

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G04F 10/00 (2006.01) *G01S 17/10* (2020.01)
G01S 7/4865 (2020.01)

(52) CPC특허분류
G04F 10/005 (2013.01)
G01S 17/10 (2021.01)

(21) 출원번호 10-2022-0045808

(22) 출원일자 2022년04월13일
 심사청구일자 2022년04월13일

(71) 출원인
 울산과학기술원
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자
 김성진
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
 한수현
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(74) 대리인
 리앤목특허법인

(54) 발명의 명칭 TOF(time of flight)를 이용한 거리 측정 시스템에서, 신호의 시간-디지털 변환을 위한 장치 및 방법

본 개시는 수광 소자를 통해 획득한 광을 이용한 광 펄스 신호로부터 거리를 측정하는 시스템에 관한 것이다. 본 개시에 따르면, 거리 측정 시스템에서 시간 디지털 변환기는 상기 광 펄스 신호의 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스에 기반하여 전압이 강하된 제1 출력 신호를 생성하는 제1 아날로그 카운터, 상기 광 펄스 신호의 제2 윈도우 영역에 포함된 펄스에 기반하여 전압이 강하된 제2 출력 신호를 생성하는 제2 아날로그 카운터, 상기 제1 출력 신호의 크기와 상기 제2 출력 신호의 크기를 비교하는 비교기, 및 상기 제1 아날로그 카운터와 상기 제2 아날로그 카운터 각각에 윈도우 영역을 지시하는 정보를 입력하고, 상기 비교기의 출력에 기반하여 디지털 코드를 생성하는 디지털 카운터를 포함할 수 있다.

[illegible]

(52) CPC특허분류

G01S 7/4865 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415175236
과제번호	20015989
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	전략제품창출글로벌K-웹리스육성기술개발(R&D)
연구과제명	차세대 고기능 모바일 카메라 응용을 위한 핵심 시스템반도체(Sensorshift 5축 제어
OIS controller 연속 zoom controller TOF 센서 IC) 기술 개발	
기 여 율	1/1
과제수행기관명	주식회사동운아나텍
연구기간	2021.04.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

수광 소자를 통해 획득한 광을 이용한 광 펄스 신호로부터 거리를 측정하는 시스템에서, 시간 디지털 변환기(time-to-digital converter, TDC)에 있어서,

상기 광 펄스 신호의 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스에 기반하여 전압이 강화된 제1 출력 신호를 생성하는 제1 아날로그 카운터;

상기 광 펄스 신호의 제2 윈도우 영역에 포함된 펄스에 기반하여 전압이 강화된 제2 출력 신호를 생성하는 제2 아날로그 카운터;

상기 제1 출력 신호의 크기와 상기 제2 출력 신호의 크기를 비교하는 비교기; 및

상기 제1 아날로그 카운터와 상기 제2 아날로그 카운터 각각에 윈도우 영역을 지시하는 정보를 입력하고, 상기 비교기의 출력에 기반하여 디지털 코드를 생성하는 디지털 카운터를 포함하는 시간 디지털 변환기.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 제1 아날로그 카운터는,

전원 신호를 인가하는 멀티플렉서(multiplexer);

상기 제1 아날로그 카운터의 전원 단에 연결되는 제1 커패시터;

상기 제1 아날로그 카운터의 접지 단과 연결되는 제2 커패시터; 및

상기 제1 커패시터와 상기 제2 커패시터 사이에 연결되고, 상기 멀티플렉서로부터의 신호 수신에 대응하여 제1 출력 신호를 생성하는 스위치 트랜지스터를 포함하는 시간 디지털 변환기.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 스위치 트랜지스터는 제1 트랜지스터와 제2 트랜지스터를 포함하고,

상기 제1 트랜지스터와 상기 제2 트랜지스터는 캐스코드(cascode) 구조로 연결되는 시간 디지털 변환기.

청구항 4

청구항 2에 있어서,

상기 제1 아날로그 카운터는,

상기 제1 커패시터와 상기 제2 커패시터에 충전된 전하를 초기화하고,

상기 멀티플렉서를 통한 인가 전원에 기반하여, 상기 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스의 수에 대응하여 전압이 강화된 상기 제1 출력 신호를 출력 하고,

상기 제2 커패시터에 충전된 전하를 방전시키는 시간 디지털 변환기

청구항 5

청구항 2에 있어서,

상기 제1 출력 신호는 상기 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스의 수만큼 전압 변화량이 적용된 전압 신호를 포함하고,

상기 전압 변화량은 상기 제1 커패시터에 관한 제1 커패시턴스와 상기 제2 커패시터에 관한 제2 커패시턴스의 비율에 기반하여 결정되는 시간 디지털 변환기.

청구항 6

청구항 2에 있어서,

상기 제2 아날로그 카운터의 회로 구조는 상기 제1 아날로그 카운터의 회로 구조와 동일한 시간 디지털 변환기

청구항 7

청구항 2에 있어서,

상기 디지털 카운터는,

상기 제1 출력 신호와 상기 제2 출력 신호에 기반하여 제1 단위의 물체 거리에 관한 제1 디지털 코드를 결정하고,

램프(ramp) 전압 신호와 아날로그 카운터의 출력 신호에 기반하여, 상기 제1 단위 보다 작은 제2 단위의 물체 거리에 관한 제2 디지털 코드를 결정하는 시간 디지털 변환기.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 제1 출력 신호, 상기 제2 출력 신호 중 적어도 하나를 샘플링 하기 위한 제3 커패시터를 더 포함하고,

상기 제3 커패시터는 상기 제1 아날로그 카운터와 상기 비교기 사이에 배치되는 시간 디지털 변환기.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 제3 커패시터는 상기 제1 출력 신호에 관한 제1 샘플링 전압으로 충전되고,

상기 제1 아날로그 카운터는 클럭 신호를 입력 받아 제1 램프 전압 신호를 생성하고,

상기 비교기는 상기 제1 램프 전압 신호와 상기 제1 샘플링 전압의 차이를 기준 전압과 비교하는 시간 디지털 변환기.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 제3 커패시터는 제2 출력 신호에 관한 제2 샘플링 전압으로 충전되고,

상기 제2 아날로그 카운터는 상기 클럭 신호를 입력 받아 제2 램프 전압 신호를 생성하고,

상기 비교기는 상기 제2 램프 전압 신호와 상기 제2 샘플링 전압의 차이를 기준 전압과 비교하고,

상기 제1 램프 전압 신호와 상기 제2 램프 전압 신호는 상이한 시간 디지털 변환기.

청구항 11

수광 소자를 통해 획득한 광을 이용한 광 펄스 신호로부터 거리를 측정하는 시스템에서, 제1 아날로그 카운터와 제2 아날로그 카운터를 이용하여 시간 디지털 변환을 수행하는 TDC(time-to-digital converter)의 동작 방법에 있어서,

상기 광 펄스 신호의 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스에 기반하여 전압이 강화된 제1 출력 신호를 생성하는 단계;

상기 광 펄스 신호의 제2 윈도우 영역에 포함된 펄스에 기반하여 전압이 강화된 제2 출력 신호를 생성하는 단계;

상기 제1 출력 신호의 크기와 상기 제2 출력 신호의 크기를 비교하는 단계; 및

상기 비교의 결과에 기반하여 디지털 코드를 생성하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 제1 출력 신호를 생성하는 단계는,

상기 제1 아날로그 카운터의 전원 단에 연결된 제1 커패시터와 상기 아날로그 카운터의 접지 단과 연결된 제2 커패시터에 충전된 전하를 초기화하는 단계;

멀티플렉서를 통한 인가 전원에 기반하여, 상기 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스의 수에 대응하여 전압이 강화된 상기 제1 출력 신호를 출력하는 단계; 및

상기 제2 커패시터에 충전된 전하를 방전시키는 단계를 포함하는 방법.

청구항 13

청구항 12에 있어서,

상기 제1 출력 신호는 상기 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스의 수만큼 전압 변화량이 적용된 전압 신호를 포함하고,

상기 전압 변화량은 상기 제1 커패시터에 관한 제1 커패시턴스와 상기 제2 커패시터에 관한 제2 커패시턴스의 비율에 기반하여 결정되는 방법.

청구항 14

청구항 11에 있어서,

상기 디지털 코드를 생성하는 단계는,

상기 제1 출력 신호와 상기 제2 출력 신호에 기반하여 제1 단위의 물체 거리에 관한 제1 디지털 코드를 결정하는 단계; 및

램프(ramp) 전압 신호와 아날로그 카운터의 출력 신호에 기반하여, 상기 제1 단위 보다 작은 제2 단위의 물체 거리에 관한 제2 디지털 코드를 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 15

청구항 14에 있어서,

상기 제2 디지털 코드를 결정하는 단계는,

상기 제1 출력 신호를 샘플링 하기 위한 제3 커패시터를 상기 제1 출력 신호에 관한 제1 샘플링 전압으로 충전시키는 단계;

상기 제1 아날로그 카운터를 이용하여, 클럭 신호를 입력 받아 제1 램프 전압 신호를 생성하는 단계; 및

상기 제1 램프 전압 신호와 상기 제1 샘플링 전압의 차이를 기준 전압과 비교하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 16

청구항 15에 있어서,

상기 제2 디지털 코드를 결정하는 단계는,

상기 제3 커패시터를 제2 출력 신호에 관한 제2 샘플링 전압으로 충전시키는 단계;

상기 제2 아날로그 카운터를 이용하여, 상기 클럭 신호를 입력 받아 제2 램프 전압 신호를 생성하는 단계; 및

상기 제2 램프 전압 신호와 상기 제2 샘플링 전압의 차이를 기준 전압과 비교하는 단계를 포함하고,

상기 제1 램프 전압 신호와 상기 제2 램프 전압 신호는 상이한 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시(disclosure)는 일반적으로 TOF를 이용한 거리 측정 시스템에서 시간-디지털 변환 회로에 관한 것으로, 보다 구체적으로 아날로그 카운터와 자가 보정 싱글 슬로프(single slope) ADC(analog to digital converter) 회로 구조를 통해 신호를 변환하기 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] TOF(time of flight, TOF)는 광원을 이용하여 조사된 펄스(pulse) 형태의 광이 물체로부터 반사되어 돌아오는 시간을 측정한 후, 측정된 시간을 통해 센서로부터 물체까지의 거리를 측정하는 기술이다. TOF 기술은 크게, D(direct)-TOF 방식과 I(indirect)-TOF 방식으로 구현된다.

[0003] D-TOF 방식은 펄스 형태의 광을 조사한 후 반사된 빛을 수광하여 그 사이의 시간을 재는 것으로서, 직접 시간을 측정하는 방식이다. 여기서, TOF의 정밀한 측정을 위하여 반사된 광이 수광 소자에 도달하자마자 반응이 일어나야 하므로, 거리 측정 장치는 감도가 매우 높은 수광 소자를 필요로 한다. 이를 위해 CMOS 공정 기술로 제작 가능한 단일 광자 아발란체 다이오드(single photon avalanche diode, SPAD)가 주로 사용되고 있다. 또한 15m의 거리가 100ns의 TOF로 환산될 정도로 빠른 광의 속도를 감안할 때, 수백 ps에서 수 ns의 해상도를 가지는 정밀한 시간-디지털 변환기(time-to-digital converter, TDC)가 요구된다.

[0004] I-TOF 방식은 광 신호를 변조(modulation)하여 조사한 후 반사된 광과 조사된 광의 위상 차를 측정하여 거리를 측정하는 방식이다. I-TOF 방식에 따르면, 시간 측정을 위한 시간 디지털 변환기가 필요 없고, 조사하는 광 펄스에 대해 모든 시간 데이터를 가지고 있지 않으므로 메모리가 필요 없어 크기가 D-TOF 방식에 비해 작고 공간 해상도가 높다는 장점이 있다. 그러나, I-TOF 방식에 따르면, 변조파의 주기에 해당하는 거리만 측정 가능하고 외광에 취약한 문제가 있다.

[0005] 현재, D-TOF 방식과 I-TOF 방식을 혼용하여 TOF 값을 추출하여 거리를 측정하는 기술이 사용되고 있다. 그러나 현재 기술에 따르면, 모바일 장치에 적용하는 데에 있어, 부피와 전력 소모가 크다는 문제가 있었다. 이에 대응하여 최근, 회로의 설계 변경을 통해 센서의 크기를 감소시키면서 고해상도 이미지를 획득하기 위한 기술 개발이 대두되고 있다.

