

(11) 공개번호 10-2023-0169613
(43) 공개일자 2023년12월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01R 31/11 (2006.01) *G01R 15/18* (2006.01)
G01R 23/16 (2006.01) *G01R 31/08* (2006.01)
G01R 35/00 (2006.01) *G06N 20/00* (2019.01)

(52) CPC특허분류
G01R 31/11 (2013.01)
G01R 15/18 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-0069971

(22) 출원일자 2022년06월09일
 심사청구일자 2022년06월09일

(71) 출원인
 연세대학교 산학협력단
 서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자
 신용준
 서울특별시 서대문구 연세로 50, 제3공학관 C511호(신촌동, 연세대학교)

이영호
 서울특별시 서대문구 연세로 50, 제2공학관 B729호(신촌동, 연세대학교)

(74) 대리인
 특허법인우인

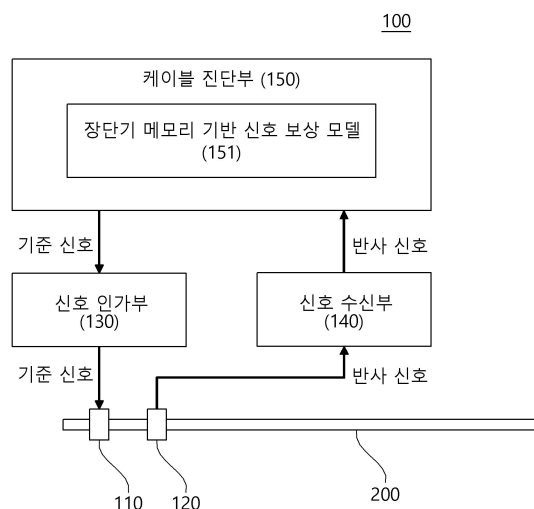
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 장치 및 방법은, 계단-주파수 반사파 계측법(steppped-frequency waveform reflectometry, SFWR)을 기반으로 인덕티브 커플러(inductive coupler)를 이용하여 활성 상태에 있는 케이블의 결함 등을 진단함으로써, 운용 중인 케이블을 휴전하지 않더라도 케이블을 진단할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01R 23/16 (2021.05)

G01R 31/083 (2013.01)

G01R 35/00 (2021.05)

G06N 20/00 (2021.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711126715
과제번호	2020R1A2B5B03001692
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	중견연구자지원사업
연구과제명	수퍼 그리드 구현을 위한 차세대 전력망 진단 및 모니터링 기술 개발(3/3)
기 여 율	1/2
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711153231
과제번호	2017K1A4A3013579
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	해외우수연구기관유치
연구과제명	한-미 연구재단 신 전력기술 국제 산학협력 연구센터
기 여 율	1/2
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

활선 상태의 진단 대상 케이블에 비접촉 방식으로 배치된 제1 인덕티브 커플러;

상기 제1 인덕티브 커플러가 배치된 위치와 상이한 위치에서 상기 진단 대상 케이블에 비접촉 방식으로 배치된 제2 인덕티브 커플러;

기준 신호를 상기 제1 인덕티브 커플러를 통해 상기 진단 대상 케이블에 인가하는 신호 인가부;

상기 기준 신호가 상기 진단 대상 케이블 내에서 반사됨에 의해 형성되는 반사 신호를 상기 제2 인덕티브 커플러를 통해 수신하는 신호 수신부; 및

상기 기준 신호를 생성하고, 상기 기준 신호를 상기 신호 인가부에 제공하며, 상기 신호 수신부를 통해 상기 반사 신호를 획득하고, 미리 학습되어 구축된 장단기 메모리(long short-term memory, LSTM) 기반 신호 보상 모델을 이용하여 상기 반사 신호를 기반으로 상기 진단 대상 케이블을 진단하는 케이블 진단부;

를 포함하는 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활선 상태 케이블 진단 장치.

청구항 2

제1항에서,

상기 케이블 진단부는,

주파수가 계단식으로 점점 높아지는 연속된 주파수 버스트로 이루어지는 계단 신호를 케이블에 인가한 후 케이블로부터 되돌아오는 반사 신호를 기반으로 케이블을 진단하는 계단-주파수 반사파 계측법(steped-frequency waveform reflectometry, SFWR)을 이용하여 상기 기준 신호를 생성하는,

인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활선 상태 케이블 진단 장치.

청구항 3

제2항에서,

상기 케이블 진단부는,

상기 기준 신호의 각 주파수 버스트가 0에서 시작해서 0으로 끝날 수 있도록 각 주파수 버스트의 지속 시간(time duration, TD)을 조정하여, 상기 기준 신호를 생성하는,

인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활선 상태 케이블 진단 장치.

청구항 4

제3항에서,

상기 케이블 진단부는,

최저 주파수의 지속 시간을 기본 지속 시간으로 획득하고, 상기 기본 지속 시간의 크기를 가지는 윈도우(window)에서 나머지 주파수에 대한 주기 개수(number of period, NP)를 획득하며, 각 주파수에 대해 획득된 상기 주기 개수를 1 또는 1.5의 배수로 반올림하여 잘린 정현파(truncated sinusoidal wave)가 0에서 끝나도록 하여, 상기 기준 신호를 생성하는,

인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활선 상태 케이블 진단 장치.

