

# 저항과 클럭 주파수 변동에 의한 문제를 감소시킨 풀 디지털 방식 정전용량 센싱 터치키 설계

(A Design of Full Digital Capacitive Sensing Touch Key Reducing The Effects Due to The Variations of Resistance and Clock Frequency)

성광수\*

(Kwang-Su Seong)

## 요 약

본 논문에서는 저항과 클럭 주파수 변동에 의한 문제를 효과적으로 감소시킬 수 있는 풀 디지털 정전용량 방식의 터치키를 제안한다. 제안된 방식은 측정하고자 하는 정전용량 두 개와 두 정전용량 사이의 저항으로 구성되어 있으며, 각 정전용량과 저항의 지연을 각각 측정한 후 두 지연의 비를 구한다. 양자화 오차를 무시할 경우 두 지연의 비는 측정하고자 하는 두 정전용량의 비로 표시되어 저항 값과 클럭 주파수와 무관하다. 실험결과에서도 제안된 방법이 저항과 클럭주파수에 의한 변동을 효과적으로 줄일 수 있음을 보였으며, 제안된 방법의 정전용량 해상도가 1.04[pF]여서 터치키로 사용될 수 있음을 보였다.

## Abstract

In this paper, we propose a full digital capacitive sensing touch key reducing the effects due to the variations of resistance and clock frequency. The proposed circuit consists of two capacitive loads to measure and a resistor between the capacitive loads. The method measures the delays of the resistor and two capacitive loads, respectively. The ratio of the two delays is represented as the ratio of the two capacitive loads and is irrelative to the resistance and the clock frequency if quantization error is disregarded. Experimental results show the proposed scheme efficiently reduces the effects due to the variations of clock frequency and resistance. Further more the method has 1.04[pF] resolution and can be used as a touch key.

Key Words : Capacitive Sensor, Touch Key

## 1. 서 론

정전용량을 이용한 터치키는 손가락이 터치패드에 접근할 때 정전용량이 커지는 것을 센싱하는 것으로 MP3플레이어, 휴대폰, TV, 모니터 등의 키패드 및 스위치에 사용되고 있으며, 기계식에 비해 누

\* 주저자 : 영남대학교 전자정보공학부 부교수  
Tel : 053-810-2481, Fax : 053-810-4770  
E-mail : kssung@ynu.ac.kr  
접수일자 : 2008년 11월 25일  
1차심사 : 2008년 11월 27일  
심사완료 : 2008년 12월 16일

르는 느낌이 좋고 새로운 디자인에 적용 가능하여 점차 사용범위가 넓어지고 있다. 인체에는 수분을 많이 포함하고 있어 개념상 가상 접지(virtual ground)로 볼 수 있으며, 손가락이 도체로 만들어진 터치패드에 접근할 때 정전용량이 커지게 된다[1-3].

정전용량을 측정하는 방법은 보통 두 단계로 나뉘어진다[4-5]. 첫 번째 단계에서는 측정하고자 하는 정전용량의 크기에 비례하는 측정 가능한 전기적 물리량으로 변환한다. 예를 들면 정전용량 값을 이용해 그에 비례하는 전압, 주파수 혹은 펄스폭 등으로 변환한다. 두 번째 단계에서는 변환된 전압이나 주파수 그리고 펄스폭을 디지털 값으로 변환한 후 필요에 따라 보정 혹은 신호처리를 하여 보다 정확한 정전용량 값을 구한다.

일반적으로 응용분야별로 측정하고자 하는 정전용량의 범위, 요구되는 해상도, 동작속도, 소모전력 등이 다르므로 그에 특화된 회로들이 사용되고 있다 [6]. 그러나 제품별로 특화된 정전용량 센서들의 시장이 크지 않기 때문에 개발비용과 개발기간이 문제가 된다. 가격경쟁을 위해 정전용량센서는 MCU가 포함된 다양한 응용기기에 단일칩으로 집적되는 경향이 높아지고 있으므로 다양한 반도체 공정에 빠르게 이식할 수 있는 정전용량센서가 필요하다.

