

(52) CPC특허분류

G01R 19/02 (2013.01)

G01R 19/16566 (2019.05)

G01R 19/2506 (2013.01)

G01R 19/30 (2021.05)

G01R 22/06 (2013.01)

G01R 23/165 (2013.01)

G01R 29/26 (2021.05)

명세서

청구범위

청구항 1

센서의 출력 신호에 포함된 노이즈를 제거하는 대역 통과 필터(band pass filter);

상기 대역 통과 필터의 출력 신호를 RMS(root-mean-square) 값으로 변환하는 RMS 변환기;

상기 RMS 변환기의 출력 신호의 피크(peak)를 검출하는 피크 검출기;

상기 피크 검출기의 출력 신호를 디지털 신호로 변환하는 아날로그-디지털 변환기(analog-to-digital converter, ADC);

상기 ADC의 출력 신호를 무선 전송하는 트랜스미터; 및

상기 센서의 출력 신호를 모니터링하고, 모니터링 결과에 따라 상기 RMS 변환기, 상기 피크 검출기, 상기 ADC, 및 상기 트랜스미터 중 적어도 하나를 활성을 제어하는 제어기를 포함하는 설비 모니터링 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 설비 모니터링 시스템은 소정의 설비에 설치되어 상기 설비에서 발생하는 물리적 또는 화학적 신호를 검출하는 상기 센서를 더 포함하는,

설비 모니터링 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 설비 모니터링 시스템은 상기 RMS 변환기, 상기 피크 검출기, 상기 ADC, 및 상기 트랜스미터 중 적어도 하나에 전력을 인가하는 배터리를 더 포함하는,

설비 모니터링 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제어기는 제1 비교기, 제2 비교기, 제3 비교기, D 플립 플롭(D flip-flop), 제1 커패시터, 및 제2 커패시터를 포함하는,

설비 모니터링 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 제1 비교기는 상기 대역 통과 필터의 출력 전압과 제1 기준 전압을 비교하여 제1 비교 결과를 출력하고,

상기 제1 비교 결과, 상기 대역 통과 필터의 출력 전압보다 상기 제1 기준 전압이 큰 경우, 상기 D 플립 플롭은 상기 RMS 변환기와 상기 피크 검출기를 활성화시키는 제1 활성화 신호를 출력하고,

상기 RMS 변환기와 상기 피크 검출기는 상기 제1 활성화 신호의 수신에 응답하여 활성화되는,

설비 모니터링 시스템.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 제2 비교기는 상기 RMS 변환기의 출력 전압과 상기 피크 검출기의 출력 전압을 비교하여 제2 비교 결과를 출력하고,

상기 제3 비교기는 상기 RMS 변환기의 출력 전압과 제2 기준 전압을 비교하여 제3 비교 결과를 출력하고,

상기 피크 검출기의 출력 전압이 상기 RMS 변환기의 출력값보다 크고 상기 RMS 변환기의 출력 전압이 상기 제2 기준값보다 작은 경우, 상기 제어기는 상기 ADC를 활성화시키는 제2 활성화 신호를 출력하고,

상기 ADC는 상기 제2 활성화 신호의 수신에 응답하여 활성화되고,

상기 D 플립 플롭은 상기 제2 활성화 신호의 수신에 응답하여 리셋(reset)되는,

설비 모니터링 시스템.

청구항 7

제4항에 있어서,

상기 RMS 변환기의 출력은 상기 제1 커패시터에 저장되고,

상기 피크 검출기의 출력은 상기 제2 커패시터에 저장되는,

설비 모니터링 시스템.

청구항 8

제4항에 있어서,

상기 ADC는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환한 후 EOC(end-of-conversion) 신호를 출력하고,

상기 트랜스미터는 상기 EOC 신호의 수신에 응답하여 활성화되는,

설비 모니터링 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 제어기는 상기 EOC 신호의 수신에 응답하여 상기 제1 캐패시터와 상기 제2 캐패시터를 재설정하는,

설비 모니터링 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 설비 모니터링 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 스마트 그리드 등과 같은 저전력 환경에서 활용 가능한 무선 실시간 설비 모니터링 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 기존의 전력망은 중앙 집중식 발전기에서 고객에게 전력을 공급하는 방식으로 널리 사용되어 왔지만, 주요 운용은 발전, 송전, 및 배전으로 제한되어 있다. 그리드의 크기와 복잡성이 계속 증가함에 따라 AC(Alternating Current) 전압 및 전류를 적절한 수준으로 변환해야 하는 필요성이 증가하기 때문에 더 많은 전기적 결함이 발생할 수 있다. 이러한 고장은 정전을 유발할뿐만 아니라 경제적으로도 심각한 피해를 유발할 수 있다. 따라서, 사고 발생 이전에 지속적으로 장치의 상태를 모니터링하고 진단할 필요가 있다. 전원 공급을 보다 안정적으로 하기 위해, 스마트 그리드는 시스템을 모니터링하고 이상을 감지하며 오류를 방지하여 양방향 전기 및 정보 흐름을 허용하도록 연구되었다. 전력망의 상태를 모니터링하는 것은 광범위한 주제이며, 여러 측면과 밀접하게 연결되어 있다. 효율적이고 안정적인 작동으로 이상적인 스마트 그리드를 구현하기 위한 핵심 요소 중 하나는 스마트 그리드의 각 구성 요소에 적합한 센서를 개발하는 것이다.

[0003] 다양한 IoT(Internet of Things) 센서에 대한 자기장 에너지 획득 장치(harvester)가 있는 자체 전력 스마트 모니터링 시스템이 연구되나, 에너지 획득 장치는 실내 전력선에만 적용 가능하기 때문에 실내 애플리케이션으

로 제한된다. 기존의 스마트 그리드의 실외 시설 모니터링 방식은 장치로부터 물리량(physical quantity)을 원시 데이터(raw data)로 받는 실시간 모니터링으로 고속 데이터 수집(high-speed data acquisition, DAQ) 시스템을 이용하여 출력을 전송하는 유선 모니터링 방식이다. 그러나, DAQ 시스템은 작고 저렴한 디바이스를 모니터링하기에는 부피가 크고 비용이 많이 든다. 이러한 장치를 모니터링하기 위해, 적외선 열 화상 촬영 및 초음파 결함 감지와 같은 원격 모니터링 방법이 제시되었다. 열 화상 및 초음파를 위한 장비는 고가의 장비이지만 휴대가 가능하므로 단일의 원격 모니터링 시스템을 이용하여 전력망의 여러 구성 요소를 모니터링할 수 있다. 그러나, 숙련된 전문가가 현장에 상주하여 구성 요소의 성능을 분석하고 다른 구성 요소를 확인하기 위해 다른 장소로 이동하여야 하므로, 결국 운영 및 유지 관리(operation and maintenance, O&M) 비용이 높아진다. 더욱이 이 방법은 실시간 모니터링에 적용할 수 없어 스마트 그리드의 기본 요건이 될 수 있다.