청구항 5

제4항에서,

상기 케이블 진단부는,

[식 1]을 이용하여 최저 주파수 f_0 의 지속 시간 TD_i 를 계산하여 상기 기본 지속 시간 TD_0 을 획득하고, [식 2]를 이용하여 나머지 주파수 f_i 각각에 대한 상기 주기 개수 NP 를 획득하며,

상기 [식 1]은, $TD_i = 0 : step : \frac{1}{f_i} \times NP + \Delta step$ 이고,

상기 $\Delta step$ 은, 타임 스텝(time step)의 분해능(resolution)을 나타내며,

상기 [식 2]는, $NP = \frac{TD_0 - \Delta step}{T_i}$ 이고,

상기 T_i 는, 각 주파수의 주기(period)를 나타내는,

인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 장치.

청구항 6

제1항에서,

상기 제1 인덕티브 커플러 및 상기 제2 인덕티브 커플러는,

3MHz부터 30MHz까지의 주파수 허용 범위를 가지는 커플러인,

인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 장치.

청구항 7

제1항에서,

상기 케이블 진단부는,

상기 반사 신호를 상기 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델에 입력하고, 상기 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델의 출력을 통해 감쇄 및 왜곡이 보상된 상기 반사 신호를 획득하며, 보상된 상기 반사 신호를 기반으로 상기 진단 대상 케이블을 진단하는,

인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 장치.

청구항 8

제7항에서,

상기 케이블 진단부는,

상기 진단 대상 케이블에 접촉 방식으로 연결된 커넥터(connector)를 통해 상기 진단 대상 케이블에 학습 기준 신호를 인가하고, 상기 진단 대상 케이블에 접촉 방식으로 연결된 커넥터를 통해 상기 학습 기준 신호가 상기 진단 대상 케이블 내에서 반사됨에 의해 형성되는 학습 반사 신호를 획득하며, 상기 학습 반사 신호를 학습 데이터로 하여 상기 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델을 학습하는,

인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 장치.

청구항 9

활성 상태의 진단 대상 케이블에 비접촉 방식으로 배치된 제1 인덕티브 커플러 및 상기 제1 인덕티브 커플러가 배치된 위치와 상이한 위치에서 상기 진단 대상 케이블에 비접촉 방식으로 배치된 제2 인덕티브 커플러를 포함하는 활성 상태 케이블 진단 장치에 의해 수행되는 활성 상태 케이블 진단 방법으로서,

기준 신호를 생성하는 단계;

상기 기준 신호를 상기 제1 인덕티브 커플러를 통해 상기 진단 대상 케이블에 인가하는 단계;

상기 기준 신호가 상기 진단 대상 케이블 내에서 반사됨에 의해 형성되는 반사 신호를 상기 제2 인덕티브 커플러를 통해 수신하는 단계; 및

미리 학습되어 구축된 장단기 메모리(long short-term memory, LSTM) 기반 신호 보상 모델을 이용하여 상기 반사 신호를 기반으로 상기 진단 대상 케이블을 진단하는 단계;

를 포함하는 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 방법.

청구항 10

제9항에서,

상기 기준 신호 생성 단계는,

주파수가 계단식으로 점점 높아지는 연속된 주파수 버스트로 이루어지는 계단 신호를 케이블에 인가한 후 케이블로부터 되돌아오는 반사 신호를 기반으로 케이블을 진단하는 계단-주파수 반사파 계측법(steppped-frequency waveform reflectometry, SFWR)을 이용하여 상기 기준 신호를 생성하는 것으로 이루어지는,

인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 방법.

청구항 11

제10항에서,

상기 기준 신호 생성 단계는,

상기 기준 신호의 각 주파수 버스트가 0에서 시작해서 0으로 끝날 수 있도록 각 주파수 버스트의 지속 시간(time duration, TD)을 조정하여, 상기 기준 신호를 생성하는 것으로 이루어지는,

인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 방법.

청구항 12

제9항에서,

상기 진단 대상 케이블 진단 단계는,

상기 반사 신호를 상기 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델에 입력하고, 상기 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델의 출력을 통해 감쇄 및 왜곡이 보상된 상기 반사 신호를 획득하며, 보상된 상기 반사 신호를 기반으로 상기 진단 대상 케이블을 진단하는 것으로 이루어지는,

인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 방법.