정전용량센서는 디지털 방식과 아날로그 방식으로 구분할 수 있다. 여기서 아날로그 방식이란 ADC, OP-AMP 등과 같은 아날로그 소자를 이용하는 방식을 의미하고[3-8], 디지털 방식이란 디지털 소자를 이용해 정전용량을 측정하는 방식을 의미한다. 디지털 방식은 아날로그 방식에 비해 구현하기가 쉬우며 새로운 반도체 공정에 쉽게 이식할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 CMOS 반도체 공정이 수십 [nm]로 발전하고 있음에도 불구하고 아날로그 회로는 공정 발전만큼 칩 면적이 줄지 않는다는 문제점이 있다. 그리고 새로운 반도체 공정에 적용하기 위해서는 해당 공정에 맞게 새롭게 아날로그 회로를 개발해야 하므로 제품 개발 기간이 길어지는 문제점이 있다.

디지털 방법은 RC 발진기를 이용해 클럭을 생성한 후 주파수를 카운트하거나 주기를 측정하는 방법으로 정전용량을 측정한다. 이 방법은 표준셀

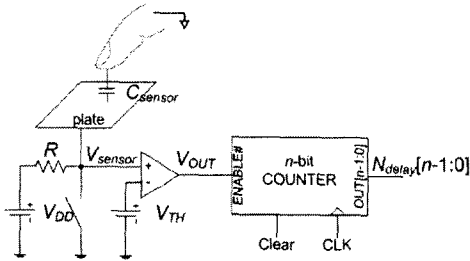
(standard cell)과 같은 디지털 소자를 이용해 구현할 수 있으나 저항값 변화와 동작주파수 변경에 따라 측정되는 RC지연값 및 RC발진 주파수 변동이 있어서 정확도가 떨어지는 문제점이 있다[3]. 저항의 경우 통상 5[%]의 오차가 있으며, 가격경쟁력을 갖는 터치키 설계시 크리스털 발진기를 이용하지 않고 발진 주파수의 변동이 큰 RC발진기를 이용하는 관계로 이에 대한 대책이 필요하다.

본 논문에서는 저항과 클럭주파수 변동에 따른 문제점을 완화시킬 수 있는 RC지연 방식의 정전용량 측정 방법을 제안한다. 특히 양자화 오차를 무시할 경우 저항값과 클럭주파수와 무관하게 정전용량을 측정할 수 있음을 보인다. 양자화 오차가 실제 존재하지만 실험결과 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 제안된 방법에서는 측정하고자 하는 두 개의 정전용량을 한 쌍으로 동작시키며 이들 두 정전용량의 비를 구하는 방법이다. 터치키에서 도체에 손가락이 접근될 때 수십 [pF]의 정전용량 변화가 발생하는데, 실험결과 제안된 방법은 1.04[pF]의 해상도를 가져 터치키로 사용할 수 있음을 확인하였다. 2장에서는 기존 방법 및 제안된 정전용량 측정 방법에 대해 설명하고, 3장에서는 실험결과를, 그리고 4장에서는 결론을 맺는다.

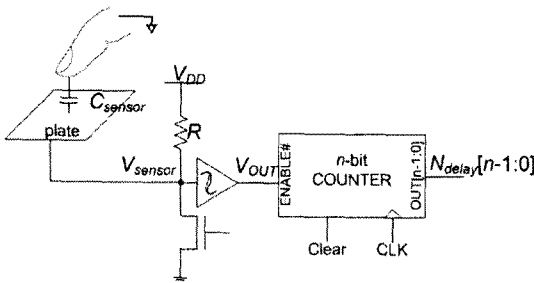
## 2. RC지연을 이용한 정전용량 측정

### 2.1 RC 지연측정 기본 회로

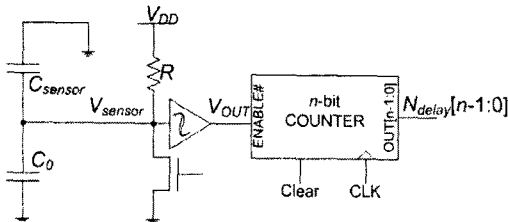
그림 1 (a)는 RC 지연을 이용한 정전용량 측정 회로로 금속판(plate)과 손가락 사이에 유기되는 정전용량  $C_{sensor}$ 를 측정한다. 디지털 소자를 이용해 그림 1 (a) 회로도를 그림 1 (b)와 같이 구현할 수 있다. 비교기와  $V_{TH}$ 는 슈미트 트리거(schmitt trigger) 입력 버퍼를 이용하면 되고, 초기에  $V_{sensor}$ 를 0[V]로 초기화 하는 부분과 저항은 오픈드레인(open-drain)을 이용하면 된다. 그림 1 (c)에서는 금속판(plate)을 등가회로로 나타냈으며  $C_0$ 는 금속판에 유기되는 기생정전용량을 나타낸 것이다.