[0006] 전술한 기술은 발명자가 본 발명의 도출을 위해 보유하고 있었거나, 본 발명의 도출 과정에서 습득한 기술 정보로서, 반드시 본 발명의 출원 전에 일반 공중에게 공개된 공지 기술을 지시하지 않는다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 상술한 바와 같은 논의를 바탕으로, 본 개시(disclosure)는 TOF를 이용한 거리 측정 시스템에서 신호의 시간-디지털 변환을 위한 장치 및 방법을 제공한다.
- [0008] 또한, 본 개시는 아날로그 카운터와 자가 보정 싱글 슬로프 ADC 회로 구조를 통해 신호를 변환하기 위한 장치 및 방법을 제공한다.
- [0009] 또한, 본 개시는 디지털 카운터 기반의 TDC에서 업-다운 카운터를 커패시터와 스위치로 구성된 아날로그 카운터로 대체하기 위한 장치 및 방법을 제공한다.
- [0010] 또한, 본 개시는 디지털 카운터 기반의 TDC에서, 윈도우 생성기(window generator)의 플립-플로트를 재사용하는 싱글 슬로프 ADC 구조를 제공한다.
- [0011] 또한, 본 개시는 디지털 카운터를 통한 히스토그램 방식이 아닌 아날로그 카운터를 사용하고 싱글 슬로프 ADC의 구성 요소인 카운터를 윈도우 생성기의 플립-플로트를 재사용함으로써, 크기가 감소되고 전력 소모가 적은 TDC를 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 개시의 다양한 실시 예들에 따르면, 수광 소자를 통해 획득한 광을 이용한 광 펄스 신호로부터 거리를 측정하는 시스템에서, 시간 디지털 변환기(time-to-digital converter, TDC)는 상기 광 펄스 신호의 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스에 기반하여 전압이 강하된 제1 출력 신호를 생성하는 제1 아날로그 카운터, 상기 광 펄스 신호의 제2 윈도우 영역에 포함된 펄스에 기반하여 전압이 강하된 제2 출력 신호를 생성하는 제2 아날로그 카운터, 상기 제1 출력 신호의 크기와 상기 제2 출력 신호의 크기를 비교하는 비교기, 및 상기 제1 아날로그 카운터와 상기 제2 아날로그 카운터 각각에 윈도우 영역을 지시하는 정보를 입력하고, 상기 비교기의 출력에 기반하여 디지털 코드를 생성하는 디지털 카운터를 포함할 수 있다.
- [0013] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 제1 아날로그 카운터는 전원 신호를 인가하는 멀티플렉서(multiplexer), 상기 제1 아날로그 카운터의 전원 단에 연결되는 제1 커패시터, 상기 제1 아날로그 카운터의 접지 단과 연결되는 제2 커패시터, 및 상기 제1 커패시터와 상기 제2 커패시터 사이에 연결되고, 상기 멀티플렉서로부터의 신호 수신에 대응하여 제1 출력 신호를 생성하는 스위치 트랜지스터를 포함할 수 있다.
- [0014] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 스위치 트랜지스터는 제1 트랜지스터와 제2 트랜지스터를 포함하고, 상기 제1 트랜지스터와 상기 제2 트랜지스터는 캐스코드 구조로 연결될 수 있다.
- [0015] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 제1 아날로그 카운터는 상기 제1 커패시터와 상기 제2 커패시터에 충전된 전하를 초기화하고, 상기 멀티플렉서를 통한 인가 전원에 기반하여, 상기 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스의 수에 대응하여 전압이 강하된 상기 제1 출력 신호를 출력 하고, 상기 제2 커패시터에 충전된 전하를 방전시킬 수 있다.
- [0016] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 제1 출력 신호는 상기 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스의 수만큼 전압 변화량이 적용된 전압 신호를 포함하고, 상기 전압 변화량은 상기 제1 커패시터에 관한 제1 커패시턴스와 상기 제2 커패시터에 관한 제2 커패시턴스의 비율에 기반하여 결정될 수 있다.
- [0017] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 제2 아날로그 카운터의 회로 구조는 상기 제1 아날로그 카운터의 회로 구조와 동일할 수 있다.
- [0018] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 디지털 카운터는 상기 제1 출력 신호와 상기 제2 출력 신호에 기반하여 제1 단위의 물체 거리에 관한 제1 디지털 코드를 결정하고, 램프(ramp) 전압 신호와 아날로그 카운터의 출력 신호에 기반하여, 상기 제1 단위 보다 작은 제2 단위의 물체 거리에 관한 제2 디지털 코드를 결정할 수 있다.
- [0019] 다른 일 실시 예에 따르면, TDC는 상기 제1 출력 신호, 상기 제2 출력 신호 중 적어도 하나를 샘플링 하기 위한 제3 커패시터를 더 포함하고, 상기 제3 커패시터는 상기 제1 아날로그 카운터와 상기 비교기 사이에 배치될 수 있다.
- [0020] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 제3 커패시터는 상기 제1 출력 신호에 관한 제1 샘플링 전압으로 충전되고, 상기 제1 아날로그 카운터는 클럭 신호를 입력 받아 제1 램프 전압 신호를 생성하고, 상기 비교기는 상기 제1 램프

프 전압 신호와 상기 제1 샘플링 전압의 차이를 기준 전압과 비교할 수 있다.

- [0021] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 제3 커패시터는 제2 출력 신호에 관한 제2 샘플링 전압으로 충전되고, 상기 제2 아날로그 카운터는 상기 클럭 신호를 입력 받아 제2 램프 전압 신호를 생성하고, 상기 비교기는 상기 제2 램프 전압 신호와 상기 제2 샘플링 전압의 차이를 기준 전압과 비교하고, 상기 제1 램프 전압 신호와 상기 제2 램프 전압 신호는 상이할 수 있다.
- [0022] 본 개시의 다양한 실시 예들에 따르면, 수광 소자를 통해 획득한 광을 이용한 광 펄스 신호로부터 거리를 측정하는 시스템에서, 제1 아날로그 카운터와 제2 아날로그 카운터를 이용하여 시간 디지털 변환을 수행하는 TDC(time-to-digital converter)의 동작 방법은 상기 광 펄스 신호의 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스에 기반하여 전압이 강하된 제1 출력 신호를 생성하는 단계, 상기 광 펄스 신호의 제2 윈도우 영역에 포함된 펄스에 기반하여 전압이 강하된 제2 출력 신호를 생성하는 단계, 상기 제1 출력 신호의 크기와 상기 제2 출력 신호의 크기를 비교하는 단계, 및 상기 비교의 결과에 기반하여 디지털 코드를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0023] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 제1 출력 신호를 생성하는 단계는 상기 제1 아날로그 카운터의 전원 단에 연결된 제1 커패시터와 상기 아날로그 카운터의 접지 단과 연결된 제2 커패시터에 충전된 전하를 초기화하는 단계, 멀티플렉서를 통한 인가 전원에 기반하여, 상기 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스의 수에 대응하여 전압이 강하된 상기 제1 출력 신호를 출력하는 단계, 및 상기 제2 커패시터에 충전된 전하를 방전시키는 단계를 포함할 수 있다.
- [0024] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 제1 출력 신호는 상기 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스의 수만큼 전압 변화량이 적용된 전압 신호를 포함하고, 상기 전압 변화량은 상기 제1 커패시터에 관한 제1 커패시턴스와 상기 제2 커패시터에 관한 제2 커패시턴스의 비율에 기반하여 결정될 수 있다.
- [0025] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 디지털 코드를 생성하는 단계는 상기 제1 출력 신호와 상기 제2 출력 신호에 기반하여 제1 단위의 물체 거리에 관한 제1 디지털 코드를 결정하는 단계, 및 램프 전압 신호와 아날로그 카운터의 출력 신호에 기반하여, 상기 제1 단위 보다 작은 제2 단위의 물체 거리에 관한 제2 디지털 코드를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0026] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 제2 디지털 코드를 결정하는 단계는 상기 제1 출력 신호를 샘플링 하기 위한 제3 커패시터를 상기 제1 출력 신호에 관한 제1 샘플링 전압으로 충전시키는 단계, 상기 제1 아날로그 카운터를 이용하여, 클럭 신호를 입력 받아 제1 램프 전압 신호를 생성하는 단계, 및 상기 제1 램프 전압 신호와 상기 제1 샘플링 전압의 차이를 기준 전압과 비교하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0027] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 제2 디지털 코드를 결정하는 단계는 상기 제3 커패시터를 제2 출력 신호에 관한 제2 샘플링 전압으로 충전시키는 단계, 상기 제2 아날로그 카운터를 이용하여, 상기 클럭 신호를 입력 받아 제2 램프 전압 신호를 생성하는 단계, 및 상기 제2 램프 전압 신호와 상기 제2 샘플링 전압의 차이를 기준 전압과 비교하는 단계를 포함하고, 상기 제1 램프 전압 신호와 상기 제2 램프 전압 신호는 상이할 수 있다.
- [0028] 본 발명의 다양한 각각의 측면들 및 특징들은 첨부된 청구항들에서 정의된다. 종속 청구항들의 특징들의 조합들(combinations)은, 단지 청구항들에서 명시적으로 제시되는 것뿐만 아니라, 적절하게 독립항들의 특징들과 조합될 수 있다.
- [0029] 또한, 본 개시에 기술된 임의의 하나의 실시 예(any one embodiment) 중 선택된 하나 이상의 특징들은 본 개시에 기술된 임의의 다른 실시 예 중 선택된 하나 이상의 특징들과 조합될 수 있으며, 이러한 특징들의 대안적인 조합이 본 개시에 논의된 하나 이상의 기술적 문제를 적어도 부분적으로 경감시키거나, 본 개시로부터 통상의 기술자에 의해 식별될 수 있는(discernable) 기술적 문제를 적어도 부분적으로 경감시키고, 나아가 실시 예의 특징들(embodiment features)의 이렇게 형성된 특정한 조합(combination) 또는 순열(permutation)이 통상의 기술자에 의해 양립 불가능한(incompatible) 것으로 이해되지만 않는다면, 그 조합은 가능하다.
- [0030] 본 개시에 기술된 임의의 예시 구현(any described example implementation)에 있어서 둘 이상의 물리적으로 별개의 구성 요소들은 대안적으로, 그 통합이 가능하다면 단일 구성 요소로 통합될 수도 있으며, 그렇게 형성된 단일한 구성 요소에 의해 동일한 기능이 수행된다면, 그 통합은 가능하다. 반대로, 본 개시에 기술된 임의의 실시 예(any embodiment)의 단일한 구성 요소는 대안적으로, 적절한 경우, 동일한 기능을 달성하는 둘 이상의 별개의 구성 요소들로 구현될 수도 있다.
- [0031] 본 발명의 특정 실시 예들(certain embodiments)의 목적은 종래 기술과 관련된 문제점 및/또는 단점들 중 적어

도 하나를, 적어도 부분적으로, 해결, 완화 또는 제거하는 것에 있다. 특정 실시 예들(certain embodiments)은 후술하는 장점들 중 적어도 하나를 제공하는 것을 목적으로 한다.