청구항 13

제12항에서,

상기 진단 대상 케이블에 접촉 방식으로 연결된 커넥터(connector)를 통해 상기 진단 대상 케이블에 학습 기준 신호를 인가하고, 상기 진단 대상 케이블에 접촉 방식으로 연결된 커넥터를 통해 상기 학습 기준 신호가 상기 진단 대상 케이블 내에서 반사됨에 의해 형성되는 학습 반사 신호를 획득하며, 상기 학습 반사 신호를 학습 데이터로 하여 상기 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델을 학습하는 단계;

를 더 포함하는 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 장치 및 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 케이블의 결함 등을 진단하는, 장치 및 방법에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 현재 케이블 시스템 진단의 경우 케이블 시스템의 고전압/고전류로 인하여 주로 케이블 시스템이 휴전 상태일 때 이루어 지고 있다. 진단을 위한 케이블 시스템의 무분별한 휴전은 케이블 시스템 및 연계된 전력 계통의 불안정을 발생시키며 전력 공급에 차질이 생길 가능성이 있어 시간적/금전적 손해를 야기할 가능성이 있다.
- [0003] 따라서, 케이블 시스템을 진단할 수 있는 기회가 흔치 않으며, 케이블에서 발생한 고장이 발견되지 않은 상태로 계속 운용을 하게 된다면 큰 사고가 발생할 가능성이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0004] 본 발명이 이루고자 하는 목적은, 계단-주파수 반사파 계측법(steped-frequency waveform reflectometry, SFWR)을 기반으로 인덕티브 커플러(inductive coupler)를 이용하여 활성 상태에 있는 케이블의 결함 등을 진단하는, 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 장치 및 방법을 제공하는 데 있다.
- [0005] 본 발명의 명시되지 않은 또 다른 목적들은 하기의 상세한 설명 및 그 효과로부터 용이하게 추론할 수 있는 범위 내에서 추가적으로 고려될 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0006] 상기의 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 장치는, 활성 상태의 진단 대상 케이블에 비접촉 방식으로 배치된 제1 인덕티브 커플러; 상기 제1 인덕티브 커플러가 배치된 위치와 상이한 위치에서 상기 진단 대상 케이블에 비접촉 방식으로 배치된 제2 인덕티브 커플러; 기준 신호를 상기 제1 인덕티브 커플러를 통해 상기 진단 대상 케이블에 인가하는 신호 인가부; 상기 기준 신호가 상기 진단 대상 케이블 내에서 반사됨에 의해 형성되는 반사 신호를 상기 제2 인덕티브 커플러를 통해 수신하는 신호 수신부; 및 상기 기준 신호를 생성하고, 상기 기준 신호를 상기 신호 인가부에 제공하며, 상기 신호 수신부를 통해 상기 반사 신호를 획득하고, 미리 학습되어 구축된 장단기 메모리(long short-term memory, LSTM) 기반 신호 보상 모델을 이용하여 상기 반사 신호를 기반으로 상기 진단 대상 케이블을 진단하는 케이블 진단부;를 포함한다.
- [0007] 여기서, 상기 케이블 진단부는, 주파수가 계단식으로 점점 높아지는 연속된 주파수 버스트로 이루어지는 계단 신호를 케이블에 인가한 후 케이블로부터 되돌아오는 반사 신호를 기반으로 케이블을 진단하는 계단-주파수 반사파 계측법(steped-frequency waveform reflectometry, SFWR)을 이용하여 상기 기준 신호를 생성할 수 있다.
- [0008] 여기서, 상기 케이블 진단부는, 상기 기준 신호의 각 주파수 버스트가 0에서 시작해서 0으로 끝날 수 있도록 각 주파수 버스트의 지속 시간(time duration, TD)을 조정하여, 상기 기준 신호를 생성할 수 있다.
- [0009] 여기서, 상기 케이블 진단부는, 최저 주파수의 지속 시간을 기본 지속 시간으로 획득하고, 상기 기본 지속 시간의 크기를 가지는 윈도우(window)에서 나머지 주파수에 대한 주기 개수(number of period, NP)를 획득하며, 각 주파수에 대해 획득된 상기 주기 개수를 1 또는 1.5의 배수로 반올림하여 잘린 정현파(truncated sinusoidal wave)가 0에서 끝나도록 하여, 상기 기준 신호를 생성할 수 있다.
- [0010] 여기서, 상기 케이블 진단부는, [식 1]을 이용하여 최저 주파수 f_0 의 지속 시간 TD_0 을 계산하여 상기 기본 지속 시간 TD_0 을 획득하고, [식 2]를 이용하여 나머지 주파수 f_i 각각에 대한 상기 주기 개수 NP를 획득하며, 상기

$$TD_i = 0 : \text{step} : \frac{1}{f_i} \times NP + \Delta \text{step}$$

[식 1]은, 이고, 상기 Δstep 은, 타임 스텝(time step)의 분해능

$$NP = \frac{TD_0 - \Delta \text{step}}{T_i}$$

(resolution)을 나타내며, 상기 [식 2]는, 이고, 상기 T_i 는, 각 주파수의 주기(period)를 나타낼 수 있다.

- [0011] 여기서, 상기 제1 인덕티브 커플러 및 상기 제2 인덕티브 커플러는, 3MHz부터 30MHz까지의 주파수 허용 범위를

가지는 커플러일 수 있다.