(a) RC 지연을 측정하는 기본 회로



(b) 오픈드레인과 슈미트 트리거를 이용해 제안된 회로 구현



(c) 금속판의 등가모델을 적용한 회로

그림 1. RC 지연을 이용한 정전용량 측정 방법  
Fig. 1. Capacitance sensing method using RC delay

RC 지연을 측정하기 위해 커패시터를 방전한 후 저항을 통해 전류를 공급하면 커패시터의 전압  $V_{sensor}$ 가 상승한다. 커패시터 전압  $V_{sensor}$ 와  $V_{TH}$ 를 비교하여  $V_{sensor} < V_{TH}$  구간의 시간을 측정한다. 그림 1 (a) 회로에서  $V_{sensor}$ 를 구하면 수식 (1)과 같으며  $t = T_{delay}$ 일 때  $V_{sensor} = V_{TH}$ 가 되므로 (1)식을 이용하면  $T_{delay}$ 는 수식 (2)와 같이 표현된다.

$$V_{sensor}(t) = V_{DD} [1 - e^{-t/R(C_{sensor} + C_0)}] \quad (1)$$

$$T_{delay} = R(C_{sensor} + C_0) \ln \frac{V_{DD}}{V_{DD} - V_{TH}} \quad (2)$$

식 (2)에서  $T_{delay}$  값이  $C_{sensor}$ 에 비례함을 알 수 있으며,  $T_{delay}$  값을 디지털 값으로 변환한 카운터 출력 값  $N_{delay}$  역시  $C_{sensor}$ 에 비례함을 알 수 있다. 여기서  $N_{delay}$ 는 식 (3)과 같으며  $T_{CLK}$ 는  $CLK$ 의 주기를 나타낸다.

$$N_{delay} = \left\lceil \frac{T_{delay}}{T_{CLK}} \right\rceil \quad (3)$$

$$= \left\lceil \frac{R(C_{sensor} + C_0)}{T_{CLK}} \ln \frac{V_{DD}}{V_{DD} - V_{TH}} \right\rceil$$

수식 (3)에서 저항과 동작주파수에 따라  $T_{delay}$ 가 변화됨을 알 수 있다. 통상 저항의 오차가 5% 정도 되고, 가격경쟁력을 갖춘 터치키 제작을 위해 주파수 변동성이 큰 RC 발진기를 이용하는 경우가 많으므로 이에 대한 대책이 필요함을 알 수 있다.

## 2.2 제안된 정전용량방식 터치키

본 논문에서 제안한 방법은 측정하고자 하는 정전용량 두 개를 한 쌍으로 구성하여 측정하는 방식으로 그림 2 (a)와 같다. 그림 2 (b)는 두 개의 도체판 (plate)을 등가회로로 나타낸 것이다. 여기서 도체판 0의 기생정전용량을  $C_0$  그리고 도체판1의 기생정전용량을  $C_1$ 로 표시하였다.

제안된 회로의 동작 순서는 다음과 같다.

Step 1: 스위치 1과 3을 이용해  $V_{sensor0}$ 과  $V_{sensor1}$ 의 전압을 0으로 초기화 한다.

Step 2: R과  $C_{sensor1}$ 의 지연을 구하기 위해 스위치 0을 연결하여  $V_{OUT1}$ 이 1이 될 때까지의 지연을 측정한다. 이때 지연을  $T_{sensor1}$ 이라 하고 이를  $CLK$  기준으로 양자화 한 값을  $N_{sensor1}$ 이라 하면

$$N_{sensor1} = \left\lceil \frac{T_{sensor1}}{T_{CLK}} \right\rceil$$

$$= \left\lceil \frac{R(C_{sensor1} + C_1)}{T_{CLK}} \ln \frac{V_{DD}}{V_{DD} - V_{TH}} \right\rceil$$

이 된다.

저임과 클럭 주파수 변동에 의한 문제를 감소시킨 풀 디지털 방식 정전용량 센싱 터치키 설계

Step 3: 스위치 1과 3으로  $V_{sensor0}$ 과  $V_{sensor1}$ 을 0[V]로 초기화 한다.

