

터치센서 IC 설계 동향

I. 서론

터치스크린은 어느 나라 어느 회사 어느 곳이든 안 쓰이는 곳이 없으며 사용자들의 편리성과 간편함 그리고 단순성 때문에 사용하지 않을 수 없는 문명의 이기가 되고 있다. 특히, 휴대폰용 시장은 전체 터치 컨트롤러 시장 중 가장 큰 비중을 차지하며, 컨트롤러 IC 시장의 성장을 견인하고 있으며, 높은 성장을 보이고 있다. 휴대폰용 시장의 성장은 스마트폰의 성장과 더불어 상대적으로 고가격이며 멀티 터치가 가능한 정전용량 방식으로 터치 패널 시장이 변화하고 있는 추세이다. 이에 본 원고에서는 터치센서 IC의 동작원리, 설계 동향 및 이슈 들을 살펴보고자 한다.

스마트폰의 성장과 더불어 상대적으로 고가격이며 멀티 터치가 가능한 정전용량 방식으로 터치 패널 시장이 변화하고 있는 추세이다. 이에 본 원고에서는 터치센서 IC의 동작원리, 설계 동향 및 이슈 들을 살펴보고자 한다.

터치 스크린이 동작하기 위한 기본적인 5가지 구성요소를 살펴보면 다음과 같다.

- 터치 센서
- 터치스크린이 장착된 화면: 사용자가 입력하는 신호를 감지할 수 있도록 특수 처리된 순수 유리 재질의 패널로 디스플레이에 장착하여 사용할 수 있다.
- 터치스크린을 드라이브 시키고 터치를 좌표로 전환시키는 터치 센서 IC: 터치 패널의 입, 출력 신호를 제어하는 장치로 터치 패널에 연결되어 데이터를 송·수신 하는 장치이다.



이 강 윤
성균관대학교

- 컨트롤러 카드와 컴퓨터의 운용시스템을 교신 가능케 해주는 소프트웨어 드라이브 프로그램: 터치패널에서 터치스크린을 구동 시키기 위한 장치 S/W 드라이버 및 제어 프로그램이다.
- Application Software

요즘은 다양한 그룹의 사용자들이 터치스크린을 사용하며, 사용자들이 정보에 신속히 접속하도록 하고 있다. 본 원고에서는 5가지 구성 요소 중에서 주로 터치스크린을 드라이브 시키고 터치를 좌표로 전환시키는 터치 센서 IC에 대해서 다루고자 한다.

II. 설계 동향

1. 정전용량 방식 터치스크린의 구조

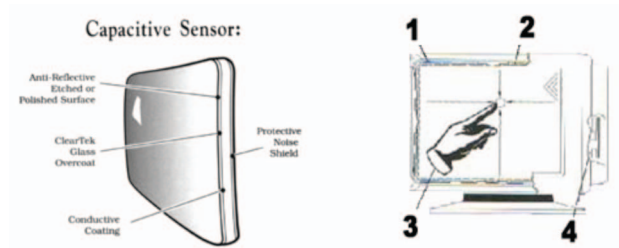
터치스크린의 대표적인 원리는 화면의 상하좌우로 적외선이 흐르고 있고, 화면에는 보이지 않지만 조그만 격자를 형성하게 되며 모니터의 화면과 같은 좌표 값을 갖도록 되어 있다. 이때 사용자가 모니터상의 물체(아이콘 등)를 건드리면 적외선에 의해 설정된 격자에서 이를 감지 손가락의 위치를 입력 받아 컴퓨터로 보내진다.

더욱 세분화해서 터치스크린의 종류에 따른 동작원리를 알아보면 다음과 같다. 현재 시중에 시판되고 있는 제품이나 터치스크린의 원리로 알려진 것은 크게 4가지가 있다.

