

3축 위치 센서를 위한 차동 용량차-시간 변환기

원창수 정원섭 손상희
 청주대학교 전자정보공학부

A differential capacitance deviation-to-time converter for triaxial position sensor

Chang-su Won, Won-Sup Chung, Sang-Hee Son
 Department of Semiconductor Engineering, Chongju University

Abstract - A differential capacitance deviation-to-time converter for interfacing position sensor is presented. It consists of triaxial position sensor, six comparators, six current mirrors, and control logic. The prototype differential capacitance deviation-to-time interval converter has been simulated using Chartered 0.35- μm CMOS parameters. The simulation results show that the maximum conversion time of the converter is 350 μs and the linearity error is less than $\pm 0.0015\%$.

1. 서 론

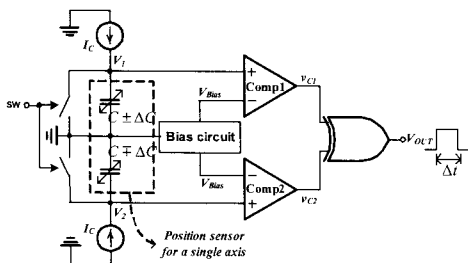
차동 용량 변화 방식의 위치 센서는 물체의 위치 및 기울림 등을 감지하는데 사용된다. 최근에 들어서는 MEMS 기술의 발달로 인하여 이 센서가 점점 소형화 되어 가고 있고, 이에 따라 작은 커패시터 용량 변화를 디지털 값으로 변환하기 위한 인터페이스 회로 기술 개발이 활발히 연구되고 있다.

본 논문에서 채택한 3축 위치 센서는 2 pF 기준에서 ± 1 pF의 변화를 가지는 차동 커패시터 형태이다. 기존의 인터페이스 회로는 작은 커패시터 변화량을 감지하기 위한 증폭기와 회로의 안정성을 위한 보상회로를 필요로 하기 때문에, 회로가 복잡하고 저전력화가 어려운 문제를 가지고 있다. 이를 해결하기 위한 하나의 방안으로 본 논문에서는 회로가 간단하여 저전력화 및 집적회로화 하기에 유리한 차동 용량-시간차 변환기를 제안한다.

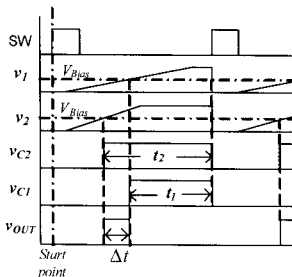
2. 본 론

2.1 차동 용량차-시간 변환기

제안한 차동 용량 변화 방식의 위치센서를 위한 차동용량-시간차 변환기를 그림 1에 나타냈다. 그림 1에 보인 차동용량-시간차 변환기는 1축 위치센서와 2개의 비교기, 2개의 정전류원, 하나의 전압 바이어스 회로, 제어 논리 회로로 구성된다. 센서에 흐르는 정전류 I_C 는 공급전압과 온도의 변화를 거의 받지 않도록 설계하였다[1], [2].



<그림 1> 차동 용량차-시간 변환기



<그림 2> 차동 용량차-시간 변환기의 동작 파형

그림 2의 동작 파형으로부터 알 수 있듯이, 차동 용량차-시간 변환기는 센서의 차동 용량차에 따라 기울기가 다른 v_1, v_2 직분전압들이 각각 비교기들의 +입력단에 나타난다. 이 전압들은 비교기에 의해 바이어스전압 V_{BIAS} 과 비교되어 펄스전압 t_1, t_2 로 변환된다. 펄스전압 t_1, t_2 는 다음과 같이 나타난다.

$$t_1 = \frac{C + \Delta C}{I_C} \times V_{BIAS} \quad (1)$$

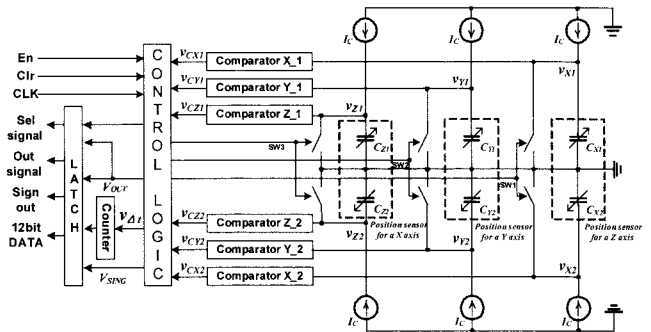
$$t_2 = \frac{C - \Delta C}{I_C} \times V_{BIAS} \quad (2)$$

여기서 C 는 센서의 기준 용량이고 ΔC 는 중력 변화에 대한 센서의 용량 변화를 나타낸다. t_1 과 t_2 는 XOR 게이트에 의해 시간차로 위해서 다음과 같이 출력된다.