Step 4:  $R$  과  $C_{sensor0}$ 의 지연을 구하기 위해 스위치 2를 연결하여  $V_{OUT0}$ 이 1이 될 때까지 지연을 측정한다. 이때 지연을  $T_{sensor0}$ 이라 하고 이를  $CLK$  기준으로 양자화 한 값을  $N_{sensor0}$ 이라 하면

$$N_{sensor0} = \left\lceil \frac{T_{sensor0}}{T_{CLK}} \right\rceil$$

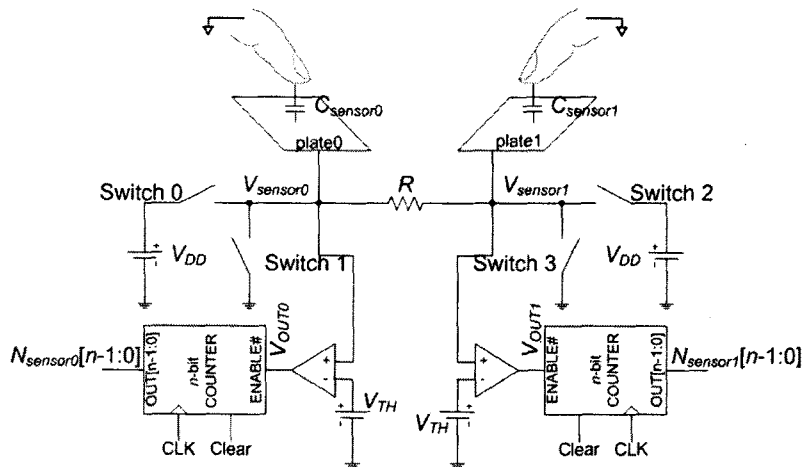
$$= \left\lceil \frac{R(C_{sensor0} + C_0)}{T_{CLK}} \ln \frac{V_{DD}}{V_{DD} - V_{TH}} \right\rceil$$

이 된다.

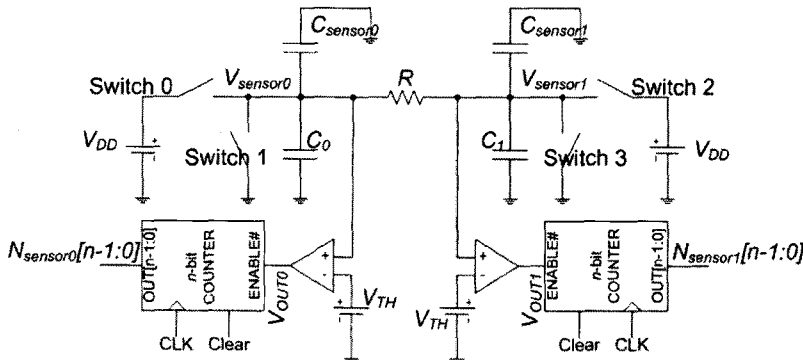
여기서 구한 두 지연의 비를 구하면 수식 (4)와 같아지며 양자화 오차를 무시할 경우 정전용량 비로 표현되므로 저항, 동작전압, 동작주파수,  $V_{TH}$ 에 무관함을 알 수 있다.

$$\frac{N_{sensor1}}{N_{sensor0}} = \frac{\left\lceil \frac{T_{sensor1}}{T_{CLK}} \right\rceil}{\left\lceil \frac{T_{sensor0}}{T_{CLK}} \right\rceil} \approx \frac{\frac{T_{sensor1}}{T_{CLK}}}{\frac{T_{sensor0}}{T_{CLK}}} \quad (4)$$

$$= \frac{C_{sensor1} + C_0}{C_{sensor0} + C_0}$$



(a) 제안된 방법의 기본 개념 회로



(b) 금속판의 등가모델을 적용한 회로

그림 2. 제안된 정전용량 측정 회로

Fig. 2. Proposed capacitance sensing circuit

2장 1절에서와 같이 제안된 방법에서 비교기와 기준전압  $V_{TH}$  대신 슈미트트리거 입력소자를 사용하고, 스위치0과 스위치1은 삼상버퍼(tri-state buffer)를 이용해 디지털 소자로 구현할 수 있다.