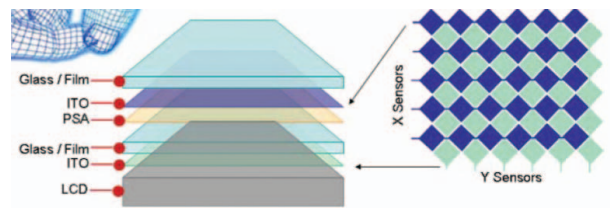
- 접촉식 정전용량 방식(Capacitive overlay)
- 압력식 저항막 방식(Resistive Overlay)
- 적외선 감지 방식(Infrared Beam)
- 표면 초음파 전도 방식(Surface Acoustic Wave)

이 중에서 접촉식 정전용량 방식 (capacitive overlay)이 가장 널리 사용되고 있으므로, 본 원고에서는 이 방식에 대해서 집중해서 살펴보고자 한다.

<그림 1>은 Capacitive Sensing 방식 터치스크린의 구조를 보여주고 있다. 열처리가 되어 있는 강화유리 양면에 투명한 특수 전도성 금속(τ_{ao})을 코팅하여 만들어진다.



<그림 1> Capacitive Sensing 방식 터치스크린의 구조



<그림 2> Capacitive Sensing 방식의 Stackup Layers

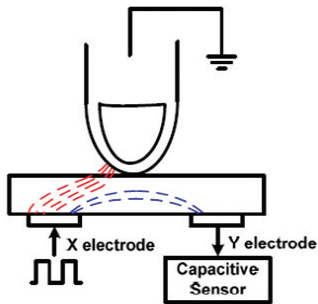
스크린의 네 귀퉁이에 전압을 걸어주면, 구석에서 발생하는 고주파가 센서 전면에 퍼지게 된다. 이때, 손가락으로 스크린을 접촉하게 되면 수신부에서는 변형된 파형이 감지되며, 이것을 가지고 콘트롤러에서는 위치를 계산하게 된다.

Capacitive Sensing 방식의 장점은 미세한 정전압에도 반응하므로 살짝만 접촉되어도 감지 할 수 있으며, 높은 분해 능력을 가질 수 있다는 점이다. 강화처리 된 유리에 특수한 금속코팅을 했기 때문에 견고성이 좋으며, 수명이 길고, 빛의 투과율이 높아 원화상의 색상을 그대로 살릴 수 있다. 또한, 터치시 반응속도가 매우 빠르며, 오차율이 매우 적어 정확하다는 장점이 있다.

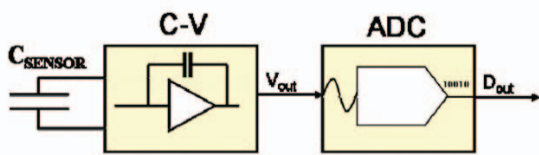
<그림 2>와 같은 Capacitive Sensing 방식의 Stackup Layers를 보여주고 있다. Projected capacitance 센싱 하드웨어는 유리 top layer로 구성되어 있으며 X 센서, insulating layer, 그리고 유리 기판상의 Y 센서의 배열로 이어진다.

2. Capacitive Sensing 방식의 동작 원리

<그림 3>은 Capacitive Sensing 방식의 동작 원리를 설명하고 있다. X electrode에서 주기적인 신호를 보내면, 손가락이 존재할 경우 electric field가 바뀌게 되고, Y electrode에서 이 electric field의 변화를



〈그림 3〉 Capacitive Sensing 방식의 동작 원리

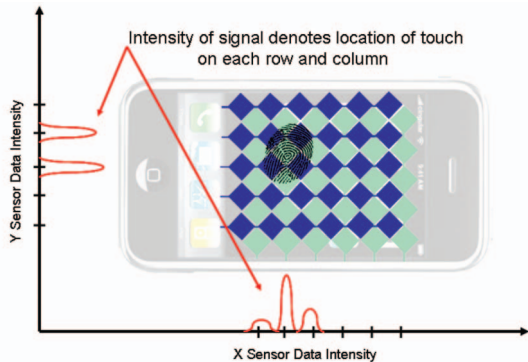


〈그림 4〉 Capacitive Sensing 방식의 아날로그 신호처리 회로 구성도

sensing 하는 원리이다.

