을 가지도록 디지털 회로부의 설계를 변경할 필요가 있다.

## VII. 결 론

본 논문에서는 24 채널 정전용량형 터치 검출 ASIC의 설계 내용을 설명하였다. 본 ASIC은 RC 충전/방전 회로를 근간으로 하는 아날로그 회로부와 제어 신호의 생성과 호스트 프로세서와의 통신을 담당하는 디지털 회로부로 이루어져 있다. 검출기는 온도, 전원 전압 등의 환경 변수에 따라 동작 특성이 바뀌지 않도록 구현되었다. 설계된 회로는  $0.18\mu m$  공정을 이용하여 ASIC으로 구현되었으며 그 크기는  $3\text{ mm}^2$  이다. 실험결과 이 회로는 터치스크린 상에 발생한  $2pF$  이상의 정전용량 변화를 안정적으로 검출함을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 남철 외, "0.18 um CMOS 공정을 이용한 SoC용 정전 용량형 멀티 채널 터치 센싱 ASIC의 설계," 전자공학회 논문지, 제 47권 SD편, 제4호, 2010년 4월.
- [2] Sungsik Lee et al, "1.5V Sub-mW CMOS Interface Circuit for Capacitive Sensor Applications in Ubiquitous Sensor Networks," ETRI Journal, Vol. 30, No. 5, Oct. 2008.
- [3] <http://www.altera.com>
- [4] <http://www.totalphase.com>

저 자 소 개



이 경 재(학생회원)  
 2010년 광운대학교 전자통신  
 공학과 공학사  
 2010년~현재 광운대학교  
 전자통신공학과 석사과정  
 <주관심분야: Embedded system,  
 VLSI, 영상처리>



배 진 응(학생회원)  
 2008년 한국산업기술대학교 전자  
 공학과 공학사  
 2011년 한국항공대학교 대학원  
 정보통신공학과 석사과정  
 2008년~현재 (주) 미성포리테크

<주관심분야 : FPGA 및 임베디드 응용 솔루션,  
 음향 가전 및 휴대 단말 플랫폼>



한 표 영(정회원)  
 2009년 광운대학교 전자통신  
 공학과 공학사  
 2011년 광운대학교 전자통신  
 공학과 공학석사  
 2011년~현재 (주)실리콘하모니  
 주임 연구원.

<주관심분야 : 디지털 집적회로 설계>



김 응 수(학생회원)  
 1994년 명지대학교 전자공학과  
 공학사  
 2002년 연세대학원 전자공학과  
 공학석사  
 2009년~현재 항공대학교  
 통신공학과 박사과정

1994년~2004년 (주)LG전자/우면동 중앙연구소  
 Digital Storage팀 선임연구원

2004년~2006년 (주)Optomech 부장

2006년~현재 (주)미성 포리테크 수석연구원

<주관심분야 : 영상처리 및 DSP>



이 현 석(정회원)  
 1992년 KAIST 전기및전자공학과  
 공학사.  
 1995년 POSTECH 전자전기과  
 공학석사.  
 2007년 Univ. of Michigan,  
 Computer Science and  
 Engineering (CSE), Ph.D.

1992년~2008년 삼성전자 통신연구소 수석연구원  
 2008년~현재 광운대학교 전자통신공학과 조교수  
 <주관심분야: Software defined radio(SDR), 통신  
 용 DSP, Embedded system, VLSI>



남 철(정회원)  
 2001년 서울대학교 전기공학부  
 석사 졸업.  
 2004년~현재 (주)실리콘하모니  
 수석 연구원.  
 2010년~현재 건국대학교 전자  
 정보통신공학과 박사과정

<주관심분야 : RF / 아날로그 집적회로 설계>