제안된 회로를 이용해 터치키를 구현할 때 잡음 문제를 완화하기 위해  $N_{sensor1}$ 과  $N_{sensor0}$ 을  $m$ 번 측정 한 후 이들 비의 평균값을 이용한다. 이렇게 평균값을 이용하면 순간적인 잡음에 의해 발생하는 오류를 줄일 수 있는 효과가 있으며, 백색잡음에 대해서도 단일 측정정보도 좋은 결과를 얻을 수 있다. 여기서 수식 (5)와 같이 함수  $FuncK$ 를 정의한다.

$$FuncK = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{N_{sensor1}}{N_{sensor0}} \quad (5)$$

식 (5)를 이용할 경우 나눗셈을  $m$ 번 수행해야 하는 문제점이 있으므로 수식 (6)과 같이 근사화 한다. 측정한  $N_{sensor0}$ 의 값 변동이 크지 않다고 가정할 경우 수식(6)과 같이 근사화 할 수 있으며 나눗셈을 한번만 수행해도 됨을 알 수 있다. 앞으로 모든 실험에서는 수식 (6)을 사용한다.

$$FuncK = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{N_{sensor1}}{N_{sensor0}} \quad (6)$$

$$\approx \frac{\sum_{i=1}^m N_{sensor1}}{\sum_{i=1}^m N_{sensor0}}$$

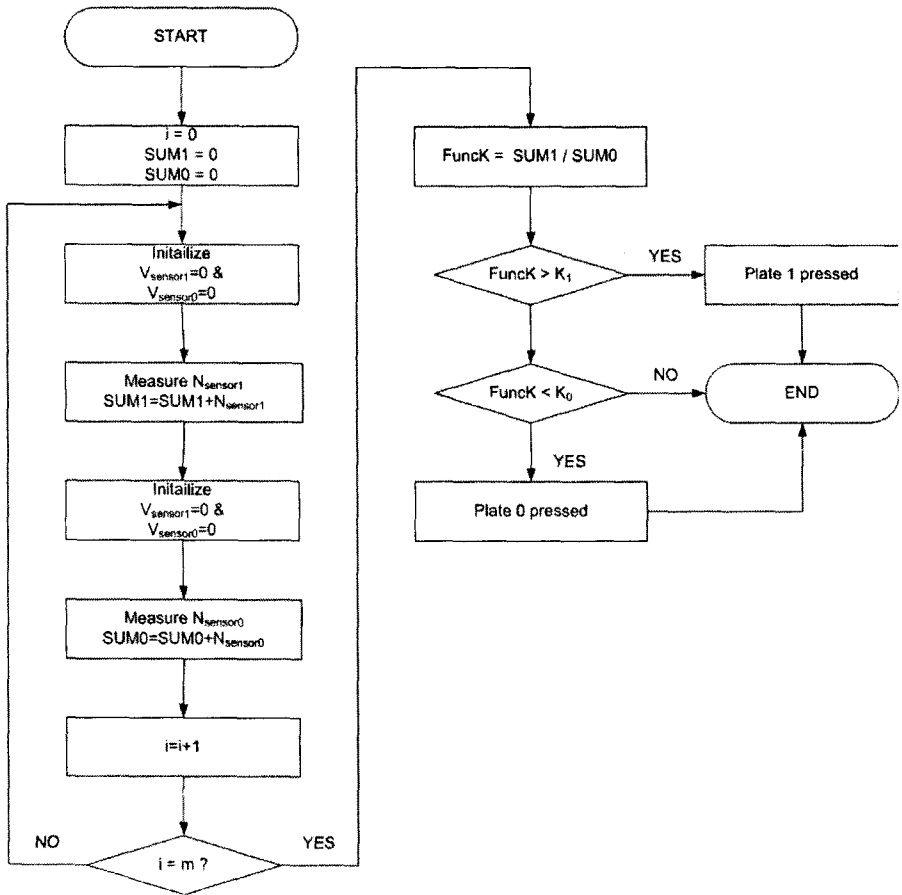


그림 3. 제안된 정전용량 측정방법을 이용한 터치키 동작순서  
Fig. 3. Operation sequence of touch key using proposed capacitive sensor

이를 이용한 터치키 동작 순서는 그림 3과 같으며  $FuncK > K_I$ 이면 도체판1이 눌러진 것이고,  $FuncK < K_0$ 이면 도체판0이 눌러진 것으로 판단한다. 이때  $K_0$ 과  $K_I$ 는 임의의 상수로  $K_I$ 이  $K_0$ 보다 크며 실험적 데이터로 설정되는 값이다.