〈그림 4〉는 Capacitive Sensing 방식의 기본 회로 구성도를 보여주고 있다. 터치에 의해서 C_{SENSOR} 값이 변화하면, C-V 변환기에서 C_{SENSOR} 값에 비례하는 아날로그 전압 V_{out} 을 생성하고, ADC에서 이에 해당하는 디지털 코드 D_{out} 로 변환한다.

〈그림 4〉와 같은 아날로그 신호 처리 회로 블록에서 생성된 디지털 코드를 기반으로 좌표를 추출하게 된다. 〈그림 5〉는 Capacitive



〈그림 5〉 Capacitive Sensing 방식의 좌표 추출

Sensing 방식의 좌표 추출 원리를 보여주고 있다. X 축 센서 데이터와 Y 축 센서 데이터 중에서 가장 큰 값을 가지는 좌표를 추출해서 화면에 표시하게 된다.

Ⅲ. 정전 용량형 터치 센서 IC 설계 사례

1. Capacitor-to-Voltage 변환 방식

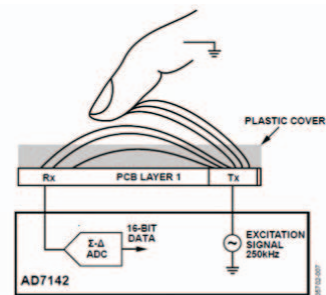
정전 용량형 터치 센서의 방식은 크게 C-T 변환 (Capacitive-Time Conversion) 방식과 C-V (Capacitive-Voltage Conversion) 변환 방식의 2가지로 나눌 수 있다.

C-T 방식은 커패시턴스 값을 시간 정보로 변환하는 방식으로, 최근 RC 시정수(RC Time)를 이용한 디지털 변환 방법이 소개 되었으나, 이 방법은 각 채널당 동일한 회로가 반복적으로 들어가야 하므로, 멀티채널 사용에는 큰 칩 면적을 차지하는 단점이 있다. 복잡한 처리 알고리즘으로 인해 로직 사이즈가 비대해 짐에 따라,

작은 칩 면적을 요구하는 SoC 요구에 적합하지 않을 수 있다.

C-V 방식은 C-T 변환 방식에 비해 전하 전송 (Charge Transfer)의 유사한 방법으로 채용 되어 왔으나, 외부 노이즈나 전원 노이즈를 방지하기 위한 추가적인 방법이 요구된다.

〈그림 6〉은 Analog Device 사의 AD7142의 센싱 동작 원리를 보여주고 있다.^[1] 송신단에서 250 kHz의 주파수로



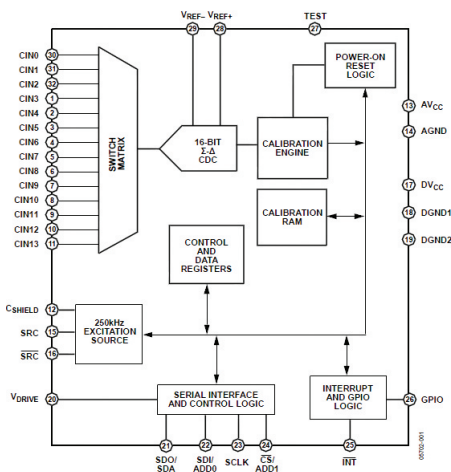
〈그림 6〉 Capacitive Sensing 방식의 동작 원리

패널을 구동하고, 수신단에서 전기장 (Electric Field) 를 측정한다. 이 때, 손가락에 의해서 전기장이 간섭을 받을 경우, 수신단에서 측정되는 커패시턴스의 양이 줄어들게 되고, 이를 아날로그 전압으로 변환한 후에, ADC를 통해서 디지털 신호로 변환하게 된다.