발명의 효과

- [0032] 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 장치 및 방법은 TOF를 이용한 거리 측정 시스템에서 아날로그 카운터와 자가 보정 싱글 슬로프 ADC 회로 구조를 통해 신호를 변환을 할 수 있게 한다.
- [0033] 또한, 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 장치 및 방법은 디지털 카운터 기반의 TDC에서 업-다운 카운터를 커패시터와 스위치로 구성된 아날로그 카운터로 대체할 수 있게 한다.
- [0034] 또한, 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 장치 및 방법은 큰 메모리 용량 및 복잡한 프로세서가 없어도 히스토그램으로부터 TOF를 빠르게 추출할 수 있게 한다.
- [0035] 또한, 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 장치 및 방법은 선형성이 높은 아날로그 카운터와 TDC 내의 플립 플롭을 재사용하는 싱글 슬로프 ADC 구조를 이용함으로써, 거리 측정 장치의 소모 전력 및 크기를 감소시킬 수 있게 한다.
- [0036] 또한, 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 장치 및 방법은 아날로그 카운터의 문턱 전압 변동을 보정하여 정밀도가 높은 센서를 구현할 수 있게 한다.
- [0037] 본 개시에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 개시가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0038] 도 1은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 TOF를 이용한 거리 측정 시스템을 도시한다.
- 도 2는 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템에서, TOF를 이용하여 거리를 측정하는 방법에 관한 모식도를 도시한다.
- 도 3은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템에서, 수광부에 관한 회로도를 도시한다.
- 도 4는 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템에서, 아날로그 카운터의 회로를 도시한다.
- 도 5는 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템에서, 아날로그 카운터의 출력 신호로부터 제1 단위의 제1 디지털 코드를 결정하는 원리에 관한 모식도를 도시한다.
- 도 6은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템에서, 아날로그 카운터가 출력 신호를 생성하는 과정들에 관한 모식도를 도시한다.
- 도 7은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템에서, 램프 전압 신호와 아날로그 카운터의 출력 신호로부터 제2 단위의 제2 디지털 코드를 결정하는 원리에 관한 모식도를 도시한다.
- 도 8은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템에서, 종래의 램프 전압 신호와 본 개시에 따른 램프 전압 신호의 일 예를 도시한다.
- 도 9는 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템에서, 시간 디지털 변환기의 동작 방법에 관한 흐름도를 도시한다.
- 도 10은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템에서, 시간 디지털 변환기가 제1 디지털 코드와 제2 디지털 코드를 결정하는 방법에 관한 흐름도를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0039] 본 개시에서 사용되는 용어들은 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 다른 실시 예의 범위를 한정하려는 의도가 아닐 수 있다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다. 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 용어들은 본 개시에 기재된 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가질 수 있다. 본 개시에 사용되는 용어들 중 일반적인 사전에 정의된 용어들은, 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 동일 또는 유사한 의미로 해석될

수 있으며, 본 개시에서 명백하게 정의되지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다. 경우에 따라서, 본 개시에서 정의된 용어일지라도 본 개시의 실시 예들을 배제하도록 해석될 수 없다.

- [0040] 이하에서 설명되는 본 개시의 다양한 실시 예들에서는 하드웨어적인 접근 방법을 예시로서 설명한다. 하지만, 본 개시의 다양한 실시 예들에서는 하드웨어와 소프트웨어를 모두 사용하는 기술을 포함하고 있으므로, 본 개시의 다양한 실시 예들이 소프트웨어 기반의 접근 방법을 제외하는 것은 아니다.
- [0041] 이하 본 개시는 TOF(time of flight)를 이용한 거리 측정 시스템에서 시간 디지털 변환 회로(time-to-digital converter, TDC)에 관한 것이다. 구체적으로 본 개시는 아날로그 카운터와 자가 보정 싱글 슬로프(single slope) ADC(analog to digital converter) 회로 구조를 통해 신호를 변환하기 위한 기술을 설명한다.
- [0042] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 개시가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 다양한 실시예들을 상세히 설명한다. 그러나 본 개시의 기술적 사상은 다양한 형태로 변형되어 구현될 수 있으므로 본 명세서에서 설명하는 실시예들로 제한되지 않는다. 본 명세서에 개시된 실시예들을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술을 구체적으로 설명하는 것이 본 개시의 기술적 사상의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 공지 기술에 대한 구체적인 설명을 생략한다. 동일하거나 유사한 구성요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0043] 본 명세서에서 어떤 요소가 다른 요소와 "연결"되어 있다고 기술될 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우 뿐 아니라 그 중간에 다른 요소를 사이에 두고 "간접적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 어떤 요소가 다른 요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 요소 외에 또 다른 요소를 배제하는 것이 아니라 또 다른 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0044] 일부 실시예들은 기능적인 블록 구성들 및 다양한 처리 단계들로 설명될 수 있다. 이러한 기능 블록들의 일부 또는 전부는 특정 기능을 실행하는 다양한 개수의 하드웨어 및/또는 소프트웨어 구성들로 구현될 수 있다. 예를 들어, 본 개시의 기능 블록들은 하나 이상의 마이크로프로세서들에 의해 구현되거나, 소정의 기능을 위한 회로 구성들에 의해 구현될 수 있다. 본 개시의 기능 블록들은 다양한 프로그래밍 또는 스크립팅 언어로 구현될 수 있다. 본 개시의 기능 블록들은 하나 이상의 프로세서들에서 실행되는 알고리즘으로 구현될 수 있다. 본 개시의 기능 블록이 수행하는 기능은 복수의 기능 블록에 의해 수행되거나, 본 개시에서 복수의 기능 블록이 수행하는 기능들은 하나의 기능 블록에 의해 수행될 수도 있다. 또한, 본 개시는 전자적인 환경 설정, 신호 처리, 및/또는 데이터 처리 등을 위하여 종래 기술을 채용할 수 있다.
- [0045] 또한, 본 개시에서, 특정 조건의 만족(satisfied), 충족(fulfilled) 여부를 판단하기 위해, 초과 또는 미만의 표현이 사용되었으나, 이는 일 예를 표현하기 위한 기재일 뿐 이상 또는 이하의 기재를 배제하는 것이 아니다. '이상'으로 기재된 조건은 '초과', '이하'로 기재된 조건은 '미만', '이상 및 미만'으로 기재된 조건은 '초과 및 이하'로 대체될 수 있다.
- [0046] 도 1은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 TOF를 이용한 거리 측정 시스템(100)을 도시한다. 이하 사용되는 '...부', '...기' 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어, 또는, 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0047] 거리 측정 시스템(100)에 따르면, 광원(101)은 광 신호를 물체(103)에 조사 하고, 수광부(105)는 물체(103)로부터 반사된 광 신호를 수신하고, 조사 광의 조사 시각부터 반사 광의 수신 시각까지의 소요 시간에 관한 정보를 생성할 수 있다. 제어기(107)는 수광부(105)로부터 전달 받은 정보를 이용하여 소요 시간에 대응하는 거리를 연산함으로써 물체(103)까지의 거리를 측정할 수 있다. 도 1을 참조하면, 거리 측정 시스템(100)은 광원(101), 물체(103), 수광부(105), 및 제어기(107)를 포함할 수 있다.
- [0048] 광원(101)은 물체(103)의 위치, 형상의 분석에 사용할 광을 조사하는 기능을 수행한다. 광원(101)은 소장 파장의 광을 생성, 조사하며, 물체(103)의 위치, 형상 분석에 적합한 파장 대역의 광, 예를 들어, 적외선 대역 파장의 광을 생성 조사하는 LD(laser diode), LED(light emitting diode), SLD(super luminescent diode)를 포함할 수 있다. 광원(101)은 복수의 서로 다른 파장 대역의 광을 생성 조사할 수 있고, 펄스 광 또는 연속 광을 생성하여 조사할 수도 있다. 광원(101)은 미리 결정된 조사 주기로 물체(103)에 펄스 형태의 광 신호를 조사할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 광원(101)으로부터 적외선(infrared) 영역의 광이 물체(103)에 조사될 수 있다.
- [0049] 수광부(105)는 물체(103)로부터 반사된 광 신호를 검출하는 기능을 수행한다. 수광부(105)는 조사 광이 물체(103)로부터 반사된 반사 광을 수신하고 반사 광 신호를 전기적 신호로 변환할 수 있다. 수광부(105)는 광 신호

가 수신된 경우, 수광 이벤트가 발생하였음을 식별할 수 있다. 일 예에 따르면, 수광부(105)는 복수의 수광 소자들 중 일정 개수 이상의 수광 소자에 의해 광자가 감지된 경우, 임계 에너지 이상의 광 신호가 수신한 것으로 식별할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 임계 에너지는 상대적으로 적은 에너지를 가지는 노이즈를 제거하기 위하여 미리 설정된 에너지 값을 지시할 수 있다. 수광부(105)는 광 신호를 검출한 이후, 반사 광으로부터 물체(103) 사이의 거리를 측정하기 위한 정보를 생성할 수 있다. 수광부(105)는 거리 측정을 위한 정보를 제어기(107)로 전달할 수 있다.

[0050] 제어기(107)는 측정 장치와 물체(103)까지의 거리를 결정하는 기능을 수행한다. 제어기(107)는 수광부(105)로부터 TOF에 관한 디지털 코드를 전달 받고, 디지털 코드를 연산하여 측정 장치와 물체 사이의 거리를 결정할 수 있다. 제어기는 적어도 하나의 프로세서를 포함할 수 있고, 프로세서를 통해 전반적인 동작들을 제어할 수 있다. 예를 들어, 프로세서는 기본적인 산술, 로직 및 입출력 연산을 수행함으로써, 컴퓨터 프로그램의 명령을 처리하도록 구성될 수 있다.

[0051] 수광부(105)는 수광 소자가 포함된 복수의 픽셀들로 구성될 수 있다. 구체적으로, 수광부(105)는 픽셀 어레이를 포함할 수 있고, 복수의 픽셀들 각각은 적어도 하나의 수광 소자를 포함할 수 있다. 여기서, 수광 소자는 SPAD(single-photon avalanche diode)를 포함할 수 있다. SPAD는 수신된 광 신호에 따라 트리거 되어 펄스 신호를 출력함으로써 단일 광자를 검출할 수 있고, 펄스 신호를 통해 광이 도달한 시점에 관한 정보를 생성할 수 있다. 수광부(105)는 SPAD 소자를 이용하여 D-TOF 방식 및 I-TOF 방식을 모두 이용하여 생성한 정보를 제어기(107)에 제공할 수 있다.

[0052] 수광부(105)는 D-TOF 방식을 이용하여 제1 단위의 TOF 값을 결정한 이후, I-TOF 방식을 이용하여 제2 단위의 TOF 값을 결정할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 제2 단위는 제1 단위보다 작은 단위를 지시할 수 있다. 즉, 수광부(105)는 D-TOF 방식을 이용하여 물체(103)의 물체의 대략적인 위치에 관한 제1 단위의 제1 디지털 코드를 결정할 수 있고, I-TOF 방식을 이용하여 물체(103)의 세부적인 위치에 관한 제2 단위의 제2 디지털 코드를 결정할 수 있다. 여기서, 수광부(105)는 I-TOF 방식을 구현함에 있어서, 조사 광과 반사광 간의 위상 차이를 이용하여 물체(103)까지의 거리를 측정할 수 있다.

[0053] 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 픽셀 어레이를 구성하는 픽셀 각각은 TDC를 포함할 수 있다. TDC는 시간 정보를 디지털 코드로 변환하는 기능을 수행한다. TDC는 입력 신호들 사이의 시간 차이에 대응하는 디지털 코드를 생성하고, 생성된 디지털 코드를 제어기(107)에 송신할 수 있다. 종래에 따르면, TDC는 펄스를 확인하기 위하여 9 비트의 업다운 디지털 카운터(up-down digital counter), 업다운 카운터의 윈도우 영역을 결정하기 위한 윈도우 제너레이터(window generator)를 포함하였다. 즉, 종래의 TDC는 TOF 값 결정에 디지털 방식을 이용하는 것으로서, 디지털 연산을 위한 추가적인 구성들로 인하여 전력 소모 및 TDC 자체의 크기가 크다. 이에 반하여, 본 개시에 따르면 TDC는 TOF 값 결정에 아날로그 방식을 이용하는 것으로서, 업다운 디지털 카운터를 두 개의 쿠퍼시터와 스위치로 구성된 아날로그 카운터로 대체하고, 윈도우 제너레이터의 플립-플로트를 재사용하여 동작하는 싱글 슬로프 ADC 구조를 이용한다. 그에 따라 본 개시에 따른 TDC는 소모 전력이 작고 TDC 자체의 크기도 작다. 이하에서, 본 개시에 따른 TDC의 구체적인 회로 구조 및 동작 방법이 상세히 설명된다.

[0054] 도 2는 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템(100)에서, TOF를 이용하여 거리를 측정하는 방법에 관한 모식도(200)를 도시한다.

[0055] 도 2를 참고하면, TDC는 같은 코오스 스텝(coarse step), 파인 스텝(fine step)을 통해 물체의 위치에 관한 디지털 코드를 생성할 수 있다. 구체적으로, TDC는 각각의 스텝들을 통해 최상위 비트부터 순차적으로 TOF를 결정하여 디지털 코드를 생성하고 생성한 디지털 코드를 제어기(107)에 송신하거나 메모리에 저장할 수 있다. 도 2에서 가로 축은 시간을 지시할 수 있다.