제안된 방법의 해상도(resolution)와 민감도(sensitivity)를 알아보기로 한다[9]. 이상적인 경우 즉 잡음이 없을 경우 매번  $N_{sensor1}$ 과  $N_{sensor0}$ 을 측정하여도 같은 값이 유지되며, 양자화를 고려하지 않으면 수식 (6)은 (7)과 같이 전개된다.

$$FuncK = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{N_{sensor1}}{N_{sensor0}} \approx \frac{C_{sensor1} + C_1}{C_{sensor0} + C_0} \quad (7)$$

민감도를 측정하기 위해  $C_{sensor0}$ 을 고정시키고  $C_{sensor1}$ 을 변화하면서  $FuncK$ 를 측정한다. 이 경우 민감도는 수식 (8)과 같아진다. 민감도는 측정하려는 정전용량의 변화에 따른 측정함수  $FuncK$ 의 변화량을 의미하며  $FuncK$ 와 정전용량 그래프에서 직선의 기울기에 해당된다.

$$S = \frac{\delta FuncK}{\delta C_{sensor1}} = \frac{1}{C_{sensor0} + C_0} \quad (8)$$

해상도는 측정할 수 있는 최소 정전용량 변화량을 의미하며 수식 (8)로부터 수식(9)와 같아진다.  $FuncK$ 는 실험을 통해 측정할 수 있으며,  $FuncK$ 의 최대 변화량을 알게 되면 그로부터 측정하고자 하는 정전용량의 해상도를 식(9)를 통해 구할 수 있다.

$$\delta C_{sensor1} = \frac{\delta FuncK}{S} \quad (9)$$

### 3. 실험결과

제안된 방법의 특성을 측정하기 위해 그림 4와 같이 FPGA를 이용해 제안된 회로를 구현하였다. 슈미트트리거 입력은 TTL을 이용하였고 이를 제외한 나머지 디지털 회로는 Altera사의 Cyclone II FPGA를 이용해 구현하였다. 제안된 회로는 8개의 터치키가 지원되도록 설계 되었으며 전체 게이트 수(gate count)는 8,000개 정도 되고 20[MHz]에서 동작함을

확인하였다. 측정된 데이터 수집을 위해 제안된 회로는 I2C 인터페이스를 지원하며 이를 통해 MCU에서 제안된 회로의 컨트롤 레지스터를 접근할 수 있다. 또한 MCU의 UART를 통해 PC와 인터페이스할 수 있게 하였다.

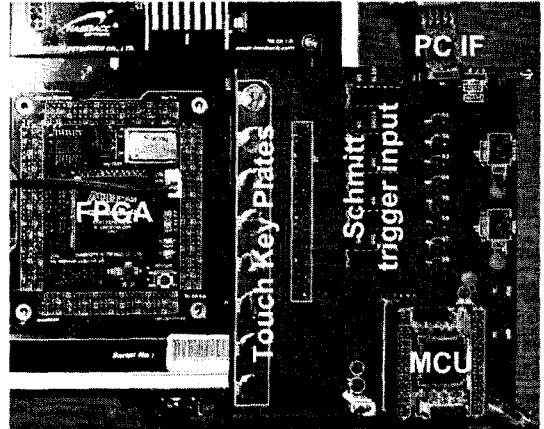


그림 4. 제안된 회로를 FPGA를 이용해 구현한 사진  
Fig. 4. The picture shows the proposed circuit implemented using FPGA

제안된 방법의 해상도(resolution)를 구하기 위해  $C_{sensor0}$ 에 1[pF]을 연결한 후  $C_{sensor1}$  값을 1~10[pF]까지 변경하면서  $FuncK$ 를 구하였다.  $FuncK$ 를 측정할 때 수식 (6)에서  $m$ 은 30으로 하였다. 일반적으로  $m$ 을 증가시키면 해상도가 향상되지만  $m$ 을 무한정 키운다고 해서 해상도 향상되는 것은 아니므로 실험에 의해  $m$ 을 30으로 정하였다.

수식 (7)에 의하면 측정하고자 하는 두 정전용량 사이의 저항과 클럭 주파수는  $FuncK$  측정 시 영향을 주지 않는다. 그러나 이는 양자화 오차를 무시한 경우이고, 양자화 오차를 고려하면 실제 저항 값과 클럭 주파수는  $FuncK$ 에 영향을 미친다. 저항값이 커지면 양자화 오차가 줄어들지만 잡음에 취약해진다. 그리고 클럭 주파수 역시 높을수록 양자화 오차가 줄어들지만 회로의 최대 동작 주파수가 정해져 있으므로 이를 높이는데 한계가 있다. 본 실험에서 설계한 회로의 최대 동작 주파수가 20[MHz]이어서 이를 이용하였으며, 주파수가 20[MHz]일 경우 저항 값은 100[KΩ]일 때 좋은 결과를 보였다. 이때 측정

한 정전용량에 대한  $FuncK$ 의 그래프는 그림 4와 같다. 실험에서  $FuncK$ 를  $n (=1,000)$ 번 측정하여 이들의 평균값, 최저값과 최대값을 구하였다.