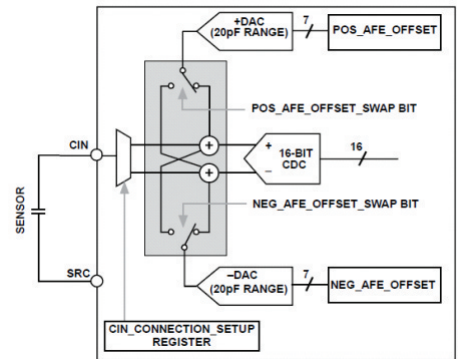
〈그림 7〉은 AD7142 IC의 기능적 블록 다이어그램을 보여주고 있다. 송신단에서 정전용량 센서에 250 kHz Excitation Source 신호를 인가

한 후에, 수신단에서는 스위치 매트릭스 (Switch Matrix)를 통해서 채널을 스캔하면서, 순차적으로 입력을 받아들이며, 16-Bit $\Sigma\Delta$ CDC (Charge to Digital Converter)를 통해서 디지털 코드로 변환한다. Calibration Engine을 통해서 각 채널 간의 오차를 보상한다.

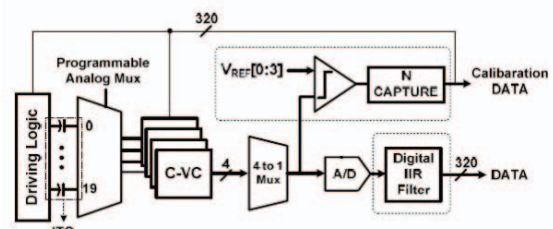
〈그림 8〉는 Offset Calibration 회로의 예를 보여주고 있다. 채널간 오프셋을 측정해서 16-BIT CDC 입력에 보상해줄 수 있다.



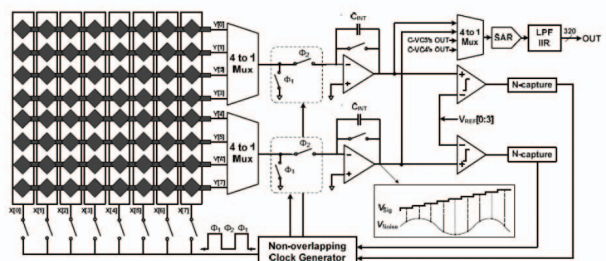
〈그림 7〉 AD7142 IC의 기능적 블록 다이어그램



〈그림 8〉 Analog Front-End Offset Control



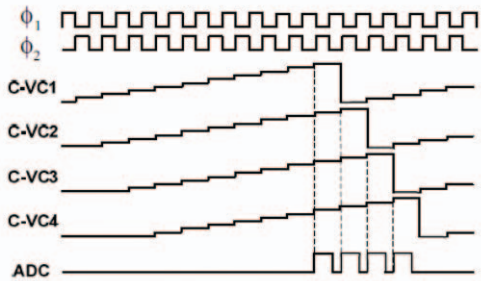
〈그림 9〉 정전 용량 터치 스크린 센서의 Time-Interleaved 구조 예



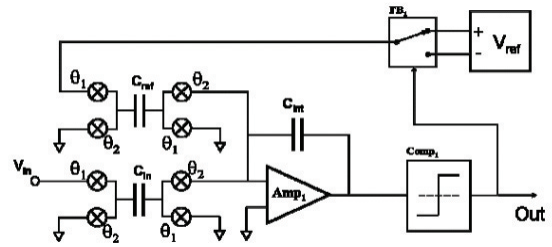
〈그림 10〉 Calibration 기법을 적용한 C-VC의 Time-Interleaved 구조

〈그림 9〉는 정전 용량 터치 스크린 센서의 Time-Interleaved 구조의 예를 보여주고 있다.^[2] C-VC 는 개별 채널별로 사용하지만, 면적을 줄이기 위해서 ADC를 공유하되, 시간 축 상에서 입력을 순차적으로 입력하는 방식을 사용하였다. 또한, ADC 출력에 Digital FIR Filter를 추가하여 잡음 성분을 제거하고, SNR (신호대 잡음비)를 향상하도록 하였다.