[0004] 최근, 저가 IoT 장치를 이용하는 무선 실시간 모니터링 시스템이 개발되고 있다. 그러나, 저가 IoT 장치에 있어서 원시 데이터에서 물리량을 수집하기 위한 샘플링 속도는 너무 높을 수 있다. 샘플링 속도를 낮추기 위해, 원시 신호는 신호의 물리적 또는 전기적 매개 변수를 정량화하는 RMS(root-mean-square) 값으로 변환될 수 있다. 예를 들어, 압전 센서를 사용하여 RMS 값을 획득하면 전력 변압기의 부분 방전(partial discharge, PD)의 양을 정량화할 수 있다. 또한, AE(acoustic emission) 센서를 사용하여 RMS 값을 획득하는 방법은 연삭(grinding)에서 공정 매개 변수의 동적 변화를 특성화하는데 널리 사용된다. 그러나, RMS 값을 지속적으로 샘플링하고 데이터를 전송하게 되면, 요구되는 많은 양의 에너지로 인해 배터리의 수명이 단축되기 때문에 원시 신호를 RMS 값으로 변화하는 동작을 배터리 구동식 IoT 장치에 직접 임베딩할 수 없다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본원 발명이 해결하고자 하는 과제는 개량된 설비 모니터링 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일 실시예에 따른 설비 모니터링 시스템은 센서의 출력 신호에 포함된 노이즈를 제거하는 대역 통과 필터(band pass filter), 상기 대역 통과 필터의 출력 신호를 RMS(root-mean-square) 값으로 변환하는 RMS 변환기, 상기 RMS 변환기의 출력 신호의 피크(peak)를 검출하는 피크 검출기, 상기 피크 검출기의 출력 신호를 디지털 신호로 변환하는 아날로그-디지털 변환기(analog-to-digital converter, ADC), 상기 ADC의 출력 신호를 무선 전송하는 트랜스미터, 및 상기 센서의 출력 신호를 모니터링하고, 모니터링 결과에 따라 상기 RMS 변환기, 상기 피크 검출기, 상기 ADC, 및 상기 트랜스미터 중 적어도 하나를 활성을 제어하는 제어기를 포함한다.

발명의 효과

[0007] 본 발명의 실시예들에 따르면, 모니터링 시스템의 피크 검출기는 최대 RMS 값을 유지하고 비정상 입력(abnormal input) 당 하나의 샘플만 허용한다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 모니터링 시스템은 이벤트 기반 샘플링을 통해 소비되는 에너지의 양을 절감할 수 있다.

[0008] 또한, 본 발명의 실시예들에 따르면, RMS 변환기의 피크 값을 샘플링하기 때문에 SNR을 최대화할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0009] 본 발명의 상세한 설명에서 인용되는 도면을 보다 충분히 이해하기 위하여 각 도면의 상세한 설명이 제공된다.

도 1은 종래의 설비 모니터링 시스템의 블록 다이어그램이다.

도 2는 도 1에 도시된 설비 모니터링 시스템의 타이밍 다이어그램이다.

도 3은 다른 종래의 설비 모니터링 시스템의 블록 다이어그램이다.

도 4는 도 3의 설비 모니터링 시스템의 타이밍 다이어그램이다.

도 5는 종래의 모니터링 시스템에 본 발명에서 제안하는 EC(Event controller)를 채용한 경우의 블록 다이어그램이다.

도 6은 도 5에 도시된 모니터링 시스템의 타이밍 다이어그램이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 설비 모니터링 시스템의 블록 다이어그램이다.

도 8은 도 5에 도시된 설비 모니터링 시스템의 타이밍 다이어그램이다.

도 9는 도 7에 도시된 모니터링 시스템의 회로도이다.

도 10은 도 9에 도시된 모니터링 시스템의 타이밍 다이어그램이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 설비 모니터링 시스템의 과도 시뮬레이션(transient simulation) 결과를 나타낸다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 설비 모니터링 시스템의 배터리 수명 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0010] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.
- [0011] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에서 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시 형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.
- [0012] 제1 또는 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만, 예컨대 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 벗어나지 않은 채, 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고 유사하게 제2 구성 요소는 제1 구성 요소로도 명명될 수 있다.
- [0013] 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성 요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성 요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성 요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성 요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0014] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로서, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 본 명세서에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0015] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0016] 이하, 본 명세서에 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0017] 본 발명의 일 실시예에 따른 설비 모니터링 시스템을 설명하기 전에, 기존의 설비 모니터링 시스템의 블록 다이어그램 및 타이밍 다이어그램을 통해 설비 모니터링 시스템의 원리 및 특징을 살펴보도록 한다.
- [0018] 도 1은 종래의 설비 모니터링 시스템의 블록 다이어그램이다.
- [0019] 도 1을 참조하면, 설비 모니터링 시스템의 IoT 기반 트랜스미터(TX)는 저비용으로 장거리 무선 모니터링을 가능하게 하여 안정적인 장기 데이터 전송 및 분석이 가능하다. 배터리 구동 IoT 장치는 파워 그리드 내의 장치에

쉽게 설치할 수 있기 때문에 저렴한 솔루션이 될 수 있다. 배터리로 구동되는 IoT 장치가 파워 그리드의 지상에 설치된 후 지속적인 모니터링과 데이터 전송을 수행하는 경우, 소비 에너지가 크기 때문에 배터리의 잦은 교체가 필요하고 그로 인한 높은 O&M 비용은 피할 수 없다. 따라서, 배터리 구동 IoT 기반 모니터링 시스템의 에너지 소비를 줄이는 것이 중요하다. 또한, 에너지 소비를 줄이기 위해 IoT 장치 내의 데이터 전송 속도는 제한되기 때문에, 무선 모니터링 시스템의 신호 컨디셔너(signal conditioner)는 입력의 물리적 양을 유지하면서 고속 신호를 저속으로 변환해야 한다.