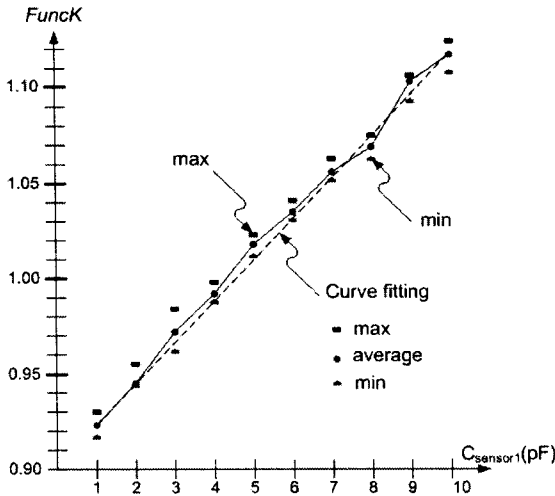


그림 5. 정전용량  $C_{sensor0}$ 을 1(pF)으로 고정하고 후  $C_{sensor1}$ 변화에 따른  $FuncK$  측정 그래프  
Fig. 5.  $FuncK$  versus capacitance  $C_{sensor1}$  with fixed 1(pF)  $C_{sensor0}$

그림 5에서 최소제곱에러방식(least square error method)를 이용해 평균값의 직선 방정식을 구하여 점선으로 표시하였다. 직선의 방정식은  $FuncK = 0.0211 C_{sensor1} + 0.907$ 가 된다. 여기서 직선의 기울기가 민감도(sensitivity)  $S$ 에 해당된다. 그래프가 원래 기대한 것 보다 아래로 내려갔지만 이는 PCB 설계시 전선의 기생정전용량 등에 의해 발생하는 것으로 보인다.

정전용량을  $n$ 번 측정할 때 최대값과 최소값이 발생하고, 그래프에서 (최대값 - 최소값) 중 가장 큰 오차는  $C_{sensor1}$ 이 3[pF]일 때 0.022이므로 수식 (13)에 의해 해상도는  $\delta C_{sensor1} = \frac{\delta FuncK}{S} =$

$$\frac{0.0220}{0.0211} = 1.04[pF] \text{ 이 됨을 알 수 있다.}$$

다음은 동작 주파수 변동에 따른  $FuncK$  변화에 대해 실험하였다. 앞의 실험과 같이  $C_{sensor0}$ 에는 1[pF]를 연결하고  $C_{sensor1}$ 을 1[pF]에서 10[pF]까지 변화시키면서  $FuncK$ 를 각각 1,000번 측정하여 평균값을 나타내었다. 이때 100[KΩ] 저항을 사용하였다. 이에 대한 결과는 표 1과 같으며 동작 주파수에

표 1. 10(MHz), 16(MHz), 20(MHz) 동작 주파수에 대해 측정한  $FuncK$   
Table 1.  $FuncK$  value with clock frequency 10(MHz), 16(MHz) and 20(MHz)

$C_{sensor1}$	1[pF]	2[pF]	3[pF]	4[pF]	5[pF]	6[pF]	7[pF]	8[pF]	9[pF]	10[pF]
10[MHz]	0.924	0.954	0.975	0.998	1.019	1.038	1.056	1.077	1.099	1.119
16[MHz]	0.924	0.952	0.973	0.997	1.019	1.037	1.059	1.074	1.100	1.117
20[MHz]	0.923	0.950	0.972	0.992	1.018	1.035	1.056	1.069	1.098	1.117
$\frac{\text{max} - \text{min}}{\text{average}}$	0.2[%]	0.4[%]	0.3[%]	0.6[%]	0.2[%]	0.3[%]	0.3[%]	0.7[%]	0.2[%]	0.2[%]

표 2. 저항값 95(KΩ), 100(KΩ), 105(KΩ)에 대해 측정한  $FuncK$   
Table 2.  $FuncK$  value with resistance 95(KΩ), 100(KΩ) and 105(KΩ)