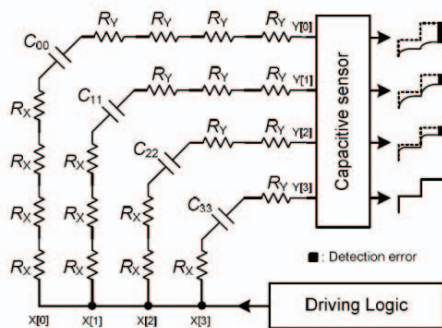
〈그림 10〉은 Calibration 기법을 적용한 C-VC의 Time-Interleaved 구조를 보여주고 있다.^[2] 4-to-1 Mux를 통해서 터치 패널과 C-VC 가 순차적으로 연결



〈그림 11〉 Time-Interleaved 구조와 C-VC 출력 파형들의 순서도



〈그림 13〉 1차 SC Σ - Δ Modulator의 간략화된 구조



〈그림 12〉 ITO 레이어들의 equivalent RC lumped model

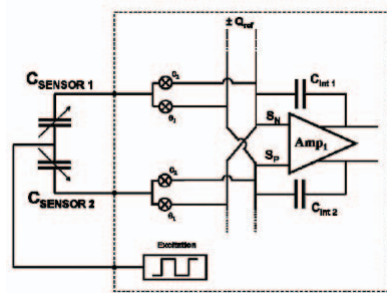
되며, 아날로그 전압으로 변환되며, 변환된 데이터로부터 SAR 로직과 LPF를 통해서 디지털 신호를 생성한다.

〈그림 11〉은 Time-Interleaved 구조와 C-VC 출력 파형들의 순서도를 보여주고 있다.^[2] ϕ_1 과 ϕ_2 는 Non-Overlapping 클록을 나타내며, C-VC1부터 C-VC4까지의 입력이 ADC에 순차적으로 입력이 된다.

〈그림 12〉는 ITO 레이어들의 equivalent RC lumped model을 보여주고 있다. X 축과 Y 축 사이에 커플링 커패시턴스들 (C_{00} , C_{11} , C_{22} , C_{33})과 기생 저항들 (R_X , R_Y)이 존재하고, 길이에 따라서 이 커패시턴스 값들과 저항 값들도 달라짐을 알 수 있다. 즉, 채널간 편차가 존재하므로, 이를 보상해 주는 것이 매우 중요한 설계 이슈이다.

정전 용량 센서에 Switched Capacitor (SC) Σ - Δ

X 축과 Y 축 사이에 커플링 커패시턴스들 (C_{00} , C_{11} , C_{22} , C_{33})과 기생 저항들 (R_X , R_Y)이 존재하고, 길이에 따라서 이 커패시턴스 값들과 저항 값들도 달라짐을 알 수 있다. 즉, 채널간 편차가 존재하므로, 이를 보상해 주는 것이 매우 중요한 설계 이슈이다.



〈그림 14〉 차동 Σ - Δ Modulator 기반 커패시턴스 측정 회로

Modulator 기법을 적용해서 해상도를 향상 시킬 수 있다. 〈그림 13〉은 1차 SC Σ - Δ Modulator의 간략화된 구조를 보여주고 있다.^[3] θ_1 과 θ_2 에 의해서 스위치가 조절되며, C_{ref} 와 C_{in} 과 결합되어 각각 저항의 역할을 할 수 있다.

이 저항들이 Amp_1 과 C_{int} 와 결합되어 적분기의 역할을 한다. 적분기의 출력은 비교기 ($Comp_1$)을 통해서 디지털 신호로 변환된다.

〈그림 14〉은 차동 Σ - Δ Modulator 기반 커패시턴스 측정 회로의 구조를 보여주고 있다.^[3] Excitation에 의해서 $C_{SENSOR1}$ 과 $C_{SENSOR2}$ 가 구동된 후에, 차동 연산 증폭기 Amp_1 과 C_{int1} , C_{int2} 에 의해서 적분된다.