[0020] 도 2는 도 1에 도시된 설비 모니터링 시스템의 타이밍 다이어그램이다. 도 1과 도 2를 참조하면, 무선 모니터링 시스템은 신호 컨디셔너로써 대역 통과 필터(BPF)를 구비한다. 대역 통과 필터(BPF)의 입력(v_{SN})은 아래의 식 1과 같이 정의될 수 있다.

[0021] [식 1]

$$v_{SN}(t) = v_S(t) + v_N(t)$$

[0023] 식 1에서, v_S 과 v_N 각각은 센서의 출력과 노이즈를 나타낸다. v_N 이 백색 노이즈(white noise)라고 가정하면, 대역 통과 필터(BPF)의 출력 신호 v_{IN} 은 하기의 식 2와 같이 표현할 수 있다.

[0024] [식 2]

$$v_{IN}(t) = v_S(t) + v_{NF}(t)$$

[0026] 식 2에서, v_{NF} 은 필터링된 노이즈를 나타낸다. 대역 통과 필터(BPF)의 출력 신호 v_{IN} 은 높은 샘플링 주파수 f_H 를 갖는 ADC(analog-to-digital converter)로 공급된다. 비정상 입력(abnormal input)이 i 번째 시간 하한(lower time bound, 비정상 입력의 시작 시점을 의미하므로 시점이라 명명될 수도 있음) t_{Li} 와 시간 상한(upper time bound, 비정상 입력의 종료 시점을 의미하므로 종점이라 명명될 수도 있음) t_{Ui} 을 갖는, 간헐적으로 발생하는 연속적인 신호(intermittent continuous signal)라고 가정하자(도 2 참조). 모니터링 시스템은 매우 많은 수의 샘플들을 필요로 한다. 즉, 샘플링 주파수 f_H 는 v_{IN} 의 나이퀴스트율(Nyquist rate) 보다 높아야 한다. f_H 로 샘플링된 i 번째 비정상 입력을 모니터링하기 위해 필요한 에너지 $E_{Bi}(f_H)$ 는 하기의 식 3과 같이 계산될 수 있다.

[0027] [식 3]

$$E_{Bi}(f_H) = [P(BPF) + P(ADC(f_H)) + P(TX(f_H))] \cdot (t_{L(i+1)} - t_{Li}),$$

[0029] 식 3에서, $P(X)$ 는 블록 X의 전력 소모(power consumption)를 나타낸다. ADC와 트랜스미터(TX)에서의 전력 소모는 f_H 의 함수들일 수 있다. 최소 샘플링 속도는 나이퀴스트율에 의해 제한되기 때문에, 에너지 소모를 줄이기 위해 f_H 를 감소시킬 수는 없다. 결국, 저에너지 소모를 위해서는, 입력의 물리적 의미(physical significance)를 감소시키지 않으면서 감소된 샘플링 속도를 허용하는 다른 형식으로 입력을 변환하는 신호 컨디셔너가 필요하다. RMS(root-mean-square) 값은 다양한 센서들에 의해 획득된 신호를 평가하기 위한 가장 중요한 기준들 중 하나이다.

[0030] 도 3은 다른 종래의 설비 모니터링 시스템의 블록 다이어그램이고, 도 4는 도 3의 설비 모니터링 시스템의 타이밍 다이어그램이다.

[0031] 도 3에 도시된 바와 같이, 신호 컨디셔너에 RMS 변환기(RMS converter)를 부가하면, RMS 변환기의 출력 v_{RMS} 는 식 4와 같이 표현될 수 있다.

[0032] [식 4]

$$v_{\text{RMS}}(t) = \text{RMS}(v_{\text{IN}}(t)) = \sqrt{\frac{1}{t - t_L} \int_{t_L}^t v_{\text{IN}}^2(\tau) d\tau},$$

[0033]

[0034] 식 4에서, $\text{RMS}(x(t))$ 는 시간 하한 t_L 로부터 t 까지의 x 의 RMS 값을 나타낸다. 인테그레이션(integration)에 의해, v_{RMS} 의 주파수는 v_{IN} 의 주파수 보다 낮을 수 있고, 이는, 도 4에 도시된 바와 같이, RMS 출력의 샘플링 주파수 f_L 이 f_H 보다 매우 낮을 수 있음을 의미한다. $f_H > 2f_{\text{VIN}} > f_L > 2f_{\text{VRMS}}$. f_{VIN} 과 f_{VRMS} 각각은 신호 v_{IN} 과 v_{RMS} 의 주파수를 나타낸다. 따라서, f_L 로 샘플링된 RMS 변환기를 이용할 경우, i 번째 비정상 입력을 위한 에너지 소모 $E_{\text{RMSi}}(f_L)$ 는 식 5와 같이 표현될 수 있다.

[0035] [식 5]

$$E_{\text{RMSi}}(f_L) = [P(\text{BPF}) + P(\text{RMS}) + P(\text{ADC}(f_L)) + P(\text{TX}(f_L))] \cdot (t_{L(i+1)} - t_{Li}).$$

[0036]

[0037] 조건 $P(\text{RMS}) + P(\text{ADC}(f_L)) + P(\text{TX}(f_L)) < P(\text{ADC}(f_H)) + P(\text{TX}(f_H))$ 이 만족되기 때문에, 식 3과 식 5로부터 E_{RMSi} 는 E_{Bi} 보다 낮을 수 있다.

[0039] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 설비 모니터링 시스템을 설명하기로 한다.

[0040] 도 1 내지 도 4를 참조하여 살펴본 바와 같이, 기존의 설비 모니터링 시스템에서는 비정상 신호의 물리량을 추출하기 위해 ADC와 트랜스미터(TX)는 비정상 신호 각각에 대하여 입력을 여러 번 샘플링하는 동작과 데이터를 전송하는 동작을 수행하여야 한다. 이는 매우 큰 에너지 소모를 초래한다. 모든 구성들이 항상 턴온되어 있기 때문이다.