[0056] 도 2를 참고하면, 조사 광 그래프는 광원(101)으로부터 물체(103)로 조사된 광에 관한 그래프 지시하고, 반사 광 그래프는 물체(103)로부터 수광부(105)로 전달된 반사 광에 관한 그래프 지시한다. 즉, 광원(101)은 광을 이용하여 펄스 신호를 생성하여 물체(103)에 조사하고, 수광부(105)는 물체(103)로부터 반사된 광을 수신할 수 있다. 조사 광 그래프와 반사 광 그래프를 참고하면, 광원(101)으로부터 조사된 광이 물체(103)로부터 반사되어 수광부(105)에 도달하기 까지 시간이 요구되므로, 조사 시각부터 수광 시각까지의 시간 간격이 존재한다.

[0057] 코오스 스텝은 제1 단위의 물체 거리에 관한 디지털 코드를 결정하는 과정을 지시하고, 파인 스텝은 제2 단위의 물체 거리에 관한 디지털 코드를 결정하는 과정을 지시한다. 즉, TDC는 코오스 스텝을 통해 물체의 대략적인 위치에 관한 제1 디지털 코드를 생성하고, 파인 스텝을 통해 물체의 정밀한 위치에 관한 제2 디지털 코드를 생성

할 수 있다.

- [0058] 코오스 스텝 1(211)는 물체(103)까지의 거리를 지시하는 최상위 TOF 값을 결정하는 과정을 지시한다. 코오스 스텝 1(211)을 참고하면, 전체 시간 영역은 윈도우 A 영역과 윈도우 B 영역으로 구분된다. TDC는 두 개의 아날로그 카운터를 이용하여 TOF 값을 결정할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, TDC는 윈도우 A 영역에서 광 신호를 검출되면 하나의 아날로그 카운터가 다운 카운팅을 수행하고, 윈도우 B 영역에서 광 신호를 검출되면 다른 아날로그 카운터가 업 카운팅을 수행한다. 즉, TDC는 지배적인 수광 이벤트가 검출되는 윈도우 영역을 확인하고, 윈도우 영역에 TOF 값을 결정할 수 있다. 도 2를 참고하면, 반사 광 그래프에서 광 신호는 제2 윈도우 영역에서 검출되므로, TDC는 윈도우 B 영역에서 수광 이벤트가 발생하였음을 식별하고, TOF 값을 1로 결정할 수 있다.
- [0059] 동일한 방법으로 코오스 스텝 2(212), 코오스 스텝 3(213)는 물체(103)까지의 거리를 지시하는 순차적인 TOF 값을 결정하는 과정을 지시한다. 코오스 스텝 2(212), 코오스 스텝 3(213)를 참고하면, TDC는 윈도우 영역 구분 기준을 변경하여, 코오스 스텝 1(211)에서 수광 이벤트가 검출된 윈도우 B 영역을 다시 두 개의 윈도우 영역으로 구분한다. 이후, TDC는 지배적인 수광 이벤트가 검출되는 윈도우 영역을 순차적으로 확인하고, 윈도우 영역에 TOF 값을 결정할 수 있다. 도 2를 참고하면, TDC는 코오스 스텝 2(212)을 통해 TOF 값을 1로 결정하고, 코오스 스텝 3(213)를 통해 TOF 값을 0으로 결정할 수 있다. 결과적으로, TDC는 각각의 코오스 스텝들을 통해 제1 단위의 물체 거리에 관한 제1 디지털 코드를 110으로 결정할 수 있다. 도 2는 코오스 스텝이 세 번 수행된 경우를 예시하지만, 코오스 스텝의 수는 설계에 따라 상이할 수 있다.
- [0060] 파인 스텝은 제2 단위의 물체 거리에 관한 제2 디지털 코드를 결정하는 과정을 지시한다. TDC는 위상이 변조된 변조 신호를 이용하여 물체의 세부적인 위치를 확인함으로써, 거리 측정 시스템의 해상도를 증가시킬 수 있다. 여기서, 변조 신호는 수광 이벤트가 검출된 수광 시간과 0도의 위상 차를 가지는 동상(in-phase) 신호, 수광 시간과 1/4 주기만큼 위상 차를 가지는 직각(quadrature-phase) 신호를 포함할 수 있다. TDC는 코오스 스텝에 따른 TOF 값에 해당하는 시간 대역에 대비하여 위상이 0° , 90° , 180° , 270° 만큼 지연된 시간 대역을 설정하고, 각 대역에서의 SPAD 출력 펄스 개수 차이의 비율을 통해 높은 시간 분해능을 갖는 파인 스텝의 TOF 값을 결정할 수 있다. 여기서, TDC는 파인 스텝의 TOF 값을 정밀하게 결정하기 위하여, 0° , 90° , 180° , 270° 위상에 해당하는 SPAD 펄스 개수를 정확하게 파악하여야 하고, 그에 대응하여 TDC는 아날로그 카운터에 누적된 값을 디지털로 변환해주는 ADC가 필요하다.
- [0061] TDC는 변조 신호에 따라 파인 스텝 1(221), 파인 스텝 2(222)에서 수광 이벤트가 감지되는 위상 시간 영역을 결정할 수 있다. 이후 TDC는 위상 시간 영역 각각에서 감지되는 수광 이벤트의 세기에 따라 카운팅 값을 결정할 수 있고, 카운팅 값의 차이에 기반하여 제2 단위의 물체 거리에 관한 디지털 코드를 결정할 수 있다. 이에 대응하여, 제어기(107)는 동상 시간 영역들 각각의 카운팅 값의 차이와 직각 시간 영역들 각각의 카운팅 값의 차이의 비율에 기반하여 제2 단위의 물체 거리를 연산할 수 있다.
- [0062] 도 3은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템(100)에서, 수광부(105)의 픽셀들 각각에 포함된 회로도(300)를 도시한다.
- [0063] 수광부(105)는 복수의 픽셀들로 구성될 수 있고, 픽셀들 각각은 수광 소자와 카운터 회로를 포함할 수 있다. 도 3은 하나의 픽셀이 수광 소자(310) 및 TDC(360)를 포함하는 경우를 예시한다.
- [0064] 수광 소자(310)는 반사 광을 검출하는 기능을 수행한다. 수광 소자(310)는 SPAD로 구성될 수 있고, 수신한 광자의 수에 관한 신호를 생성하여 TDC에 전달할 수 있다.
- [0065] TDC(360)는 수광 소자(310)를 통해 획득한 광을 이용한 광 펄스 신호로부터, 물체(103)까지의 거리에 관한 디지털 코드를 생성하는 기능을 수행한다. 도 3을 참고하면, TDC(360)는 모노스테이블(monostable) 회로(361), 제1 아날로그 카운터 내지 제2 아날로그 카운터(362-1, 362-2), 제1 소스 팔로워 내지 제2 소스 팔로워(363-1, 363-2), 비교기(364), 디지털 카운터(365)를 포함할 수 있다.
- [0066] 모노스테이블 회로(361)는 광 펄스 신호와 윈도우 영역 정보를 입력 받아, 윈도우 영역에서 펄스의 수를 결정하기 위한 입력 신호를 생성하는 기능을 수행한다. 또한, 모노스테이블 회로(361)는 SPAD 펄스 신호를 짧게 만드는 기능을 수행할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 디지털 카운터(365)는 광 펄스 신호에서 윈도우 영역을 구분하여 펄스를 검출하기 위한 제1 윈도우 신호 내지 제2 윈도우 신호(371, 372)를 생성할 수 있다. 이에 대응하여, 모노스테이블 회로(361)는 수광 소자(310)로부터 광 펄스 신호가 입력되면, 광 펄스 신호의 영역을 제1 윈도우 영역과 제2 윈도우 영역으로 구분할 수 있다. 이후, 모노스테이블 회로(361)는 제1 윈도우 영역

에 관한 신호를 제1 아날로그 카운터(362-1)에 송신하고, 제2 윈도우 영역에 관한 신호를 제2 아날로그 카운터(362-2)에 송신할 수 있다.

[0067] 아날로그 카운터는 각각의 윈도우 영역에서 펄스의 수를 카운팅하는 기능을 수행한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 아날로그 카운터는 제1 아날로그 카운터 내지 제2 아날로그 카운터(362-1 내지 362-2) 중 하나를 지시할 수 있다. 아날로그 카운터는 윈도우 영역에 포함된 펄스에 기반하여 전압이 강화된 출력 신호를 생성할 수 있다. 구체적으로, 아날로그 카운터는 윈도우 영역에 포함된 펄스가 검출될 때마다 전압 강하가 발생하도록 하여 전압 신호를 생성할 수 있다. 즉, 제1 아날로그 카운터(362-1)는 제1 윈도우 영역에 포함된 펄수의 수만큼 전압 강하가 적용된 전압 신호 V_{o1} 를 생성하고, 전압 신호 V_{o1} 을 제1 소스 팔로워(363-1)에 출력할 수 있다. 동일한 방법으로 제2 아날로그 카운터(362-2)는 제2 윈도우 영역에 포함된 펄수의 수만큼 전압 강하가 적용된 전압 신호 V_{o2} 를 생성하고, 전압 신호 V_{o2} 을 제2 소스 팔로워(363-2)에 출력할 수 있다. 제1 소스 팔로워(363-1)와 제2 소스 팔로워(363-2) 각각은 제1 아날로그 카운터(362-1)와 제2 아날로그 카운터(362-2)로부터 출력 신호를 입력 받고 비교기(364)에 신호를 출력할 수 있다.

[0068] 비교기(364)는 제1 아날로그 카운터(362-1)의 제1 출력 신호와 제2 아날로그 카운터(362-2)의 제2 출력 신호를 비교하는 기능을 수행한다. 비교기(364)는 아날로그 카운터들 각각의 출력 전압들의 크기를 비교할 수 있다. 비교기(364)는 비교 결과에 따른 TOF 값을 디지털 카운터(365)에 송신한다.

[0069] 디지털 카운터(365)는 비교기의 비교 결과에 기반하여 디지털 코드를 생성하고 이를 출력하는 기능을 수행한다. 또한, 디지털 카운터는 모노스테이블 회로(361)에 윈도우 영역을 지시하는 정보를 입력하는 기능을 수행할 수 있다.

[0070] 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 제1 아날로그 카운터 내지 제2 아날로그 카운터(362-1 내지 362-2) 각각에서 내부 트랜지스터 소자의 특성에 따라 문턱 전압 V_{th} 들이 변동될 수 있다. 문턱 전압의 변동은 아날로그 카운터의 카운팅 값의 정확도에 영향을 미친다. 이를 보완하기 위하여, TDC(360)는 일반적인 램프 전압 신호가 아닌, 아날로그 카운터들이 생성한 싱글 슬로프-ADC 램프 전압 신호를 생성함으로써 문턱 전압 변동을 자체적으로 보정할 수 있다. 또한, TDC(360)는 윈도우 영역 정보를 생성하는 플립-플롭을 재사용하여 싱글 슬로프 ADC 구조로 되어 있으며, 디지털 카운터(365)는 제1 윈도우 신호(371), 제2 윈도우 신호(372)를 생성하여 모노스테이블 회로(361)에 직접 전달할 수 있다. 구체적으로, TDC(360)는 디지털 카운터(365)를 이용하여, 코오스 스텝에서 윈도우 제너레이터의 구성 요소인 플립-플롭을 재사용하고, 파인 스텝에서 ADC 동작을 할 때 카운터의 구조로 재구성하여 동작할 수 있다. 그에 따라, TDC를 구성하는 회로 면적이 감소될 수 있다.

[0071] 도 4는 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템(100)에서, 아날로그 카운터(400)의 회로를 도시한다. 도 4는 도 3의 TDC(360)에 포함된 아날로그 카운터의 회로 구조를 예시한다. 도 4에 도시된 아날로그 카운터(400)의 회로 구조는 제1 아날로그 카운터(362-1), 제2 아날로그 카운터(362-2) 중 하나의 회로 구조를 지시할 수 있다.

[0072] 도 4를 참고하면, 아날로그 카운터는 전원 신호를 인가하기 위한 멀티플렉서(multiplexer), 아날로그 카운터의 전원 단에 연결되는 커패시터 C_1 , 아날로그 카운터의 접지 단과 연결되는 커패시터 C_0 , C_1 와 C_0 사이에 연결되고, 멀티플렉서로부터의 신호 수신에 대응하여 제1 출력 신호 V_{out} 을 생성하는 스위치 트랜지스터를 포함할 수 있다. 여기서, 스위치 트랜지스터는 트랜지스터 M_{p2} 와 트랜지스터 M_{p3} 를 포함하고, M_{p2} 와 M_{p3} 는 캐스코드(cascode) 구조로 연결될 수 있다. 또한, 트랜지스터 M_{p1} 은 C_1 에 병렬로 연결되고, 트랜지스터 M_{p4} 는 C_0 에 병렬로 연결될 수 있다.