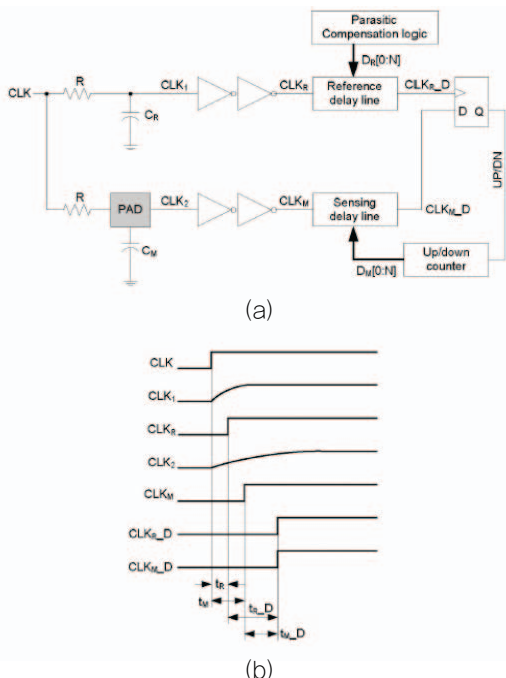
2. Capacitor-to-Time 변환 방식

〈그림 15(a)〉는 C-T 변환 기반 Full-Digital Capacitive Sensor의 블록 다이어그램을 보여주고 있

다.^[4] 두 개의 RC Delay Line의 Delay 차이는 센서의 커패시턴스 (C_M) 값과 기준 커패시턴스 (C_R) 값 사이의 차이에 비례해서 바뀌게 된다. 따라서, Delay Line의 Delay 차이를 디지털 코드로 바꾸면 커패시턴스 값을 디지털 코드로 변환할 수 있다.

〈그림 15(b)〉는 C-T 변환 기반 capacitive sensor의 타이밍 다이어그램을 보여주고 있다. CLK_R 로부터 CLK_{R_D} 까지의 Delay는 t_{R_D} 이고, CLK_M 으로부터 CLK_{M_D} 까지의 Delay는 t_{M_D} 로 표시되며, 이 두 값의 차이를 카운터를 사용하여 감지하여 출력으로 내보내게 된다.

〈그림 16〉은 Full-digital 12-channel capacitive sensor의 전체 블록 다이어그램을 보여주고 있다.^[4] 각 채널별로 동일한 C-VC 가 사용되고 있으며, 해상도를 증가 시키기 위해서는 CLK의 주파수가 높아야 한다. Control Logic은 Parasitic Capacitance를 상쇄 시키



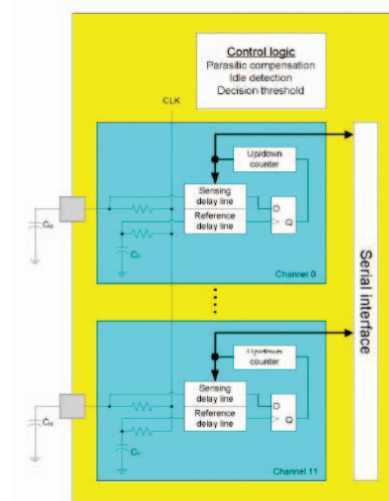
〈그림 15〉 C-T 변환 기반 Full-Digital Capacitive Sensor의 (a) 블록 다이어그램 (b) 타이밍 다이어그램

두 개의 RC Delay Line의 Delay 차이는 센서의 커패시턴스 (C_M) 값과 기준 커패시턴스 (C_R) 값 사이의 차이에 비례해서 바뀌게 된다. 따라서, Delay Line의 Delay 차이를 디지털 코드로 바꾸면 커패시턴스 값을 디지털 코드로 변환할 수 있다.