- [0012] 여기서, 상기 케이블 진단부는, 상기 반사 신호를 상기 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델에 입력하고, 상기 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델의 출력을 통해 감쇄 및 왜곡이 보상된 상기 반사 신호를 획득하며, 보상된 상기 반사 신호를 기반으로 상기 진단 대상 케이블을 진단할 수 있다.
- [0013] 여기서, 상기 케이블 진단부는, 상기 진단 대상 케이블에 접촉 방식으로 연결된 커넥터(connector)를 통해 상기 진단 대상 케이블에 학습 기준 신호를 인가하고, 상기 진단 대상 케이블에 접촉 방식으로 연결된 커넥터를 통해 상기 학습 기준 신호가 상기 진단 대상 케이블 내에서 반사됨에 의해 형성되는 학습 반사 신호를 획득하며, 상기 학습 반사 신호를 학습 데이터로 하여 상기 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델을 학습할 수 있다.
- [0015] 상기의 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 방법은, 활성 상태의 진단 대상 케이블에 비접촉 방식으로 배치된 제1 인덕티브 커플러 및 상기 제1 인덕티브 커플러가 배치된 위치와 상이한 위치에서 상기 진단 대상 케이블에 비접촉 방식으로 배치된 제2 인덕티브 커플러를 포함하는 활성 상태 케이블 진단 장치에 의해 수행되는 활성 상태 케이블 진단 방법으로서, 기준 신호를 생성하는 단계; 상기 기준 신호를 상기 제1 인덕티브 커플러를 통해 상기 진단 대상 케이블에 인가하는 단계; 상기 기준 신호가 상기 진단 대상 케이블 내에서 반사됨에 의해 형성되는 반사 신호를 상기 제2 인덕티브 커플러를 통해 수신하는 단계; 및 미리 학습되어 구축된 장단기 메모리(long short-term memory, LSTM) 기반 신호 보상 모델을 이용하여 상기 반사 신호를 기반으로 상기 진단 대상 케이블을 진단하는 단계;를 포함한다.
- [0016] 여기서, 상기 기준 신호 생성 단계는, 주파수가 계단식으로 점점 높아지는 연속된 주파수 버스트로 이루어지는 계단 신호를 케이블에 인가한 후 케이블로부터 되돌아오는 반사 신호를 기반으로 케이블을 진단하는 계단-주파수 반사파 계측법(steped-frequency waveform reflectometry, SFWR)을 이용하여 상기 기준 신호를 생성하는 것으로 이루어질 수 있다.
- [0017] 여기서, 상기 기준 신호 생성 단계는, 상기 기준 신호의 각 주파수 버스트가 0에서 시작해서 0으로 끝날 수 있도록 각 주파수 버스트의 지속 시간(time duration, TD)을 조정하여, 상기 기준 신호를 생성하는 것으로 이루어질 수 있다.
- [0018] 여기서, 상기 진단 대상 케이블 진단 단계는, 상기 반사 신호를 상기 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델에 입력하고, 상기 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델의 출력을 통해 감쇄 및 왜곡이 보상된 상기 반사 신호를 획득하며, 보상된 상기 반사 신호를 기반으로 상기 진단 대상 케이블을 진단하는 것으로 이루어질 수 있다.
- [0019] 여기서, 상기 진단 대상 케이블에 접촉 방식으로 연결된 커넥터(connector)를 통해 상기 진단 대상 케이블에 학습 기준 신호를 인가하고, 상기 진단 대상 케이블에 접촉 방식으로 연결된 커넥터를 통해 상기 학습 기준 신호가 상기 진단 대상 케이블 내에서 반사됨에 의해 형성되는 학습 반사 신호를 획득하며, 상기 학습 반사 신호를 학습 데이터로 하여 상기 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델을 학습하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0020] 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 장치 및 방법에 의하면, 계단-주파수 반사파 계측법(steped-frequency waveform reflectometry, SFWR)을 기반으로 인덕티브 커플러(inductive coupler)를 이용하여 활성 상태에 있는 케이블의 결함 등을 진단함으로써, 운용 중인 케이블을 휴전하지 않더라도 케이블을 진단할 수 있다.
- [0021] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 장치를 설명하기 위한 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인덕티브 커플러의 사용 예시를 설명하기 위한 도면으로, AC 전압이 흐르는 케이블에 대한 시간-주파수 영역 반사파 계측법(time-frequency domain reflectometry, TFDR) 결과를

나타내며, 도 2의 (a)는 직접 연결된 경우이고, 도 2의 (b)는 인덕티브 커플러를 통해 연결된 경우이며, 도 2의 (c)는 (b)의 확대된 플롯이고, 도 2의 (d)는 (b)와 (c)의 교차-상관관계(cross-correlation) 결과이다.

도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 기준 신호의 일례를 설명하기 위한 도면으로, 도 3의 (a)는 기준 신호이고, 도 3의 (b)는 (a)의 기준 신호가 인덕티브 커플러를 통과한 결과이다.

도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델의 상세 구조의 일례를 나타내는 도면이다.

도 5는 도 4에 도시한 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델의 학습을 위한 데이터 처리의 일례를 나타내는 도면으로, 도 5의 (a)는 6MHz 신호에 대한 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델의 출력이고, 도 5의 (b)는 6MHz 신호에 대한 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델의 입력이다.