[0073] 도 4를 참고하면, 아날로그 카운터는 캐스코드 구조로 연결되는 M_{p2} 와 M_{p3} 를 통해 C_1 와 C_0 가 직접적으로 연결되는 것을 방지한다. 즉, C_1 로부터 M_{p2} 를 통해 C_0 로 들어가는 전하량은 C_1 에 저장되어 있는 아날로그 값과 관련 없이 M_{p2} 의 소스 전압에 기반하여 결정된다. 여기서, M_{p2} 는 수광 소자에 따라 검출된 광 펄스 신호에 따라 켜지기 때문에, 광 펄스가 입력되지 않는 영역에서 C_1 의 전하량이 M_{p2} 를 통해 빠져나가는 누설 전류를 최소화할 수 있다. 그에 따라, 아날로그 카운터의 선형성과 정확도가 증가될 수 있고, 증폭기를 사용하지 않아 면적과 전력 소모가 감소될 수 있다. 아날로그 카운터가 출력 신호를 생성하는 구체적인 동작은 도 5 내지 도 8에서 상세히 설명된다.

- [0074] 도 5는 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템(100)에서, 아날로그 카운터의 출력 신호로부터 제 1 단위의 제1 디지털 코드를 결정하는 원리에 관한 모식도(500)를 도시한다. 도 5는 물체(103)의 물체의 대략적인 위치에 관한 제1 단위의 제1 디지털 코드를 결정하는 방법을 예시한다.
- [0075] 도 5를 참고하면, 광 펄스 신호는 제1 윈도우 신호에 대응하는 제1 윈도우 영역과 제2 윈도우 신호에 대응하는 제2 윈도우 영역으로 구분될 수 있다. 여기서, 도 5는 광 펄스 신호의 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스의 수는 3이고, 제2 윈도우 영역에 포함된 윈도우 펄스의 수는 1인 경우를 예시한다.
- [0076] 수광 소자(310)를 통과한 광 펄스 신호는 모노스테이بل 회로(361)를 통과하여 아날로그 카운터들에 입력된다. 구체적으로, 제1 윈도우 영역에 관한 제1 광 펄스 신호(511)는 제1 아날로그 카운터(362-1)에 입력되고, 제2 윈도우 영역에 관한 제2 광 펄스 신호(551)는 제2 아날로그 카운터(362-2)에 입력될 수 있다. 여기서, 제1 아날로그 카운터(362-1)는 제1 광 펄스 신호(511)를 입력 받고, 스위칭 동작에 따라 제1 광 펄스 신호(511)에 포함된 펄스의 수만큼 전압이 강하된 제1 출력 신호(513)를 생성할 수 있다. 제1 아날로그 카운터(362-1)는 제1 광 펄스 신호(511)에 포함된 펄스의 수만큼 전압 변화량 $\Delta V(515)$ 가 적용된 신호를 생성할 수 있다. 도 5를 참고하면, 제1 광 펄스 신호(511)에 포함된 펄스의 수는 3이고, 제1 아날로그 카운터(362-1)는 ΔV 가 3회 적용된 제1 출력 신호(513)를 생성할 수 있다.
- [0077] 동일한 방법으로, 제2 아날로그 카운터(362-2)는 제2 광 펄스 신호(551)를 입력 받고, 스위칭 동작에 따라 제2 광 펄스 신호(551)에 포함된 펄스의 수만큼 전압이 강하된 제2 출력 신호(553)를 생성할 수 있다. 도 5를 참고하면, 제2 광 펄스 신호(551)에 포함된 펄스의 수는 1이고, 제2 아날로그 카운터(362-2)는 ΔV 가 1회 적용된 제 2 출력 신호를 생성할 수 있다.
- [0078] 전압 변화량에 따라 전압이 강하된 제1 출력 신호(513)와 제2 출력 신호(553)는 각각 제1 소스 팔로워(363-1)와 제2 소스 팔로워(363-2)를 통과하여 비교기(364)에 입력될 수 있다. 비교기(364)는 제1 출력 신호(513)의 크기와 제2 출력 신호(553)의 크기를 비교할 수 있다. 제1 윈도우 영역에 대응하는 TOF 값은 0이고, 제2 윈도우 영역에 대응하는 TOF 값은 1인 경우, 비교기(364)는 TOF 값을 0(571)으로 결정할 수 있다.
- [0079] 디지털 카운터(365)는 TOF 값을 수신하여 디지털 코드를 저장하는 메모리와, 윈도우 영역을 지시하는 정보를 생성하는 윈도우 제너레이터의 기능을 수행할 수 있다. 구체적으로, 디지털 카운터(365)는 메모리를 통해 비교기에서 결정된 TOF 값을 수신하고 제1 디지털 코드를 0으로 결정하여 저장할 수 있다. 이후, 디지털 카운터(365)는 윈도우 제너레이터를 통해 윈도우 영역을 변경하여 아날로그 카운터에 입력할 수 있고, 변경된 윈도우 영역에서 제1 아날로그 카운터(362-1)와 제2 아날로그 카운터(362-2)의 전압 비교를 통해 결정되는 TOF 값을 수신할 수 있다. 디지털 카운터(365)는 변경된 윈도우 영역에서 결정된 TOF 값을 추가하여 제1 디지털 코드를 00 또는 01로 결정할 수 있다. 디지털 카운터(365)는 순차적으로 수신한 TOF 값에 따라 제1 디지털 코드를 결정할 수 있고, 결정된 제1 디지털 코드를 제어기(107)로 송신할 수 있다.
- [0080] 도 6은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템(100)에서, 아날로그 카운터가 출력 신호를 생성하는 과정들에 관한 모식도(600)를 도시한다. 도 6을 참고하면, 아날로그 카운터는 제1 동작 과정 내지 제3 동작 과정(610, 630, 660)을 통해 출력 전압을 생성할 수 있고, TDC(360)은 출력 전압을 이용하여 제1 단위의 물체까지의 거리에 관한 디지털 코드를 생성할 수 있다.
- [0081] 제1 동작 과정(610)은 아날로그 카운터를 초기화 하는 동작을 지시한다. 아날로그 카운터는 커패시터에 충전된 전하를 초기화 할 수 있다. 제1 동작 과정(610)에 따르면, 아날로그 카운터는 이전 프레임에서 C_1 와 C_0 에 충전된 전하를 제거함으로써 초기화 할 수 있다. 이를 위하여, 멀티플렉서에 접지 신호 V_{SS} 가 입력된 상황에서, M_{P1} , M_{P4} 에 초기화를 위한 펄스 신호가 입력될 수 있다. 그 결과, C_1 , C_0 의 연결이 M_{P2} , M_{P3} 에 따라 차단되고, C_1 와 C_0 에 충전되어 있던 전하가 제거될 수 있다.
- [0082] 제2 동작 과정(630)은 전압이 강하된 제1 출력 신호를 생성하는 동작을 지시한다. 수광 소자(310)가 광을 검출하여 광 펄스 신호가 생성되면, 아날로그 카운터는 광 펄스 신호에 기반하여 제1 출력 신호의 전압 V_{out} 을 결정할 수 있다. 구체적으로, 아날로그 카운터는 트리거 신호를 이용하여 $MP3$ 의 스위치를 온 하고, $MP2$ 의 게이트에 인가 전압 V_{bias} 를 입력할 수 있다. 그 결과, C_1 , M_{P2} , M_{P3} , C_0 가 순서대로 연결될 수 있으며, M_{P2} 의 소스 전압은 MOSFET 동작에 따라 인가 전압과 문턱 전압의 차이 값이 될 수 있다.
- [0083] 또한, C_1 로부터 C_0 로 전하가 이동하게 되며 제1 출력 신호의 V_{out} 은 광 펄스 하나당 전압 변화량 ΔV 만큼 강하된

다. 여기서, 전압 변화량 ΔV 는 C_I 와 C_D 에 관한 비율에 기반하여 결정될 수 있다. 구체적으로, 전압 변화량 ΔV 는 <수학식 1>에 기반하여 결정될 수 있다.

수학식 1

$$\Delta V = \frac{C_D}{C_I} (V_{bias} - V_{thn})$$

[0084]

[0085]

<수학식 1>을 참고하면, ΔV 는 전압 변화량, C_I 는 아날로그 카운터의 전원 단에 연결되는 커패시터의 커패시턴스, C_D 는 아날로그 카운터의 접지 단에 연결되는 커패시터의 커패시턴스, V_{bias} 는 멀티플렉서를 통해 M_{P2} 에 인가되는 전압, V_{thn} 은 M_{P2} 의 문턱 전압을 지시할 수 있다. 즉, ΔV 는 아날로그 카운터의 내부에 배치된 커패시턴스의 비율에 따라 결정되는 값을 지시할 수 있으며, 사용자의 설계에 따라 변경될 수 있다. 추가적으로, V_{bias} 가 M_{P2} 에 지속적으로 인가되는 것이 아니고 펄스 형태로 인가되므로, M_{P2} 의 게이트 전압은 펄스에 관한 카운트가 끝난 이후에 오프(off)되므로 누설 전류로 인한 전압 강하가 적다.

[0086]

제3 동작 과정(660)은 아날로그 카운터를 리셋(reset)시키는 동작을 지시한다. 아날로그 카운터는 C_D 에 충전된 전하를 제거하여 전하를 리셋할 수 있다. 제3 동작 과정(660)에 따르면, 멀티플렉서에 접지 신호 V_{SS} 가 입력된 상황에서, M_{P4} 에 리셋을 위한 펄스 신호가 입력될 수 있다. 즉, M_{P4} 의 스위치로 인하여 C_D 에 충전되어 있던 전하가 제거될 수 있다.

[0087]

도 6을 참고하면, 펄스의 수만큼 적용되는 전압 변화량 ΔV 는 M_{P2} 소자의 문턱 전압, C_I , C_D 에 기반하여 결정되기 때문에, 아날로그 카운터 별로 상이할 수 있다. 제1 단위에 관한 코오스 스텝에 따르면, TDC(360)는 아날로그 카운터의 출력 신호의 크기를 비교하기 때문에 아날로그 카운터 출력 전압의 절대적인 값보다 상대적인 크기가 중요하다. 그러나 제2 단위에 관한 파인 스텝에 따르면, TDC(360)는 위상에 따른 펄스의 카운팅 값을 이용하여 디지털 코드를 생성하기 때문에, 펄스 카운팅에 관한 정확한 값을 아는 것이 중요하다. 여기서, M_{P2} 의 문턱 전압이나 C_I , C_D 의 크기가 변동될 수 있기 때문에, 펄스의 카운팅 값에 오차에 발생할 수 있다. 이에 대응하여, 본 개시에 따른 TDC(360)는 제2 단위에 관한 디지털 코드를 생성하는 경우에서 아날로그 카운터 별로 상이한 오차를 자체적으로 보정할 수 있다. 자체적으로 보정하는 구체적인 방법은 도 7 내지 도 8에서 상세히 설명된다.

[0088]

도 7은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템(100)에서, 램프 전압 신호와 아날로그 카운터의 출력 신호로부터 제2 단위의 제2 디지털 코드를 결정하는 원리에 관한 모식도(700)를 도시한다.

[0089]

도 7을 참고하면, 아날로그 카운터는 제4 동작 과정 내지 제5 동작 과정(710, 760)을 통해 출력 전압을 생성할 수 있고, TDC(360)은 출력 전압을 이용하여 제2 단위의 물체까지의 거리에 관한 디지털 코드를 생성할 수 있다. 여기서, 도 7은 제2 단위에 관한 디지털 코드를 생성하는 경우에서 아날로그 카운터 별로 상이한 오차를 자체적으로 보정하는 방법을 예시한다. 기본적인 싱글 슬로프-ADC의 동작 원리에 따르면, TDC(360)는 아날로그 카운터의 출력 전압과 램프 발생기에서 생성된 램프 전압을 비교하여 펄스의 수를 카운팅 한다. 즉, TDC(360)는 출력 신호가 램프 전압 신호보다 크면 카운팅 값을 증가시키고 작으면 카운팅 값을 유지한다. 그에 따라, TDC는 출력 전압에 포함된 펄스의 수에 대응하는 카운팅 값을 결정하고 이를 디지털 코드로 변환할 수 있다.