[0041] 도 5는 종래의 모니터링 시스템에 본 발명에서 제안하는 EC(Event controller)를 채용한 경우의 블록 다이어그램이고, 도 6은 도 5에 도시된 모니터링 시스템의 타이밍 다이어그램이다.

[0042] 식 3과 식 5에서 제안한 바와 같이, 에너지 소비는, 도 5에 도시된 바와 같이, EC(Event controller; 이벤트 제어기, 이벤트 컨트롤러, 제어기, 또는 컨트롤러 등으로 명명될 수 있음)를 이용함으로써 감소될 수 있다. 이벤트 제어기(EC)는 입력을 연속적으로 모니터링하면서 각 블록의 턴-온 시간을 최소화한다. 게다가, 모니터링 시스템은, 도 6에 도시된 바와 같이, 각 비정상 구간 동안 일 회의 샘플링만을 허용하는 이벤트 기반(event-driven)의 데이터 샘플링과 데이터 전송을 채용하고, ADC와 트랜스미터(TX)의 전력 소모를 샘플링 주파수와 독립적으로 만든다. i 번째 비정상 입력이 $t=t_{Li}$ 에서 감지되었을 때, BPF와 RMS 변환기는 $t=t_{Ui}$ 에서 v_{RMS} 가 0이 될 때까지 v_{IN} 에 기초하여 신호 v_{RMS} 를 생성한다. 시간 딜레이 t_D 이후에, ACD와 트랜스미터(TX) 각각은 정상 동작 시간(normal operating time) t_{ADC} 와 t_{TX} 동안 이벤트 제어기(EC)에 의해 활성화된다. 그런 다음, 각 블록은 비 활성화되었을 때 슬립 모드(sleep mode)로 동작한다. 슬립 모드에서의 전력 소모는 정상 모드(normal mode)에 비하면 무시할 수 있다(negligible). RMS 변환기와 이벤트 제어기(EC)를 구비하는 종래의 무선 모니터링 시스템의 에너지 소모 E_{ECi} 는 식 6과 같이 근사될 수 있다.

[0043] [식 6]

$$E_{\text{ECi}} \approx P(\text{EC})(t_{L(i+1)} - t_{Li}) + [P(\text{BPF}) + P(\text{RMS})] \cdot (t_{Ui} - t_{Li}) + P_{\text{ADC}}t_{\text{ADC}} + P_{\text{TX}}t_{\text{TX}}$$

[0044]

[0045] 도 3에 도시된 종래의 모니터링 시스템에서, BPF와 RMS 변환기는 항상 턴-온되는 블록이다. 그러나, 제안하는 이벤트 제어기(EC)는 i 번째 비정상 입력에 대하여 각 블록의 정상 동작 시간을 $t_{L(i+1)}-t_{Li}$ 보다는 매우 작은 $t_{Ui}-t_{Li}$, t_{ADC} , 및 t_{TX} 로 감소시킨다. 따라서, BPF, RMS 변환기, ADC, 및 트랜스미터(TX)의 에너지 소비를 급격하게

감소시킬 수 있다. $P(EC)(t_{L(i+1)} - t_{Li})$ 가 무시할 수 있을 만큼 작은 값을 갖는 한, E_{ECi} 는 식 5에서의 $E_{RMSi}(f_L)$ 보다 낮아질 수 있다. 그러나, v_{RMS} 의 최대값이 t_D 시점에서 발생하는지 여부에 대한 불확실성으로 인하여 전체 모니터링 시스템의 SNR(signal-to-noise ratio)은 감소한다. 도 5에서, 이벤트 제어기(EC)를 구비하는 종래 모니터링 시스템의 i 번째 비정상 입력에 대한 SNR인 SNR_{ECi} 는 식 7과 같이 표현될 수 있다.

[식 7]

$$SNR_{ECi} = \frac{P(RMS(v_S(t_{Li} + t_D)))}{P(RMS(v_{NF}(t_{Li} + t_D)))}$$

식 7에서, $RMS(x(t))$ 는 시간 하한 t_{Li} 에서부터 $t(t_{Li} \leq t \leq t_{Ui})$ 까지 x 의 RMS 값이다. $v_{NF}(t)$ 는 평균이 0인 가우스 노이즈(Gaussian noise)이고 $v_S(t)$ 와 상관관계가 없기 때문에, $RMS(v_{NF}(t_{Li} + t_D))$ 는 t_D 와는 무관하게 식 8과 같이 상수로 가정될 수 있다.

[식 8]

$$SNR_{ECi} \approx \alpha [RMS(v_S(t_{Li} + t_D))]^2$$

식 8에서, $1/\alpha$ 는 노이즈 전력(noise power)이다. $RMS(v_S(t_{Li} + t_D))$ 는 v_S 와 t_D 에 따라 변화하기 때문에, SNR_{ECi} 는 샘플링 시점에 최대 값을 갖는다는 보장을 할 수 없다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 설비 모니터링 시스템의 블록 다이어그램이고, 도 8은 도 5에 도시된 설비 모니터링 시스템의 타이밍 다이어그램이다.

도 7을 참조하면, 설비 모니터링 시스템(설비 모니터링 장치, 모니터링 장치, 모니터링 시스템 등의 다양한 명칭으로 명명될 수도 있음)은 RMS 변환기(RMS converter), 피크 검출기(peak detector), ADC, 트랜스미터(TX), 및 이벤트 제어기(EC)를 포함한다. 실시예에 따라, 설비 모니터링 시스템은 배터리(Battery), 센서(Sensor), 및 대역 통과 필터(BPF) 중 적어도 하나를 더 포함할 수도 있다.

배터리(전원, 전원부, 전원 공급부, 전원 공급 장치 등으로 명명될 수도 있음)는 설비 모니터링 시스템으로 전력을 인가한다(도 9 참조). 이때, 배터리는 설비 모니터링 시스템을 구성하는 각 구성 요소에 개별적으로 전력을 인가할 수도 있다.