도 6은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델의 학습 과정의 일례를 설명하기 위한 도면으로, 도 6의 (a)는 케이블에 접촉 방식으로 연결된 커넥터를 통해 획득한 신호이고, 도 6의 (b)는 케이블에 비접촉 방식으로 배치된 인덕티브 커플러를 통해 획득한 신호이며, 도 6의 (c)는 (b)를 기반으로 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델을 통해 예측된 신호이다.

도 7은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.
- [0024] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.
- [0025] 본 명세서에서 "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위한 것으로, 이들 용어들에 의해 권리범위가 한정되어서는 아니 된다. 예를 들어, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.
- [0026] 본 명세서에서 각 단계들에 있어 식별부호(예를 들어, a, b, c 등)는 설명의 편의를 위하여 사용되는 것으로 식별부호는 각 단계들의 순서를 설명하는 것이 아니며, 각 단계들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않는 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 단계들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.
- [0027] 본 명세서에서, "가진다", "가질 수 있다", "포함한다" 또는 "포함할 수 있다" 등의 표현은 해당 특징(예: 수치, 기능, 동작, 또는 부품 등의 구성요소)의 존재를 가리키며, 추가적인 특징의 존재를 배제하지 않는다.
- [0028] 또한, 본 명세서에 기재된 '~부'라는 용어는 소프트웨어 또는 FPGA(field-programmable gate array) 또는 ASIC과 같은 하드웨어 구성요소를 의미하며, '~부'는 어떤 역할들을 수행한다. 그렇지만 '~부'는 소프트웨어 또는 하드웨어에 한정되는 의미는 아니다. '~부'는 어드레싱할 수 있는 저장 매체에 있도록 구성될 수도 있고 하나 또는 그 이상의 프로세서들을 재생시키도록 구성될 수도 있다. 따라서, 일 예로서 '~부'는 소프트웨어 구성요소들, 객체지향 소프트웨어 구성요소들, 클래스 구성요소들 및 태스크 구성요소들과 같은 구성요소들과, 프로세스들, 함수들, 속성들, 프로시저들, 서브루틴들, 프로그램 코드의 세그먼트들, 드라이버들, 펌웨어, 마이크로코드, 회로, 데이터 구조들 및 변수들을 포함한다. 구성요소들과 '~부'들 안에서 제공되는 기능은 더 작은 수의 구성요소들 및 '~부'들로 결합되거나 추가적인 구성요소들과 '~부'들로 더 분리될 수 있다.
- [0030] 이하에서 첨부한 도면을 참조하여 본 발명에 따른 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성

상태 케이블 진단 장치 및 방법의 바람직한 실시예에 대해 상세하게 설명한다.

- [0032] 먼저, 도 1을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 장치에 대하여 설명한다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 장치를 설명하기 위한 블록도이다.
- [0034] 도 1을 참조하면, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 장치(이하 '활성 상태 케이블 진단 장치'라 한다)(100)는 계단-주파수 반사파 계측법(steped-frequency waveform reflectometry, SFWR)을 기반으로 인덕티브 커플러(inductive coupler)를 이용하여 활성 상태에 있는 진단 대상 케이블(200)의 결함 등을 진단함으로써, 운용 중인 진단 대상 케이블(200)을 휴전하지 않더라도 진단 대상 케이블(200)을 진단할 수 있다.
- [0035] 이를 위해, 활성 상태 케이블 진단 장치(100)는 제1 인덕티브 커플러(110), 제2 인덕티브 커플러(120), 신호 인가부(130), 신호 수신부(140) 및 케이블 진단부(150)를 포함할 수 있다.
- [0036] 제1 인덕티브 커플러(110)는 활성 상태의 진단 대상 케이블(200)에 비접촉 방식으로 배치될 수 있다.
- [0037] 여기서, 제1 인덕티브 커플러(110)는 3MHz부터 30MHz까지의 주파수 허용 범위를 가지는 커플러일 수 있다.
- [0039] 제2 인덕티브 커플러(120)는 제1 인덕티브 커플러(110)가 배치된 위치와 상이한 위치에서 진단 대상 케이블(200)에 비접촉 방식으로 배치될 수 있다.
- [0040] 여기서, 제2 인덕티브 커플러(120)는 3MHz부터 30MHz까지의 주파수 허용 범위를 가지는 커플러일 수 있다.
- [0042] 신호 인가부(130)는 케이블 진단부(150)로부터 제공된 기준 신호를 제1 인덕티브 커플러(110)를 통해 진단 대상 케이블(200)에 인가할 수 있다.
- [0044] 신호 수신부(140)는 기준 신호가 진단 대상 케이블(200) 내에서 반사됨에 의해 형성되는 반사 신호를 제2 인덕티브 커플러(120)를 통해 수신할 수 있다.
- [0045] 그리고, 신호 수신부(140)는 제2 인덕티브 커플러(120)를 통해 진단 대상 케이블(200)로부터 수신한 반사 신호를 케이블 진단부(150)에 제공할 수 있다.
- [0047] 케이블 진단부(150)는 기준 신호를 생성하고, 생성한 기준 신호를 신호 인가부(130)에 제공할 수 있다.
- [0048] 즉, 케이블 진단부(150)는 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)을 이용하여 기준 신호를 생성할 수 있다. 여기서, 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)은 주파수가 계단식으로 점점 높아지는 연속된 주파수 버스트로 이루어지는 계단 신호를 케이블에 인가한 후 케이블로부터 되돌아오는 반사 신호를 기반으로 케이블을 진단할 수 있다.
- [0049] 이때, 케이블 진단부(150)는 기준 신호의 각 주파수 버스트가 0에서 시작해서 0으로 끝날 수 있도록 각 주파수 버스트의 지속 시간(time duration, TD)을 조정하여, 기준 신호를 생성할 수 있다.
- [0050] 보다 자세히 설명하면, 케이블 진단부(150)는 최저 주파수의 지속 시간을 기본 지속 시간으로 획득하고, 기본 지속 시간의 크기를 가지는 윈도우(window)에서 나머지 주파수에 대한 주기 개수(number of period, NP)를 획득하며, 각 주파수에 대해 획득된 주기 개수를 1 또는 1.5의 배수로 반올림하여 잘린 정현파(truncated sinusoidal wave)가 0에서 끝나도록 하여, 기준 신호를 생성할 수 있다.
- [0051] 예컨대, 케이블 진단부(150)는 [수학식 1]을 이용하여 최저 주파수 f_0 의 지속 시간 TD_0 을 계산하여 기본 지속 시간 TD_0 을 획득하고, [수학식 2]를 이용하여 나머지 주파수 f_i 각각에 대한 주기 개수 NP를 획득할 수 있다.