[0090]

도 7을 참고하면, TDC(360)는 아날로그 카운터의 출력 신호를 샘플링 하기 위한 커패시터 C_S , C_S 와 소스 팔로워 사이에 배치되는 트랜지스터 M_1 , 및 비교기의 + 입력단에 연결되어 기준 전압 V_{ref} 를 스위칭 하는 트랜지스터 M_2 를 더 포함할 수 있다. 또한, 비교기의 - 입력 단에 기준 전압 V_{ref} 가 인가될 수 있다.

[0091]

제4 동작 과정(710)은 아날로그 카운터의 전압을 샘플링 하는 동작을 지시한다. TDC(360)는 M_1 , M_2 각각에 샘플

링을 위한 신호를 인가할 수 있다. 여기서, 아날로그 카운터의 트리거 신호에 따라 C_s 에 아날로그 카운터의 출력 전압이 샘플링 될 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, C_s 의 샘플링 전압은 $V_{sig} - V_{ref}$ 로 결정될 수 있다.

[0092] 제5 동작 과정(760)은 아날로그 카운터에 대응되는 램프 전압 신호 V_{ramp} 를 생성하여 디지털 코드를 생성하는 동작을 지시한다. 아날로그 카운터는 클럭 신호(761)를 입력 받을 수 있다. 아날로그 카운터는 클럭 신호(761)의 입력에 따라, 아날로그 카운터 각각에 대응하는 램프 전압 신호 V_{ramp} (763)를 생성한다. 비교기는 V_{ramp} (763)와 C_s 의 샘플링 전압에 기반하여 TOF 값을 결정할 수 있다. 비교기는 V_{ramp} (763)가 C_s 의 샘플링 전압보다 이하인 경우 0을 출력하고, V_{ramp} (763)가 C_s 의 샘플링 전압 보다 큰 경우 1을 출력한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, V_{ramp} (763)는 C_s 를 통과하며 $V_{sig} - V_{ref}$ 만큼 전압이 강하되고, 이에 따라 비교기의 + 입력 단의 전압 V_x 는 $V_{ramp} - V_{sig} + V_{ref}$ 가 된다. 비교기는 V_x 와 V_{ref} 를 비교하여 TOF 값을 결정할 수 있다. 비교기는 V_{ramp} 가 C_s 의 샘플링 전압 이하가 되는 경우 0을 출력하고, 디지털 카운터(365)는 0이 될때까지 카운팅된 펄스의 수를 디지털 값으로 변환할 수 있다.

[0093] 도 8은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템(100)에서, 종래의 램프 전압 신호와 본 개시에 따른 램프 전압 신호의 일 예(800)를 도시한다.

[0094] 제1 CASE(810)에 도시된 바와 같이, 제1 아날로그 카운터(362-1)는 제1 출력 신호(811)를 생성하고, 제2 아날로그 카운터(362-2)는 제2 출력 신호(813)를 생성할 수 있다. 여기서, 제1 출력 신호(811), 제2 출력 신호(813) 각각에 포함된 펄스의 수는 각각 5인 경우가 예시된다.

[0095] 제2 CASE(830)에 도시된 바와 같이, 종래에 따른 TDC는 일정한 기울기를 가진 램프 전압 신호를 이용하여 펄스의 수를 카운팅 한다. 그러나, 아날로그 카운터 별로 M_{p2} 의 문턱 전압이나 C_1 , C_0 에 따라 전압 변화량에 차이가 발생할 수 있고, 전압 변화량의 차이에 따라 동일한 수의 광 펄스를 수신하더라도 TDC는 상이한 카운팅 값으로 결정할 수 있다. 즉, 클럭 신호(831)의 입력에 따라 램프 전압 신호가 생성되거나 다른 방법에 따라 램프 전압 신호가 생성된 경우, TDC는 제1 출력 신호에 관한 카운팅 값을 5로 결정하고, 제2 출력 신호에 관한 카운팅 값을 10으로 결정할 수 있다.

[0096] 제3 CASE(850)에 도시된 바와 같이, 본 개시에 따른 TDC(360)는 아날로그 카운터를 이용하여 램프 전압 신호를 생성하고, 생성한 램프 전압 신호를 이용하여 펄스의 수를 카운팅 한다. 제1 출력 신호(811)에 대응되는 전압 변화량 V_{out1} 과 제2 출력 신호(813)에 대응되는 전압 변화량 V_{out2} 가 상이한 경우라도, TDC(360)는 동일한 클럭 신호(851)에 대응하여 아날로그 카운터 별로 상이한 램프 전압 신호를 생성할 수 있다. 구체적으로, 아날로그 카운터에 광 펄스가 검출될 때마다 강하되는 전압 변화량과, 동일한 아날로그 카운터에 클럭 펄스에 따라 획득된 램프 전압 신호의 전압 변화량이 동일하기 때문에, 픽셀 간 아날로그 카운터들 사이의 오차가 제거될 수 있다. 제3 CASE(850)를 참고하면, TDC(360)는 제1 출력 신호에 관한 카운팅 값을 5로 결정하고, 제2 출력 신호에 관한 카운팅 값을 5로 결정하므로, 디지털 변환에 발생하는 오차를 감소시킬 수 있다.

[0097] 도 9는 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템(100)에서, 시간 디지털 변환기의 동작 방법에 관한 흐름도(900)를 도시한다. 구체적으로, 도 9는 수광 소자를 통해 획득한 광을 이용한 광 펄스 신호로부터 거리를 측정하는 시스템에서, TDC의 동작 방법을 예시한다.

[0098] 도 9를 참고하면 단계(901)에서, TDC(360)는 광 펄스 신호의 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스에 기반하여 전압이 강하된 제1 출력 신호를 생성한다. TDC(360)는 제1 아날로그 카운터를 이용하여 제1 출력 신호를 생성할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, TDC(360)의 디지털 카운터는 제1 아날로그 카운터(362-1)에 윈도우 영역을 지시하는 정보를 입력하고, 제1 아날로그 카운터(362-1)는 광 펄스 신호와 윈도우 영역을 확인하여 제1 출력 신호를 생성할 수 있다.

[0099] 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 제1 아날로그 카운터(362-1)는 전원 신호를 인가하기 위한 멀티플렉서, 제1 아날로그 카운터의 전원 단에 연결되는 제1 커패시터, 제1 아날로그 카운터의 접지 단과 연결되는 제2 커패시터, 및 제1 커패시터와 제2 커패시터 사이에 연결되고, 멀티플렉서로부터의 신호 수신에 대응하여 제1 출력 신호를 생성하는 스위치 트랜지스터를 포함할 수 있다. 여기서, 스위치 트랜지스터는 제1 트랜지스터와 제2 트랜지스터를 포함하고, 제1 트랜지스터와 제2 트랜지스터는 캐스코드 구조로 연결될 수 있다.

[0100] 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 제1 출력 신호는 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스의 수만큼 전압 변화량이 적용

된 전압 신호를 포함하고, 전압 변화량은 제1 커패시터에 관한 제1 커패시턴스와 제2 커패시터에 관한 제2 커패시턴스의 비율에 기반하여 결정될 수 있다.

- [0101] 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 제1 아날로그 카운터(362-1)는 제1 커패시터와 제2 커패시터에 충전된 전하를 초기화하고, 멀티플렉서를 통한 인가 전원에 기반하여, 제1 윈도우 영역에 포함된 펄스의 수에 대응하여 전압이 강화된 제1 출력 신호를 출력 하고, 제2 커패시터에 충전된 전하를 방전시킬 수 있다.
- [0102] 단계(903)에서, TDC(360)는 광 펄스 신호의 제2 윈도우 영역에 포함된 펄스에 기반하여 전압이 강화된 제2 출력 신호를 생성한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 제2 아날로그 카운터(362-2)의 회로 구조는 제1 아날로그 카운터(362-1)의 회로 구조와 동일할 수 있다. 그에 따라, 제2 아날로그 카운터(362-2)는 단계(901)에서 제1 아날로그 카운터가 수행한 동작을 동일하게 수행할 수 있다.
- [0103] 단계(905)에서, TDC(360)는 제1 출력 신호의 크기와 제2 출력 신호의 크기를 비교한다. TDC(360)는 비교기를 이용하여 제1 아날로그 카운터(362-1)의 출력 신호와 제2 아날로그 카운터(362-2)의 출력을 비교할 수 있다. 비교기의 비교 결과는 디지털 카운터로 전달될 수 있다.
- [0104] 단계(907)에서, TDC(360)는 비교의 결과에 기반하여 디지털 코드를 생성한다. TDC(360)는 비교기의 비교 결과에 따른 TOF 값을 수신할 수 있고, TOF 값을 이용하여 디지털 코드를 생성할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, TDC(360)는 단계(901), 단계(903), 및 단계(905)를 반복하여 TOF 값들을 수신하고, TOF 값들을 이용하여 디지털 코드를 생성할 수 있다. 구체적으로, TDC(360)는 단계(901), 단계(903)을 복수 회에 걸쳐 반복하여 아날로그 카운터에 히스토그램을 할 수 있다. 이후, TDC(360)는 미리 설정된 임계 펄스 이상의 광 펄스가 획득된 경우, 단계(905)를 진행하여 하나의 코오스 스텝에 따른 TOF 값을 결정할 수 있다. TDC(360)는 이러한 과정을 이를 반복함으로써, 디지털 코드를 생성할 수 있다.
- [0105] 도 10은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 거리 측정 시스템(100)에서, 시간 디지털 변환기가 제1 디지털 코드와 제2 디지털 코드를 결정하는 방법에 관한 흐름도(1000)를 도시한다.
- [0106] 도 10을 참고하면 단계(1001)에서, TDC(360)는 제1 출력 신호와 제2 출력 신호에 기반하여 제1 단위의 물체 거리에 관한 제1 디지털 코드를 결정한다. TDC(360)는 도 9의 단계들을 통해 획득한 TOF 값들에 기반하여 제1 디지털 코드를 생성할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, TDC(360)는 D-TOF 방식을 이용하여 제1 단위의 물체 거리에 관한 제1 디지털 코드를 결정할 수 있다.
- [0107] 단계(1003)에서, TDC(360)는 램프 전압 신호와 아날로그 카운터의 출력 신호에 기반하여, 제1 단위 보다 작은 제2 단위의 물체 거리에 관한 제2 디지털 코드를 결정할 수 있다. TDC(360)는 조사 광과 반사광 간의 위상 차이에 관한 I-TOF 방식을 이용하여 제2 단위의 물체 거리에 관한 제2 디지털 코드를 결정할 수 있다. 즉, TDC(360)는 아날로그 카운터들 각각이 자체적으로 생성하는 램프 전압 신호를 이용하여 펄스의 수에 관한 카운팅 값을 결정하고, 카운팅 값에 따라 제2 디지털 코드를 생성할 수 있다.
- [0108] 본 개시의 일 실시 예에 따르면, TDC(360)는 제1 출력 신호를 샘플링 하기 위한 제3 커패시터를 더 포함할 수 있고, 제3 커패시터는 제1 아날로그 카운터와 비교기 사이에 배치될 수 있다.
- [0109] 본 개시의 일 실시 예에 따르면, TDC(360)는 제3 커패시터를 제1 출력 신호에 관한 제1 샘플링 전압으로 충전시키고, 제1 아날로그 카운터를 이용하여 클럭 신호를 입력 받아 제1 램프 전압 신호를 생성하고, 비교기를 이용하여 제1 램프 전압 신호와 제1 샘플링 전압의 차이를 기준 전압과 비교할 수 있다. 동일한 방법으로, TDC(360)는 제3 커패시터를 제2 출력 신호에 관한 제2 샘플링 전압으로 충전시키고, 제2 아날로그 카운터를 이용하여 클럭 신호를 입력 받아 제2 램프 전압 신호를 생성하고, 비교기를 이용하여 제2 램프 전압 신호와 제2 샘플링 전압의 차이를 기준 전압과 비교할 수 있다. 여기서, 제1 램프 전압 신호와 제2 램프 전압 신호는 상이할 수 있다.
- [0110] TDC(360)는 비교 결과에 따라 위상에 따른 펄스의 카운팅 값을 결정할 수 있다. 즉, TDC(360)는 출력 신호가 램프 전압 신호보다 크면 카운팅 값을 증가시키고 작으면 카운팅 값을 유지한다. 그에 따라, TDC(360)는 출력 전압에 포함된 펄스의 수에 대응하는 카운팅 값을 결정할 수 있다. 이후, TDC(360)는 카운팅 값에 기반하여 제2 디지털 코드를 생성할 수 있다.
- [0111] 본 개시의 청구항 또는 명세서에 기재된 실시 예들에 따른 방법들은 하드웨어, 소프트웨어, 또는 하드웨어와 소프트웨어의 조합의 형태로 구현될(implemented) 수 있다.
- [0112] 소프트웨어로 구현하는 경우, 하나 이상의 프로그램(소프트웨어 모듈)을 저장하는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체

가 제공될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 저장 매체에 저장되는 하나 이상의 프로그램은, 전자 장치(device) 내의 하나 이상의 프로세서에 의해 실행 가능하도록 구성된다(configured for execution). 하나 이상의 프로그램은, 전자 장치로 하여금 본 개시의 청구항 또는 명세서에 기재된 실시 예들에 따른 방법들을 실행하게 하는 명령어(instructions)를 포함한다.