$C_{sensor1}$	1[pF]	2[pF]	3[pF]	4[pF]	5[pF]	6[pF]	7[pF]	8[pF]	9[pF]	10[pF]
95[KΩ]	0.917	0.941	0.964	0.984	1.010	1.025	1.046	1.058	1.086	1.107
100[KΩ]	0.923	0.950	0.972	0.992	1.018	1.035	1.056	1.069	1.098	1.117
105[KΩ]	0.928	0.958	0.979	1.001	1.023	1.042	1.063	1.077	1.103	1.123
$\frac{\text{max} - \text{min}}{\text{average}}$	1.24[%]	1.82[%]	1.50[%]	1.68[%]	1.28[%]	1.61[%]	1.61[%]	1.78[%]	1.55[%]	1.45[%]

10[MHz], 16[MHz], 20[MHz]로 변경할 지라도 *FuncK*는 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

실험결과 편차가 0.7[%] 이내여서 제안된 방법이 동작주파수에서 거의 무관함을 알 수 있다.

다음은 저항값 변동에 따른 *FuncK* 변화에 대해 실험하였다. 사용되는 저항은 통상 5[%]오차를 가지므로 100[KΩ]기준으로 ±5[%]의 저항변화를 주어 실험하였다. 앞의 실험과 같이  $C_{sensor0}$ 에는 1[pF]를 연결하고  $C_{sensor1}$ 을 1[pF]에서 10[pF]까지 변화시키면서 *FuncK*를 각각 1,000번 측정하여 평균값을 나타내었다. 이에 대한 결과는 표 2와 같다. 실험결과 저항값이 10[%]오차를 가지지만 제안된 방법으로 측정된 *FuncK*의 편차는 1.68[%]이내임을 알 수 있어 제안된 방법이 저항값에 민감하지 않음을 알 수 있다. 그러나 이 편차는 기대한 것보다 큰 편차를 갖는데 이는 스위치의 내부 저항에 의한 것으로 추측된다. 본 논문에서는 스위치의 저항값을 0으로 하였으나 실제에는 0이 아닌 관계로 이에 대한 사항을 고려하지 않아 발생한 것으로 보인다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 풀 디지털 방식의 터치키 응용을 위한 정전용량 센싱 기법을 제안하였다. 제안된 방법은 측정하고자 하는 정전용량 한 쌍과 정전용량 사이의 저항으로 구성되어 있으며, 저항과 각 정전용량의 지연을 측정해 두 정전용량 비를 구한 후 이를 이용해 터치키의 on/off를 판단한다. 제안된 방법은 저항값과 동작주파수의 영향을 효과적으로 줄일 수 있으며 측정결과 1.04[pF]의 정전용량 해상도를 보여 터치키에 적용할 수 있음을 보였다.

#### References

- [1] Wayne Palmer, "Building a reliable capacitive-sensor interface", 30 June 2008(Online). Available: <http://www.planetanalog.com>.
- [2] David Marsh, "Capacitive touch sensors gain fans", 01 Sep 2006(Online). Available: <http://www.ednasia.com>.
- [3] Larry K. Baxter, "Capacitive sensors: Design and applications", John Wiley, 1996.
- [4] John O'Dowd et al., "Capacitive sensor interfacing using sigma-delta techniques," The 4th IEEE Conference on Sensors, pp. 951-954, Oct. 2005.
- [5] Sungsik Lee et al., "1.5(V) Sub-mW CMOS interface circuit for capacitive sensor applications in ubiquitous sensor networks," ETRI Journal, Vol. 30, Num. 5, pp. 644-652, Oct. 2008.
- [6] Wouter Bracke et al., "Ultra-low-power interface chip for autonomous capacitive sensor systems," IEEE Trans. on Circuits and Systems-I, Vol. 54, Num. 1, pp. 130-207, Jan. 2007.
- [7] XiuJun Li, Gerard C.M.Meijer, "An accurate interface for capacitive sensors", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, vol.51, no. 5, pp. 935-939, Oct. 2002.
- [8] Cheng-Ta Chiang, Yu-Chung Huang, "A semicylindrical capacitive sensor with interface circuit used for flow rate measurement", IEEE Sensors Journal, vol.6, no.6, pp. 1564-1570, Dec 2006.
- [9] Nils Karlsson, "A study of a high-resolution linear circuit for capacitive sensors", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, vol. 48, no. 6, pp. 1122-1124. Dec 1999.

#### ◆ 저자소개 ◆

##### 성광수 (成光洙)

1966년 10월 2일생. 1990년 한양대학교 전자공학과 졸업.  
1992년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(석사).  
1997년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(박사).  
현재 영남대학교 전자정보공학부 부교수.