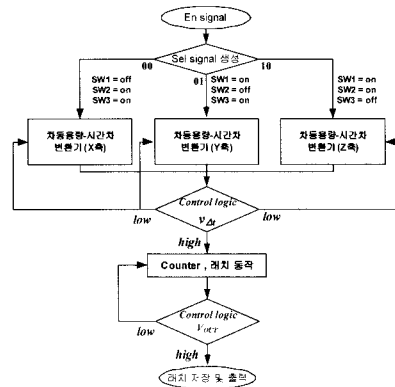
$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{2\Delta C}{I_C} \times V_{BIAS} \quad (3)$$

식 (3)은 변환기가 위치 센서의 용량 변화값 ΔC 에 비례하는 등가적인 출력 펄스를 제공한다는 것을 가리킨다.

2.2 3축 위치 센서들을 위한 차동 용량차-시간 변환기

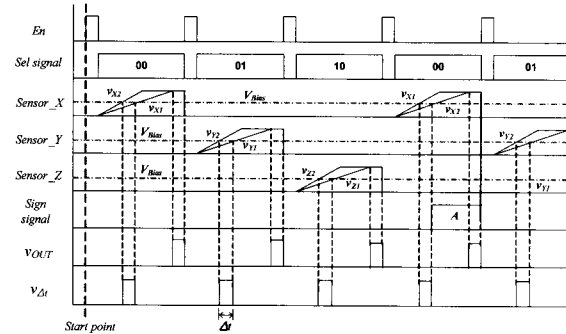


<그림 3> 3축 위치 센서를 위한 차동 용량차-시간 변환기



<그림 4> 3축 위치 센서를 위한 차동 용량차-시간 변환기 동작 순서도

3축 위치 센서를 위한 차동 용량차-시간 변환기를 그림 3에 나타냈다. 이 변환기는 3축 위치 센서와 6개의 비교기, 6개의 정전류원, 제어 논리 회로, 12-비트 카운터, 그리고 16-비트 래치로 구성된다.



〈그림 5〉 3축 위치 센서를 위한 차동 용량차-시간 변환기 동작 파형

그림 3에 나타난 변환기의 동작원리를 그림 4에 나타냈다. 변환 주기의 시작에 앞서서, 각각의 스위치는 제어 논리회로에 의해 닫혀 있게 된다. 회로가 동작을 시작하면 즉, En 신호가 인가되면 제어 논리 회로에 의해 2-비트의 'Sel signal'을 생성한다. 생성된 'Sel signal'은 스위치들(SW1, SW2, SW3)을 제어한다. 이 스위치에 의해 선택된 차동 용량차-시간 변환기는 위치센서의 차동용량 변화값 ΔC 를 펄스폭 ΔT 로 변환시킨다. ΔT 값이 'high'가 되면 12-비트 카운터와 16-비트 래치를 동작시키는데 반해 'low'이면 현 상태를 유지한다. 제어 논리 회로에 의해 발생된 V_{OUT} 전압이 'high' 상태인 경우 카운터의 값을 래치에 저장하고 카운터는 초기화 된다.

그림 5에 3축 위치 센서를 위한 차동 용량차-시간 변환기의 동작 파형을 보였다. 센서의 차동용량 변화값 ΔC 에 비례하는 펄스폭 ΔT 는 En신호에 의해 각각의 축에 대하여 순차적으로 출력된다. 또한, 그림 5에 보인 'Sign signal' 펄스 A는 차동 용량차-시간 변환기의 출력 펄스폭 ΔT 에 대한 부호 판별 신호를 나타낸다.

3축 위치 센서를 위한 차동 용량차-시간 변환기의 최종 출력은 외부의 클럭을 ΔT 기간 동안 카운팅하여 디지털 데이터로 표현된다. 카운터는 12-비트 리플 카운터를 사용하였고, 래치는 D-플립플롭을 이용하여 구현하였다.

2.3 실험 결과

설계된 3축 위치 센서를 위한 차동 용량차-시간 변환기는 Chartered 0.35- μm CMOS 공정 파라미터를 사용하여 Hspice로 시뮬레이션 하였다. 변환기의 직류 바이어스 전압을 공급하기 위한 바이어스 회로는 참고문헌 [1]과 [2]에 제시된 회로들을 기초로 하여 설계하였다. 그림 6에 보인 바이어스 회로를 시뮬레이션 한 결과 공급전압 3.3 V 기준에서 $\pm 10\%$ 일 때 출력전압의 오차는 0.01 mV 미만이며 온도변화에 따른 출력 특성은 표 1에 보인 것과 같다.