[0113] 이러한 프로그램(소프트웨어 모듈, 소프트웨어)은 랜덤 액세스 메모리 (random access memory), 플래시(flash) 메모리를 포함하는 불휘발성(non-volatile) 메모리, 롬(read only memory, ROM), 전기적 삭제가능 프로그램가능 롬(electrically erasable programmable read only memory, EEPROM), 자기 디스크 저장 장치(magnetic disc storage device), 콤팩트 디스크 롬(compact disc-ROM, CD-ROM), 디지털 다목적 디스크(digital versatile discs, DVDs) 또는 다른 형태의 광학 저장 장치, 마그네틱 카세트(magnetic cassette)에 저장될 수 있다. 또는, 이들의 일부 또는 전부의 조합으로 구성된 메모리에 저장될 수 있다. 또한, 각각의 구성 메모리는 다수 개 포함될 수도 있다.

[0114] 또한, 프로그램은 인터넷(Internet), 인트라넷(Intranet), LAN(local area network), WAN(wide area network), 또는 SAN(storage area network)과 같은 통신 네트워크, 또는 이들의 조합으로 구성된 통신 네트워크를 통하여 접근(access)할 수 있는 부착 가능한(attachable) 저장 장치(storage device)에 저장될 수 있다. 이러한 저장 장치는 외부 포트를 통하여 본 개시의 실시 예를 수행하는 장치에 접속할 수 있다. 또한, 통신 네트워크상의 별도의 저장장치가 본 개시의 실시 예를 수행하는 장치에 접속할 수도 있다.

[0115] 상술한 본 개시의 구체적인 실시 예들에서, 개시에 포함되는 구성 요소는 제시된 구체적인 실시 예에 따라 단수 또는 복수로 표현되었다. 그러나, 단수 또는 복수의 표현은 설명의 편의를 위해 제시한 상황에 적합하게 선택된 것으로서, 본 개시가 단수 또는 복수의 구성 요소에 제한되는 것은 아니며, 복수로 표현된 구성 요소라 하더라도 단수로 구성되거나, 단수로 표현된 구성 요소라 하더라도 복수로 구성될 수 있다.

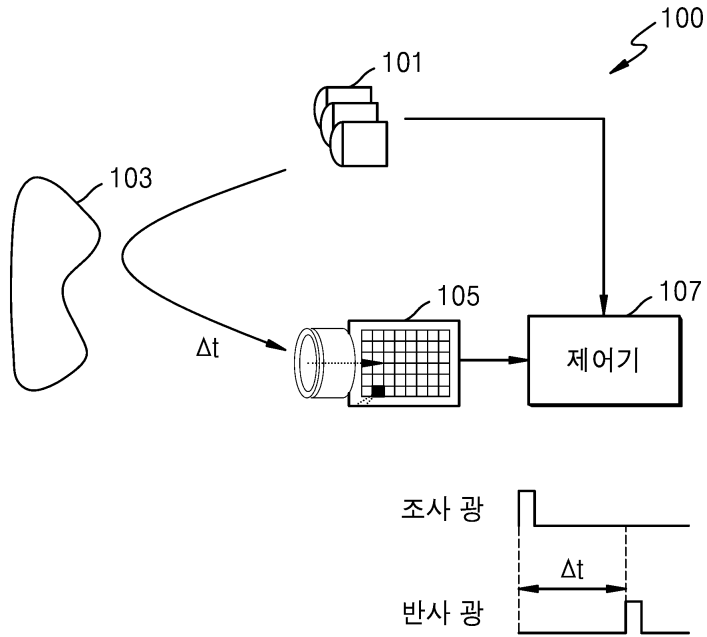
[0116] 한편 본 개시의 상세한 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 본 개시의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 개시의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 아니 되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

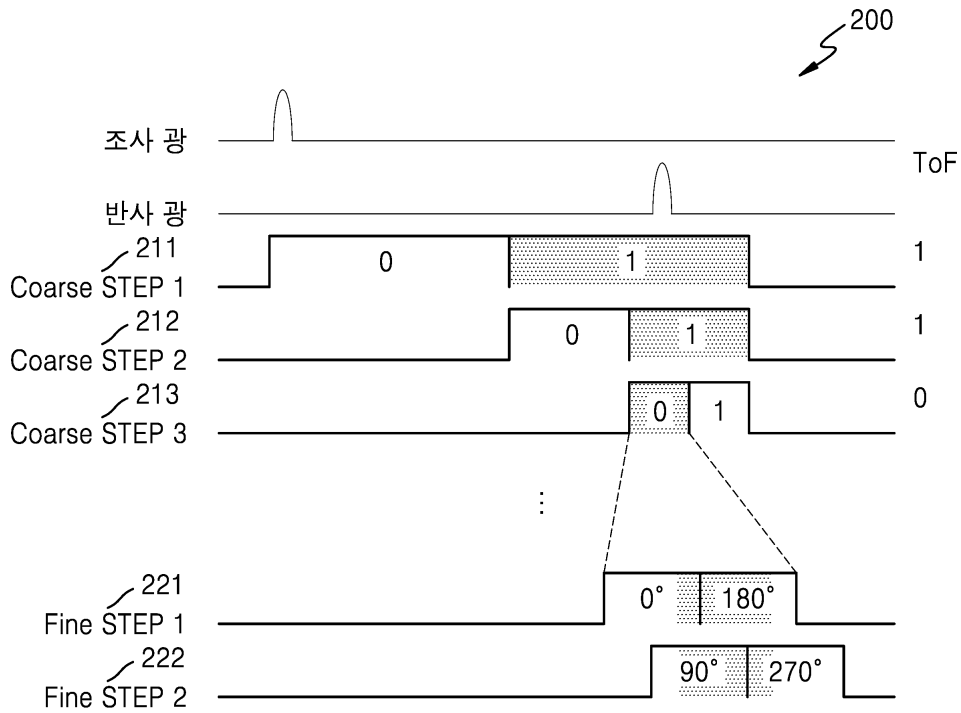
[0117] 101 광원 103 물체
105 수광부 107 제어기
211-213 코오스 스텝 1-3 221-222 파인 스텝 1-2
310 수광 소자 360 TDC
361 모노스테이블 회로 362-1 제1 아날로그 카운터
362-2 제2 아날로그 카운터 363-1 제1 소스 팔로워
363-2 제2 소스 팔로워 364 비교기
365 디지털 카운터 371 제1 윈도우 신호
372 제2 윈도우 신호 511 제1 광 펄스 신호
513, 811 제1 출력 신호 551 제2 광 펄스 신호
553, 813 제2 출력 신호 515 전압 변화량
761, 831, 851 클럭 신호 763 램프 전압 신호
610, 630, 660 제1 동작 과정 내지 제3 동작 과정
710, 760 제4 동작 과정 내지 제5 동작 과정
810, 830, 850 제1 CASE 내지 제3 CASE