센서는 소정의 감시 대상에서 발생하는 물리적 및/또는 화학적 신호(또는 이상 신호)를 감지하고, 이를 전기 신호로 변환하여 변환된 전기 신호를 출력할 수 있다. 소정의 감시 대상은 전력망, 변압기 등과 같은 장치를 의미할 수 있고, 센서는 이러한 장치로부터 발생하는 진동, 음향, 광 등을 감지하고 이에 대응하는 전기 신호를 출력할 수 있다.

대역 통과 필터(BPF)는 센서의 출력 신호에 포함되어 있는 노이즈를 제거하고 노이즈가 제거된 신호를 출력할 수 있다.

RMS 변환기는 대역 통과 필터의 출력 신호를 RMS 값으로 변환하여 출력할 수 있다. 설비 모니터링 시스템에 대역 통과 필터가 존재하지 않는 경우, RMS 변환기는 센서의 출력 신호를 RMS 값으로 변환할 수 있다.

피크 검출기는 RMS 변환기의 출력 v_{RMS} 의 피크 값을 검출할 수 있다. 최대의 RMS 값을 검출하기 때문에 SNR을 높일 수 있다.

ADC는 피크 검출기의 출력, 즉 최대 RMS 값을 디지털 신호로 변환하여 출력할 수 있다.

트랜스미터(TX, 송신기, 송신부, 통신기, 통신부 등으로 명명될 수도 있음)는 ADC의 출력을 무선 전송할 수 있다. 이때, 트랜스미터(TX)는 ADC의 출력에 통신 프로토콜을 추가한 후에 무선 전송을 수행할 수도 있다.

이벤트 제어기(EC)는 이상 신호의 입력을 지속적으로 모니터링 하고, 이에 기초하여 각 블록들(RMS 변환기, 피크 감지기, ADC, 트랜스미터(TX))을 활성화시키는 활성화 신호(인에이블 신호라 명명될 수도 있음)를 생성하고 출력한다. 각 블록들은 미리 정해진 활성화 신호의 수신에 응답하여 미리 정해진 동작을 수행한다. 이때, 이벤트 제어기(EC)의 입력 신호는 센서의 출력 신호이거나 대역 통과 필터의 출력 신호일 수 있다.

[0062] 최대의 RMS 값이 전송되는 것을 보장하기 위해, 도 7에 도시된 바와 같이, 피크 감지기가 RMS 변환기의 뒷단에 구비될 수 있다. 도 5에서 살펴본, 제안하는 이벤트 제어기(EC)를 구비한 기존의 시스템과는 달리, 도 7의 모니터링 시스템은 피크 감지기를 이용하여 최대 RMS 값을 샘플링하고 그 값을, 도 8에 도시된 바와 같이, $t=t_{Ui}$ 에서 v_{RMS} 가 0이 될 때까지 홀드한다. 이를 통해, i 번째 비정상 입력에 대한 제안하는 모니터링 시스템의 SNR인 SNR_{Propi} 는 식 9와 같이 근사될 수 있다.

[0063] [식 9]

$$SNR_{Propi} \approx \alpha \left[\text{Max} \left(\text{RMS}(v_s(t)) \right) \right]^2$$

[0065] $t=t_M$ 에서 최대 RMS 값이 획득된다면, 식 9는 식 10과 같이 재작성될 수 있다.

[0066] [식 10]

$$SNR_{Propi} \approx \alpha \left[\text{RMS}(v_s(t_M)) \right]^2$$

[0068] 식 10은 SNR_{Propi} 는 항상 SNR_{ECi} 보다 크거나 같음을 의미한다. 지역적인 피크들(local peaks)이 존재할 수 있으나, 제안하는 모니터링 시스템은, SNR을 최대화하기 위하여, 각 비정상 입력에 대하여 오직 글로벌 최대값만을 저장한다.

[0069] 제안하는 모니터링 시스템은 이벤트 기반의 샘플링과 데이터 전송의 잇점을 갖고, 이는 샘플링과 에너지 소모를 감소시키기 위해 비정상 입력 당 하나의 샘플만을 허용한다. i 번째 비정상 입력에 대한 제안하는 시스템의 에너지 소비 E_{Propi} 는 식 11과 같이 표현된다.

[0070] [식 11]

$$E_{Propi} = E_{ECi} + P(\text{PEAK})(t_{Ui} - t_{Li})$$

[0072] 식 11에서, $P(\text{PEAK})$ 는 피크 감지기의 전력 소모를 나타낸다.

[0073] 도 9는 도 7에 도시된 모니터링 시스템의 회로도이고, 도 10은 도 9에 도시된 모니터링 시스템의 타이밍 다이어그램이다.

[0074] 전력을 요구하지 않는 수동적인 BPF는 에너지 소모를 줄이기 위해 사용될 수 있다. 이벤트 제어기(EC)에 의해 생성되는 활성화 신호들(enable signals, 인에이블 신호들로 명명될 수도 있음)은 각 블록(RMS 변환기, 피크 검출기, ADC, 및 트랜스미터(TX))을 정상 모드(normal mode) 또는 슬립 모드(sleep mode)로 동작하게 한다. 이벤트 제어기(EC)는 적어도 하나의 비교기(comparator, 예컨대 3 개의 비교기들), D 플립-플롭(D flip-flop), AND 게이트, 및 리셋 스위치를 구비한 2 개의 캐피시터들을 포함할 수 있다.

[0075] CMP_1 은 넓은 주파수 범위에서 비정상을 감지하기 위해 고속으로 동작하지만, CMP_2 와 CMP_3 는 오직 활성화 신호들을 리셋하는 저속 저전력 비교기들(low-speed and low-power comparators)일 수 있다. 이벤트 기반 제어를 위해, 이벤트 제어기(EC)는 항상 활성화 상태로 동작하여 입력의 비정상을 모니터링할 수 있다.

[0076] 도 9의 모니터링 시스템의 타이밍 다이어그램을 도시하는 도 10을 참조하면, 입력의 이상이 감지된 순간부터 감지된 정보를 전송할 때까지 총 4개의 상(phase)이 존재한다.