수학식 1

$$TD_i = 0 : step : \frac{1}{f_i} \times NP + \Delta step$$

[0052]

[0053] 여기서, $\Delta step$ 은 타임 스텝(time step)의 분해능(resolution)을 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$NP = \frac{TD_0 - \Delta step}{T_i}$$

[0054]

[0055] 여기서, T_i 는 각 주파수의 주기(period)를 나타낼 수 있다.

[0056] 그리고, 케이블 진단부(150)는 신호 수신부(140)를 통해 반사 신호를 획득하고, 미리 학습되어 구축된 장단기 메모리(long short-term memory, LSTM) 기반 신호 보상 모델(151)을 이용하여 반사 신호를 기반으로 진단 대상 케이블(200)을 진단할 수 있다.

[0057] 즉, 케이블 진단부(150)는 기준 신호와 반사 신호를 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델(151)에 입력하고, 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델(151)의 출력을 통해 감쇄 및 왜곡이 보상된 기준 신호와 반사 신호를 획득하며, 보상된 기준 신호와 반사 신호를 기반으로 진단 대상 케이블(200)을 진단할 수 있다. 제1 인덕티브 커플러(110)를 통해 진단 대상 케이블(200)에 인가되는 기준 신호도 제2 인덕티브 커플러(120)를 통해 획득하게 되는데, 기준 신호도 심한 감쇄 및 왜곡이 일어나기 때문에, 기준 신호도 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델(151)을 통해 감쇄 및 왜곡을 보상할 수 있다.

[0058] 이때, 케이블 진단부(150)는 인덕티브 커플러에 의한 신호 감쇄 및 왜곡을 보상하기 위해, 학습 데이터를 이용하여 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델(151)을 사전에 학습하여 구축할 수 있다.

[0059] 즉, 케이블 진단부(150)는 진단 대상 케이블(200)에 접촉 방식으로 연결된 커넥터(connector)를 통해 진단 대상 케이블(200)에 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)을 이용하여 생성된 학습 기준 신호를 인가할 수 있다. 그리고, 케이블 진단부(150)는 진단 대상 케이블(200)에 접촉 방식으로 연결된 커넥터를 통해 학습 기준 신호가 진단 대상 케이블(200) 내에서 반사됨에 의해 형성되는 학습 반사 신호를 획득할 수 있다. 그리고, 케이블 진단부(150)는 학습 반사 신호를 학습 데이터로 하여 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델(151)을 학습할 수 있다.

[0062] 그러면, 도 2 내지 도 6을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 환선 상태 케이블 진단 동작에 대하여 보다 자세히 설명한다.

[0063] A. 인덕티브 커플러를 이용한 신호의 인가 및 수신

[0064] 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인덕티브 커플러의 사용 예시를 설명하기 위한 도면으로, AC 전압이 흐르는 케이블에 대한 시간-주파수 영역 반사파 계측법(time-frequency domain reflectometry, TFDR) 결과를 나타내며, 도 2의 (a)는 직접 연결된 경우이고, 도 2의 (b)는 인덕티브 커플러를 통해 연결된 경우이며, 도 2의 (c)는 (b)의 확대된 플롯이고, 도 2의 (d)는 (b)와 (c)의 교차-상관관계(cross-correlation) 결과이다.

[0065] 인덕티브 커플러는 전압 유도(voltage induction)를 이용한 비접촉식 신호 통신에 사용되며, 케이블 진단 보다 단순 데이터 통신을 위해 널리 사용되고 있다.