도면

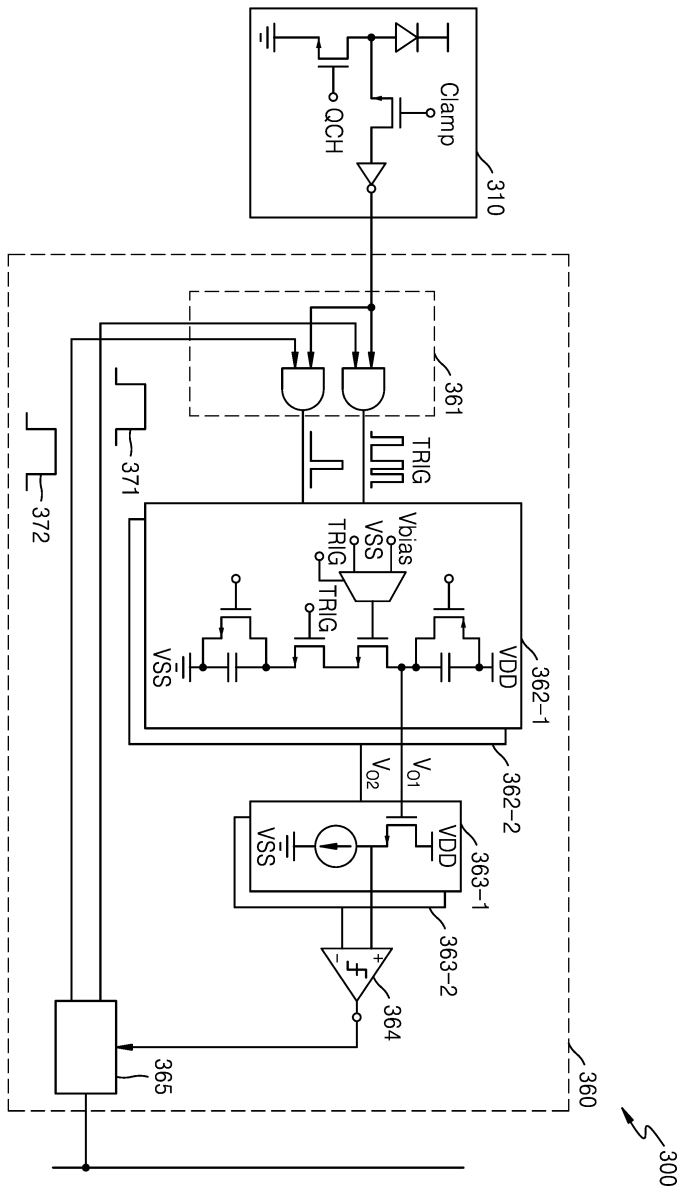
도면1



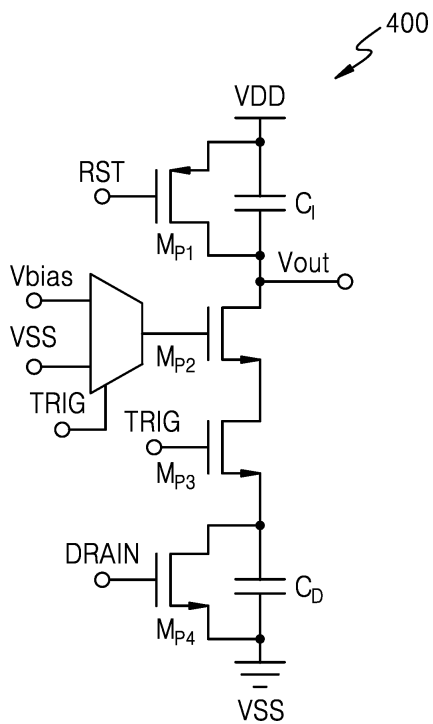
도면2



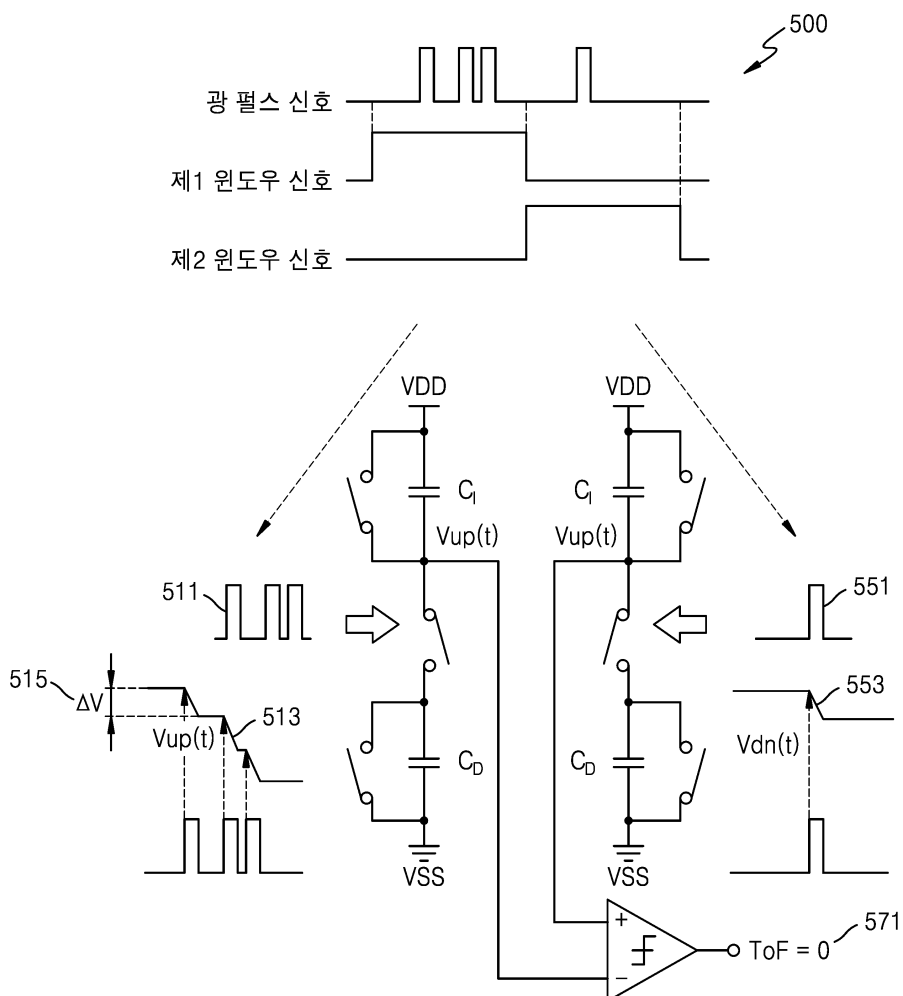
도면3



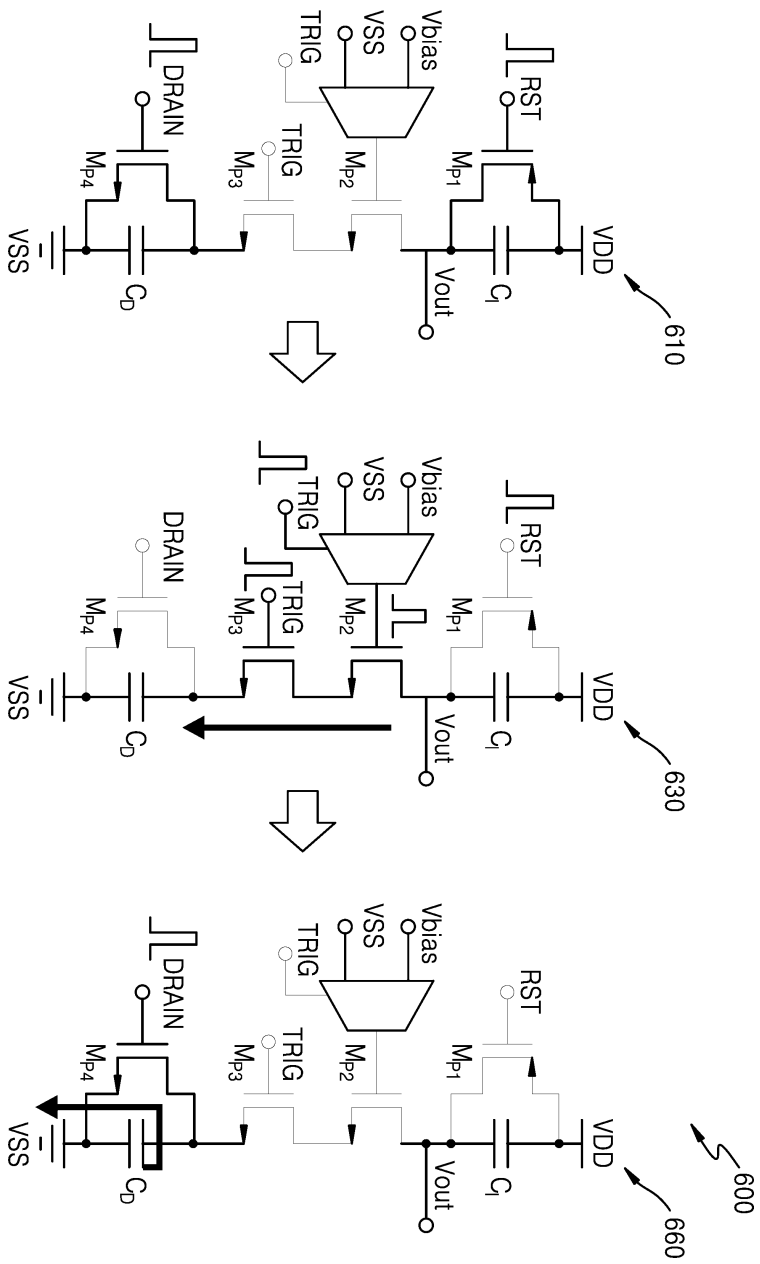
도면4



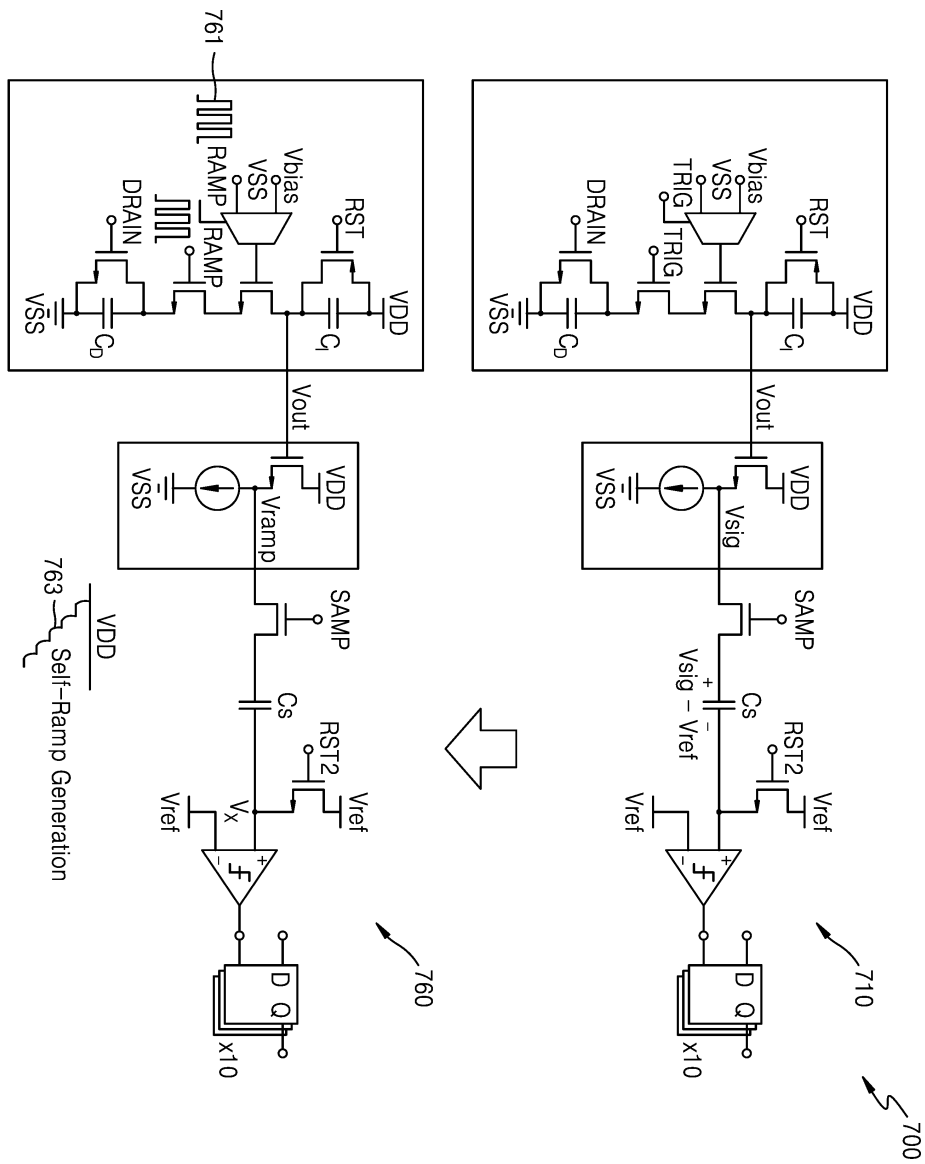
도면5



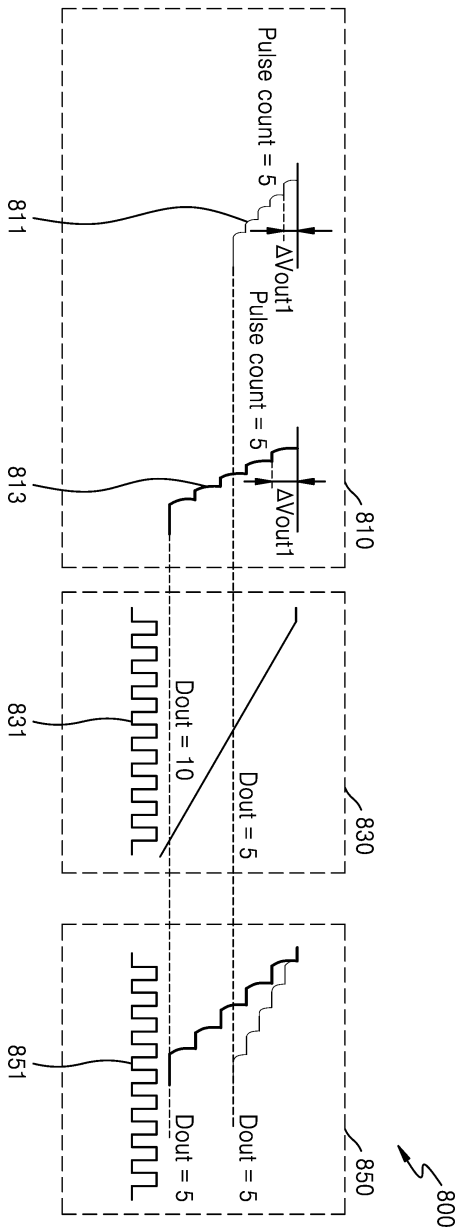
도면6



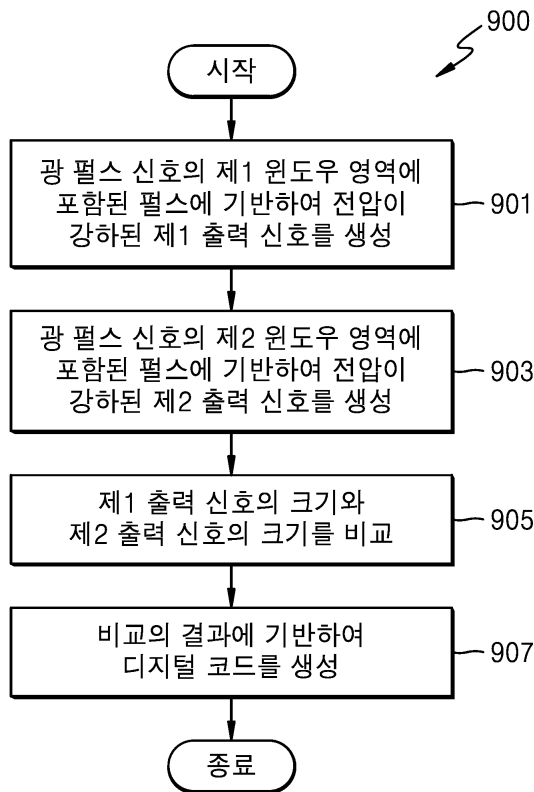
도면7



도면8



도면9



도면10