[0077] 제1 상(phase I)에서, $v_{IN} > V_{REF1}$ (제1 기준 전압)일 때 CMP_1 에 의해 입력에서의 비정상(abnormality)이 감지된다. 즉, CMP_1 은 v_{IN} 과 V_{REF1} 을 비교하고, v_{IN} 이 V_{REF1} 보다 클 경우 D 플립-플롭의 클록 펄스(clock pulse)로 이용되는 CK_{IN} (보다 구체적으로는, '하이(high)' 값을 갖는 CK_{IN})을 출력할 수 있다. V_{REF1} 은 관리자에 의미 미리 정해진 값을 갖거나 상황이나 환경에 따라 변화하는 값을 가질 수 있다. 생성된 클록 펄스 CK_{IN} 은 D 플립-플롭을 트리거(trigger)하여 EN_{RMS} 를 '하이'로 설정함으로써, CMP_2 와 CMP_3 가 조건들($v_{PEAK} > v_{RMS}$ 및 $v_{RMS} < V_{REF2}$ (제2 기준 전압))을 검출할 때까지 RMS 변환기와 피크 검출기 모두를 턴-온시킨다. 즉, D 플립-플롭은 CMP_1 의 출력 신호에 의해 트리거된 후부터 AND 게이트로부터 리셋 신호를 수신할 때까지 '하이' 값을 갖는 EN_{RMS} 를 출력한다. v_{RMS} 의 증가는

저역 통과 필터(low-pass filter)로써 동작하는 C_1 에 비례하고, V_{PEAK} 는 C_2 에 저장된다. V_{REF2} 는 관리자에 의해 미리 정해진 값을 갖거나 상황이나 환경에 따라 변화하는 값을 가질 수 있다. 또한, V_{REF2} 는 V_{REF1} 과 동일할 수도 있고, 경우에 따라서는 상이한 값을 가질 수도 있다.

[0078] 요컨대, 이벤트 제어기는 입력 신호의 이상 발생 여부를 감지하기 위해 지속적으로 대역 통과 필터(또는 센서)의 출력 신호를 모니터링 한다. 대역 통과 필터(또는 센서)의 출력에 이상이 발생한 경우(즉, 조건 $V_{IN} > V_{REF1}$ 이 만족되는 경우), 이벤트 제어기는 RMS 변환기와 피크 감지기를 웨이크-업(또는 활성화)시키기 위한 활성화 신호를 출력한다. RMS 변환기의 RMS 변환 동작의 결과로 생성된 V_{RMS} 는 이벤트 제어기(예컨대, 캐패시터 C_1)에 저장되고, 피크 감지기의 피크 감지 동작의 결과로 생성된 V_{PEAK} 는 이벤트 제어기(예컨대, 캐패시터 C_2)에 저장될 수 있다. 또한, 조건 $V_{PEAK} > V_{RMS}$ 및 $V_{RMS} < V_{REF2}$ 가 만족되는 경우, 이벤트 제어기는 RMS 변환기와 피크 감지기를 비활성화시키기 위한(또는 슬립 모드로 동작시키기 위한) 제어 신호와 ADC를 활성화시키기 위한 제어 신호를 출력한다. RMS 변환기와 피크 감지기가 비활성화되고 ADC가 활성화됨으로써 제1 상은 완료된다.

[0079] 제2 상(phase II)에서, RMS 변환기와 피크 감지기가 모두 비활성화된 후에 ADC는 V_{PEAK} 를 샘플링하기 위해 활성화된다. 즉, 이벤트 제어기는 조건 $V_{PEAK} > V_{RMS}$ 및 $V_{RMS} < V_{REF2}$ 가 만족되는 경우, ADC를 활성화시키기 위한 제어 신호 EN_{ADC} 를 출력한다. 이때, EN_{ADC} 는 D 플립-플롭의 리셋 신호로 동작하고 결과적으로 RMS 변환기와 피크 감지기를 활성화시키기 위한 EN_{RMS} 의 상태가 '로우(low)' 상태로 천이된다. ADC는 디지털 변환 동작을 완료하고 V_{PEAK} 의 디지털 값 D_0 는 트랜스미터(TX)로 전달된다.

[0080] 요컨대, 이벤트 제어기의 제어에 따라 RMS 변환기와 피크 감지기는 비활성화되고 ADC는 활성화됨으로써 RMS의 피크값은 디지털 신호로 변환된다. 제2 상은 ADC의 디지털 변환 동작의 완료에 대응하며 발생하는 EOC의 출력으로 종료된다. EOC 신호가 출력에 응답하여 트랜스미터(TX)는 활성화된다.

[0081] 제3 상(phase III)에서, ADC는 샘플링을 완료한 후에 트랜스미터(TX)를 활성화시키고 C_1 과 C_2 를 리셋시키는 EOC(end-of-conversion) 신호를 생성한다. 마지막으로, 트랜스미터(TX)의 출력 D_{OUT} 은 무선 통신 프로토콜(wireless communication protocol)을 D_0 에 부가함으로써 생성된다.

[0082] 제4 상(phase IV)에서, 전송이 완료된 후에, 이벤트 제어기(EC)를 제외한 모든 블록들은 슬립 모드로 동작한다. 그러나, 이벤트 제어기(EC)는 입력에서의 비정상 상태를 지속적으로 감지한다.

[0083] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 설비 모니터링 시스템의 과도 시뮬레이션(transient simulation) 결과를 나타낸다.

[0084] 도 11을 참조하면, 신호 V_{IN} , V_{RMS} , V_{PEAK} 의 출력에 맞춰 EN_{RMS} , EN_{ADC} , EOC 신호가 제대로 출력되는지 확인하기 위한 시뮬레이션을 진행하였다. 입력 신호(V_{IN})로 5MHz 대역의 PD 신호를 사용하며, 이벤트 발생 조건은 $V_{IN} > V_{REF1}=400mV$ 이다.

[0085] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 설비 모니터링 시스템의 배터리 수명 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

[0086] 배터리 수명 시뮬레이션을 위한 기본 조건은 하기와 같다. 이벤트-반응형 방식을 전제로 하며, 배터리의 용량은 7500mAh이다. 도 12는 입력 신호의 발생 주기를 조절하여, 배터리의 수명을 계산한 결과이다.

[0087] 이벤트 제어기가 없는 종래 모니터링 시스템(Conventional)의 배터리 수명은 데이터 시트(data sheets)에 기초하여 계산되었고, 비정상 신호의 발생 빈도와 무관하게 약 48일 수명을 갖는 것으로 계산되었다.