[0066] 케이블 고장점 진단의 대표적인 방법 중 하나인 반사파 진단법은 특정한 신호를 케이블에 인가한 후 임피던스 변화 지점(예를 들어, 고장점, 케이블 접속함, 케이블 종단 등)에서 되돌아오는 신호를 분석하여 그 위치를 나타내는 방법을 말한다. 반사파 진단법은 크게 신호를 분석하는 영역에 따라 시간 영역 반사파 계측법(time domain reflectometry, TDR), 주파수 영역 반사파 계측법(frequency domain reflectometry, FDR), 시간-주파수

영역 반사파 계측법(time-frequency domain reflectometry, TFDR)으로 구분할 수 있다.

[0067] 본 발명에서는 위에 대표적인 세가지 반사파 계측법이 아닌 연속된 주파수 버스트를 케이블에 인가하고 케이블로부터 되돌아오는 신호를 통해 케이블을 진단하는 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)을 기반으로 생성된 신호를 인덕티브 커플러를 통해 케이블에 인가하여, 케이블의 고장점 등을 탐지할 수 있다.

[0068] 이때, 본 발명은 활성 상태의 케이블을 진단하기 위해 인덕티브 커플러를 통해 신호 인가와 신호 수신을 수행할 수 있다. 도 2의 (a)에 도시된 바와 같이 흐르고 있는 60Hz의 전압이 인덕티브 커플러를 사용하면 도 2의 (b)에 도시된 바와 같이 제거가 됨을 확인할 수 있다. 이는 실제 현상에서도 마찬가지인데, 가능한 이유는 인덕티브 커플러의 주파수 허용 범위때문이다. 인덕티브 커플러는 설계된 주파수 범위 내의 신호들을 차단하는 성질을 가지고 있어, 설계통의 60Hz 전압같은 경우 아무리 높은 전압이어도 인덕티브 커플러를 사용할 경우 실험에 영향을 미치지 않아 피실험자와 실험 장비를 높은 전압으로부터 보호할 수 있어 실험을 가능하게 한다. 본 발명에서 사용된 인덕티브 커플러의 경우 3MHz부터 30MHz까지를 주파수 허용 범위로 가지고 있어, 본 발명은 원자력 발전소에서 사용되는 제어 및 계측 케이블에도 적용(일반적으로 제어 및 계측 케이블은 kHz대의 신호를 이용함)할 수 있다.

[0070] B. 플렉서블 지속 시간(flexible TD) 기반의 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)

[0071] 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 기준 신호의 일례를 설명하기 위한 도면으로, 도 3의 (a)는 기준 신호이고, 도 3의 (b)는 (a)의 기준 신호가 인덕티브 커플러를 통과한 결과이다.

[0072] 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)은 연속된 주파수 버스트를 케이블에 인가한 후 되돌아오는 반사 신호들을 취합하여 케이블의 고장점 등을 판별하는 기술로, 레이더 이론을 기반으로 하는 반사파 계측법이다.

[0073] 본 발명은 종래의 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)을 토대로 개량한 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)을 이용할 수 있다. 즉, 고정된 지속 시간(fixed TD)을 가지는 종래의 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)과는 다르게, 본 발명은 각각의 주파수 버스트의 지속 시간(TD)을 계산하여 주파수 버스트가 0에서 시작해 0에서 끝날 수 있도록 플렉서블 지속 시간(flexible TD)을 사용한 개량된 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)을 사용할 수 있다.

[0074] 본 발명에서 플렉서블 지속 시간(flexible TD) 기반의 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)을 이용한 이유는 인덕티브 커플러의 경우 한정된 주파수 허용 범위를 가지고 있는데 신호의 끝이 완전히 0에서 끝나지 않은 지점에서 신호를 자름(truncation) 경우 랜덤한 주파수가 발생하는 현상(frequency leakage phenomena)이 나타날 수 있다. 이에 따라, 발생한 랜덤 주파수가 인덕티브 커플러의 설계된 주파수 허용 범위 안에 들어있지 않게 되면, 되돌아오는 반사 신호가 왜곡이 되는 현상이 나타날 수 있다. 본 발명은 플렉서블 지속 시간(flexible TD)을 사용하여 이와 같은 문제를 보완할 수 있다. 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명은 플렉서블 지속 시간(flexible TD)을 사용하여 주파수의 누설(leakage)을 없앤 신호가 인덕티브 커플러를 통과하였을 때 신호의 크기나 모양이 잘 보존됨을 확인할 수 있다.

[0076] C. 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델을 이용한 신호 보상 방법

[0077] 도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델의 상세 구조의 일례를 나타내는 도면이고, 도 5는 도 4에 도시한 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델의 학습을 위한 데이터 처리의 일례를 나타내는 도면으로, 도 5의 (a)는 6MHz 신호에 대한 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델의 출력이고, 도 5의 (b)는 6MHz 신호에 대한 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델의 입력이며, 도 6은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델의 학습 과정의 일례를 설명하기 위한 도면으로, 도 6의 (a)는 케이블에 접촉 방식으로 연결된 커넥터를 통해 획득한 신호이고, 도 6의 (b)는 케이블에 비접촉 방식으로 배치된 인덕티브 커플러를 통해 획득한 신호이며, 도 6의 (c)는 (b)를 기반으로 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델을 통해 예측된 신호이다.