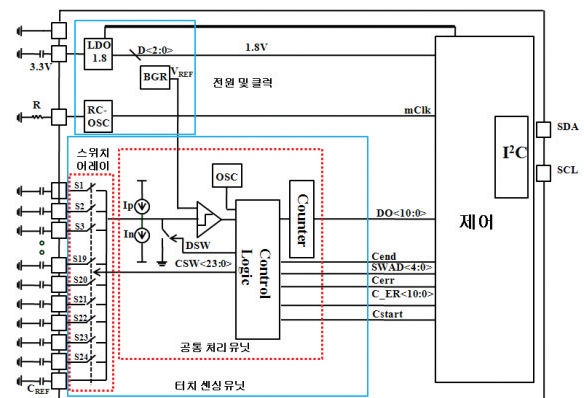
며, decision threshold를 결정하는 역할을 수행한다.

〈그림 17〉은 C-T 변환 Capacitive Sensor용 ASIC의 다른 예를 보여주고 있다.^[5] 터치센서 입력을 받아들이는 터치 센싱 유닛 와 전원 및 클럭부, 제어부 로 나뉘어져 있다.

터치 센싱 유닛은 터치 입력에 대한 등가 커패시터($CT1 - CT24$)를 순차적으로 받아들이기 위한 스위치 어레이, 순차적 입력에 대한 신호를 처리하기 위한 공통처리 유닛(Common Processing



〈그림 16〉 Full-digital 12-channel capacitive sensor



〈그림 17〉 C-T 변환 방식의 Capacitive Sensor 신호 처리 ASIC의 블록 다이어그램

Unit)으로 구성 되어 있다.

제어부로부터 입력 채널 선택 신호 (Cadr[4:0])로 받아 입력 채널(S1 - S24)을 선택한다. 이 신호로부터 전하 감지 회로(Charge sensing circuit)가 기준 전류 (Iref)를 선택된 채널을 통하여 공급하여, 이 전류로 인한 채널에 충전된 전압(Vc)이 기준 전압(Vref)에 도달하는 시간을 계수함으로써 커패시턴스 값을 계산해 내는 C-T (Capacitive-Time) 컨버전 방식이다.

IV. 설계 이슈 및 결론

1. 설계 이슈

Capacitive Sensor용 회로의 중요한 설계 이슈로는 신호대 잡음비, 리포팅시간, 센싱 해상도, 소모전력, 회로 면적등이 있다.

첫 번째 가장 중요한 이슈는 잡음이다. 잡음의 종류로는 Display noise, Charger noise, Wireless noise, Three-wave-lamp noise 등으로 나눌 수 있다.

잡음에 의해서 신호대 잡음비 (SNR)가 결정된다. 식 (1)에 의해서 SNR을 측정할 수 있다.^[2] 식 (2)와 같이 touch 시와 untouch 시의 신호 크기 차이로부터 STouch 값을 구할 수 있으며, 식 (3)과 같이 NTouch 값을 구할 수 있다.

$$SNR(dB) = 20 \log \frac{STouch}{NTouch_{S100}} \quad (1)$$

$$STouch = Signal_{Touch, AVG100} - Signal_{Untouch, AVG100} \quad (2)$$

$$NTouch_{S100} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{n=\infty} (Signal[n] - Signal_{Touch})^2}{100}} \quad (3)$$

두 번째 이슈는 리포팅 시간이다. 리포팅 시간은 센싱 시간과 처리 시간으로 나눌 수 있다. 센싱 시간은 주로 아날로그 전단부에 의해서 결정이 되며, 처리 시간은 디지털 회로에 의해서 결정된다. 리포팅 시간은 스캔 주파수와 밀접하게 관련되어 있으며, SNR과 Trade-Off 관계에 있다. 오랜 시간 동안 센싱을 하게 되면 SNR은 향상되지만, 센싱 시간과 처리 시간은 길어지게 된다.

리포팅 시간은 또한 센싱 해상도와 연관되어 있다. 센싱 해상도는 일반적으로 수 pF ~ 수십 pF으로서 센싱 시간 및 처리 시간을 늘릴수록 일반적으로 향상된다.

또한, 스캔 주파수는 회로의 전류 소모와 밀접한 관계가 있다. 스캔 주파수가 올라갈수록 전류 소모는 증가되고, 정확도는 향상된다.