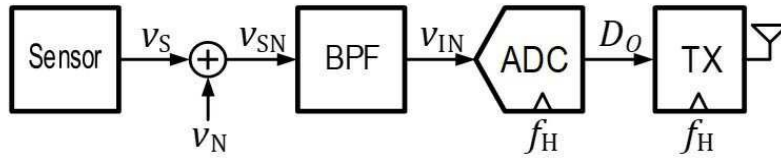
[0088] 이와 대조적으로, 제안하는 이벤트 기반의 모니터링 시스템에서의 배터리 수명은, 비정상 신호의 발생 빈도가 낮은 경우, 최대 8,572일까지 지속되었다. 이는 종래의 모니터링 시스템에 비해 배터리 수명이 최대 120배 연장될 수 있음을 의미한다.

[0090] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 예를 들어,

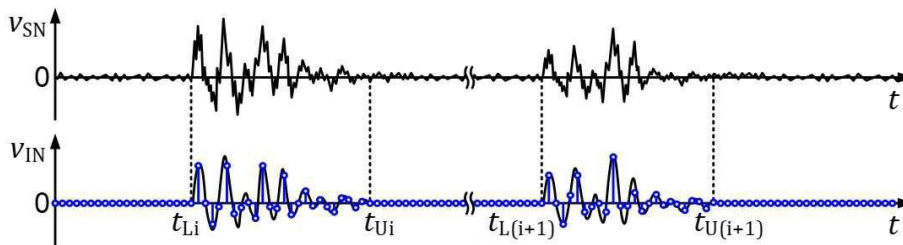
설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성 요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성 요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 등록청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