〈표 1〉 바이어스 회로 온도 특성 ($V_{DD} = 3.3 \text{ V}$ 기준)

	$V_{REF}(\text{mV})$	$V_{Bias}(\text{V})$		$V_{REF}(\text{mV})$	$V_{Bias}(\text{V})$
-25 $^{\circ}\text{C}$	846.19	2.5383	25 $^{\circ}\text{C}$	839.61	2.5185
0 $^{\circ}\text{C}$	842.49	2.527	50 $^{\circ}\text{C}$	837.54	2.5123

위 결과로부터 바이어스 전압은 공급전압과 온도 변화의 영향을 거의 받지 않으므로 전류 미러를 통해 일정한 전류 $I_C = 80 \text{ nA}$ (25 $^{\circ}\text{C}$ 기준)가 각 센서에 공급된다는 것을 알 수 있다. 비교기는 일반적인 비교기를 사용하여 설계하였다[2].

그림 7은 센서의 용량 차에 대한 펄스 폭 변화와 온도 특성을 측정된 결과를 보여준다. 이 그림으로부터 선형 오차는 $\pm 0.0015\%$ 이내이고, 약 2000 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 의 온도 특성을 가진다는 것을 알 수 있다. 회로의 최대 변환 시간은 350 μs 이다.

3. 결 론

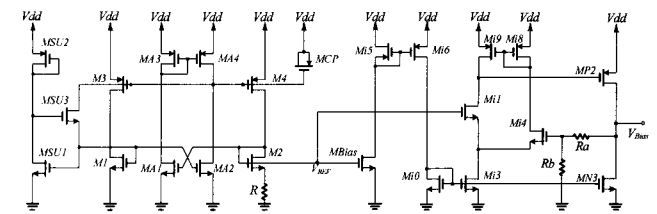
3축 위치 센서를 위한 차동 용량차-시간 변환기에 대해 기술하였다. 이 변환기는 구성이 간단하며, 소비전력은 5 mW 이내로 매우 작다. 또한, 공급전원 및 온도 변화에 대한 영향이 적고, 변환 특성의 선형성이 좋기 때문에, 주파수가 더 높은 클럭을 사용하게 되면 더 높은 분해능을 얻을 수 있다. 설계된 3축 위치 센서를 위한 차동용량-시간차 변환기는 위치 센서뿐만 아니라 여러 가지 형태의 용량형 센서 신호 처리에 폭넓게 응용될 수 있을 것이다.

감사의 글

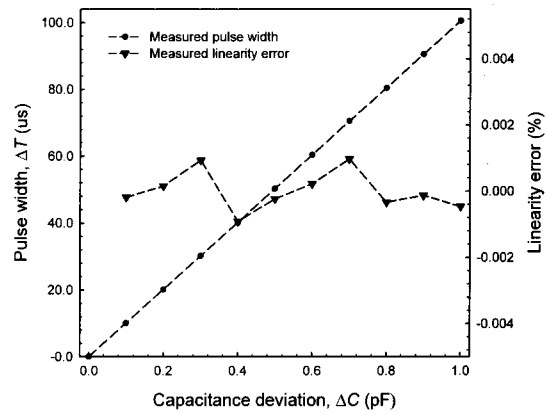
이 논문 또는 저서는 2008년 정부(교육과학기술부)의 지원을 받아 수행된 연구임

참고 문헌

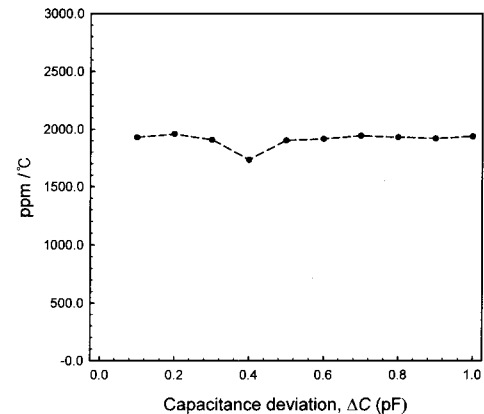
- [1] F. Azdis, S. Bernard, Y. Bertrand, X. Michel, M. Renovell "A low-cost adaptive ramp generator for analog BIST application s," *Proceedings of IEEE VLSI TEST SYMPOSIUM, CA*, April 2001.
- [2] R. J. Baker "CMOS circuit design, layout, and simulation : second edition," John Wiley & Sons Inc., Ch. 20, 2002.



〈그림 6〉 바이어스 회로



(a) 변환 특성



(b) 온도 특성

〈그림 7〉 3축 위치 센서를 위한 차동 용량차-시간 변환기의 특성