Capacitive sensor 회로의 면적 역시 중요한 이슈이다. 면적을 줄이기 위해서는 채널 당 면적을 줄여야 하며, 이는 적분기의 커패시턴스와 관련되어 있다. 일반적으로 면적을 줄일수록 SNR은 감소되는 방향으로 간다.

2. 결론

본 원고에서는 정전 용량형 터치 센서 IC의 설계 동향 및 설계 이슈에 대해서 살펴보았다. 크게 C-V 변환 방식과 C-T 변환 방식으로 나눌 수 있으며, 잡음, SNR, 전

류, 면적, 리포팅 시간, 센싱 해상도 등이 상호 Trade-Off 관계가 있으며, 정확도가 높은 아날로

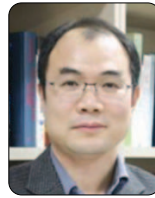
본 원고에서는 정전 용량형 터치 센서 IC의 설계 동향 및 설계 이슈에 대해서 살펴보았다. 크게 C-V 변환 방식과 C-T 변환 방식으로 나눌 수 있으며, 잡음, SNR, 전류, 면적, 리포팅 시간, 센싱 해상도 등이 상호 Trade-Off 관계가 있으며, 정확도가 높은 아날로그 및 디지털 회로 설계가 필요하다.

그 및 디지털 회로 설계가 필요하다. 현재 가장 활발하게 연구되는 분야이지만, 향후 더욱 발전할 분야라고 생각되며, 본 원고가 연구에 조그마한 도움이 되기를 희망하며 결론을 맺는다.

참 고 문 헌

- [1] AD7142 datasheet, ANALOG DEVICES.
- [2] Seunghoon Ko, et al. "Low Noise Capacitive Sensor for Multi-touch Mobile handset's applications," ASSCC 2010, pp 247-250, Nov. 2010

- [3] J O'Dowd, A Callanan, G. Banarie, and E. Company-Bosch, "Capacitive sensor interfacing using sigma-delta techniques," IEEE Sensors, pp. 951-954, Oct.-Nov. 2005.
- [4] B-J. Moon, D-Y Jung et al, "A full digital multi-channel CMOS capacitive sensor," ASSCC 2006, pp 247-250, Nov. 2006
- [5] 남철, 부영건, 박준성, 홍성화, 허정, 이강윤 "0.18 um CMOS 공정을 이용한 SoC용정전용량형 멀티 채널 터치 센싱 ASIC의설계", 전자공학회 논문지 제7권D편제호 p.298~306, Feb. 2010
- [6] S.-M. Jung et al., "A CMOS integrated capacitive fingerprint sensor with 32-bit RISC microcontroller," IEEE J Solid-State Circuits, Vol. 40, No. 8, pp. 1745-1750, Aug. 2005.
- [7] K.Martin, "Improved Circuits for the Realization of Switched Capacitor Filters" IEEE Trans. Circuits and Systems, pp237-244, April. 1980.
- [8] Jiren Yuan, "A charge Sampling Mixer with Embedded Filter Function for Wireless Applications," International Conference on Microwave and Millimeter wave Technology Proceedings, 2000.
- [9] Klaas-Jan de Langen and Johan H. Huijsing, "Compact Low-Voltage Power-Efficient Operational Amplifier Cells for VLSI" IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 33, No. 10 , pp. 1482-1496, Oct. 1998
- [10] ATMEL Corporation, "Touch Sensors Design Guide, 10620D-AT42" Sept. 2004



이강윤

1996년 2월 서울대 전기공학부 학사
 1998년 2월 서울대 전기공학부 석사
 2003년 2월 서울대 전기공학부 박사
 2003년 3월~2005년 2월
 GCT Semiconductor Inc. (Design
 Manager of Analog Division)
 2005년 3월~2012년 2월
 건국대학교 전자공학부 부교수
 2012년 3월~현재 성균관대학교 전자전기공학부 부
 교수

〈관심 분야〉

Analog IC 설계, Power IC 설계, RF IC 설계