도면

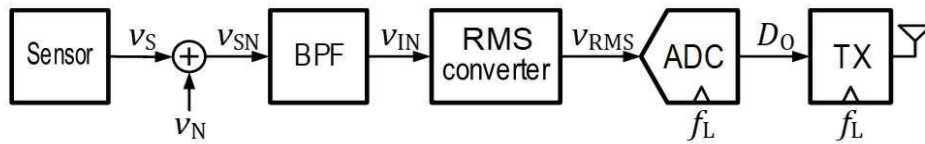
도면1



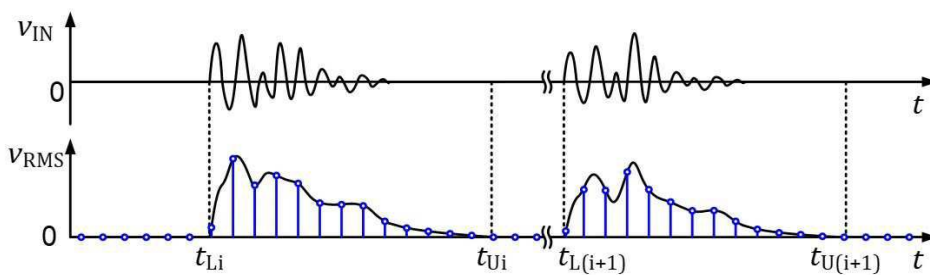
도면2



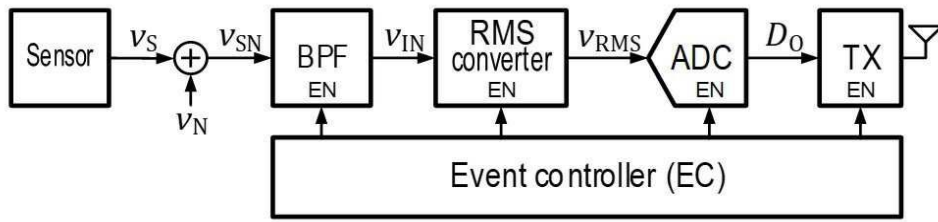
도면3



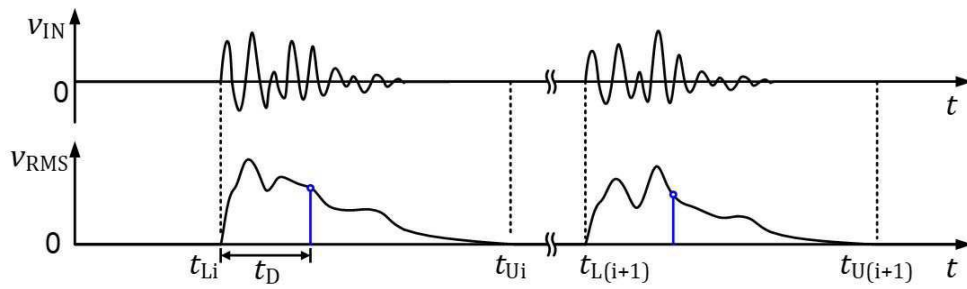
도면4



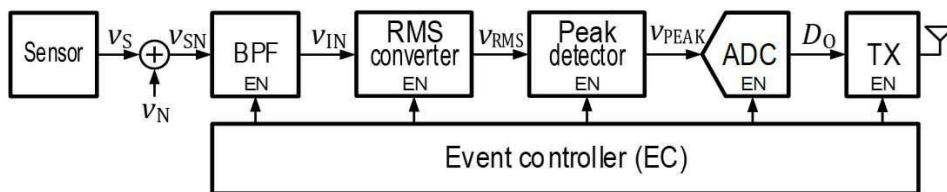
도면5



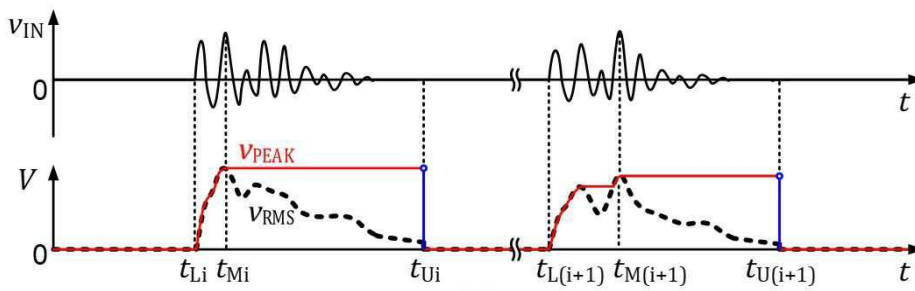
도면6



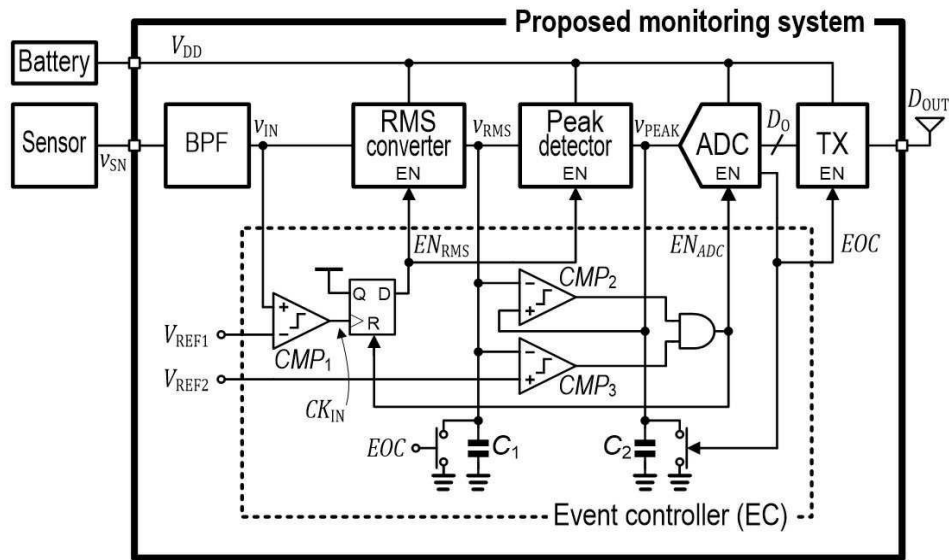
도면7



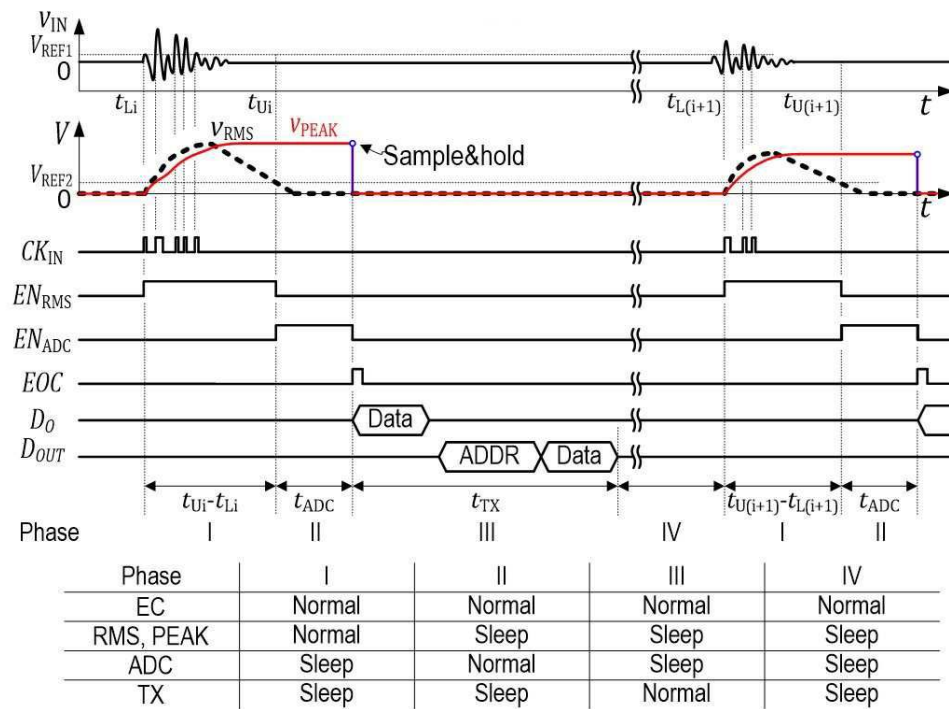
도면8



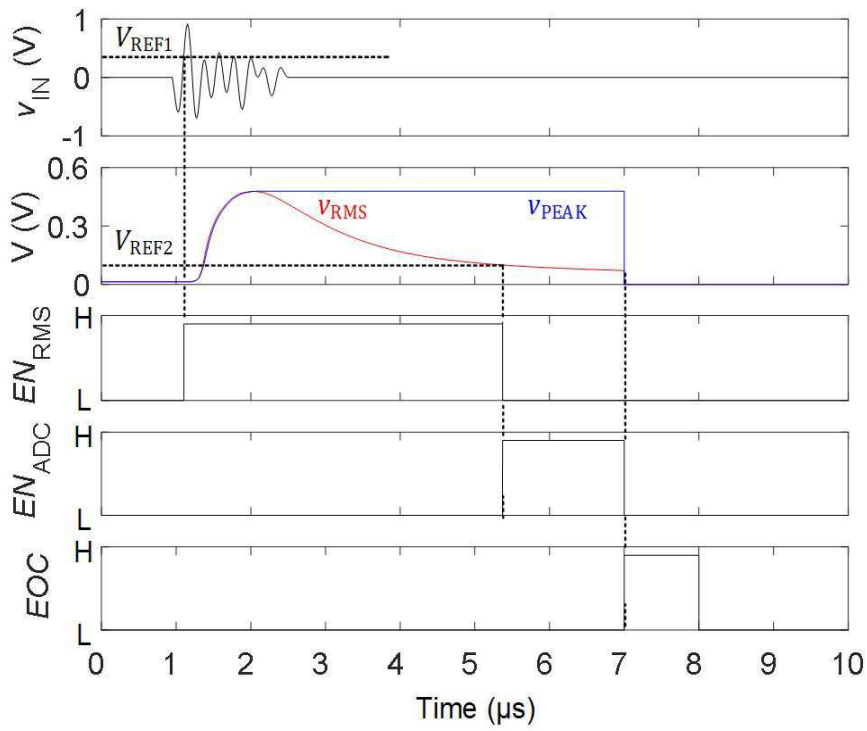
도면9



도면10



도면11



도면12