[0078] 인덕티브 커플러의 주파수 허용 범위 안에서도 신호의 감쇄와 왜곡이 심하게 발생하게 된다. 즉, 설계된 인덕티브 커플러가 보통 주파수 허용 범위 안에서도 고르지않은(ununiform) 주파수 특성을 가지고 있으며, 특히 저대역에서 감쇄와 왜곡이 심하게 발생하게 된다. 특히, 본 발명에서 이용하는 인덕티브 커플러(3MHz부터 30MHz까지의 주파수 허용 범위를 가지는 커플러)의 경우 3MHz부터 7MHz까지 감쇄가 매우 심하게 발생하게 된다.

[0079] 반사파 계측법의 경우 되돌아 오는 반사파와 노이즈의 구분이 계측법의 성능 여부에 큰 영향을 미치기 때문에, 인덕티브 커플러에서 발생하는 신호 감쇄는 계측 성능을 크게 저하시킬 수 있다. 특히, 위에서 언급된 3MHz부터 7MHz까지의 신호를 사용할 경우 계측이 불가능할 정도로 감쇄가 크게 발생하게 된다. 신호 감쇄가 덜 나오는 고대역만으로 반사파 계측법이 가능하지만, 케이블의 길이와 종류에 따라서 저대역의 신호를 사용해야 하는 상황이 발생할 수 있다. 특히, 본 발명에서 이용되는 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)의 경우 사용된 신호 버스트의 개수가 계측의 분해능을 결정하기 때문에, 넓은 대역의 신호를 활용하면 할수록 유리하다. 또한, 길이가 긴 케이블의 경우 고주파 신호를 사용하게 되면 고주파 신호 자체가 감쇄가 심한 성질을 가지고 있기 때문에, 신호 대 잡음비(signal to noise ration SNR) 측면에서 고주파 신호를 사용하면 매우 불리한 경우가 발생할 수 있다. 따라서, 인덕티브 커플러의 저대역 신호의 왜곡이 아주 심하더라도 불가피하게 그 주파수 영역의 신호를 사용해야 하는 상황이 발생할 수 있다.

[0080] 이에 따라, 본 발명은 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델을 사용하여 인덕티브 커플러에서 발생한 감쇄와 왜곡을 보상함으로써, 인덕티브 커플러를 활성 상태에 있는 케이블을 진단하는데 활용할 수 있고, 나아가 계측 가능한 케이블의 길이와 종류를 다양화할 수 있다. 특히, 본 발명에 따른 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델은 초기 계측을 통한 데이터 수집만 이루어지면 다양한 유형의 케이블 시스템에 적용할 수 있다.

[0081] 여기서, 본 발명에 따른 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델은 도 4에 도시된 바와 같이, 1개의 입력 레이어(input layer), 2개의 양방향 LSTM 레이어(bi-LSTM layer), 1개의 완전-연결 레이어(fully-connected layer) 및 1개의 출력 레이어(output layer)를 포함할 수 있다. 즉, 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델은 종래의 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)과 유사한 감지 성능을 가지고 실제 환경에서 신호를 저하시키는 다양한 상황에 대응할 수 있는 비접촉 진단 시스템 개발을 목표로 설계 및 훈련될 수 있다. 예컨대, 도 5의 (b)에 도시된 바와 같이 6MHz 신호를 본 발명에 따른 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델에 입력하면, 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델로부터 도 5의 (a)에 도시된 바와 같이 신호의 감쇄와 왜곡이 보상된 출력 신호를 획득할 수 있다.

[0082] 1) 입력 레이어(input layer)

[0083] 도 5는 6MHz 신호에 대한 데이터 처리의 예시를 나타낸다. 입력 데이터에 대한 하나의 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR) 결과에는 케이블 끝에서 반사된 신호와 인덕티브 커플러를 통해 비접촉 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR) 시스템에 의해 획득된 노이즈 정보를 포함하는 49개의 신호 주파수가 있다. 각 시계열 신호의 길이는 1300이다. 움직이는 윈도우(moving window)를 사용하여 각 시계열에 윈도우를 적용하고, 윈도우 프레임들은 훈련을 위해 스텝(step)을 이동하는 것에 의해 적층될 수 있다. 따라서, 훈련 프로세스를 위한 데이터 세트의 구조는 각 셀의 크기가 1×201 인 83791 셀들의 행으로 구성되는 입력 데이터, 및 타겟 데이터의 상응하는 83791 셀들로 이루어질 수 있다. 또한, 전체 데이터 세트를 훈련 및 테스트 목적으로 7:3 비율로 나눌 수 있다. 이에 따라, 총 837,910 셀들 중 586,537개의 셀들을 훈련용으로 사용하고, 나머지 251,373개의 셀들을 테스트 세트로 사용할 수 있다.

[0084] 획득된 신호의 크기는 인덕티브 커플러의 고르지 않은 주파수 응답으로 인해 주파수에 따라 다르기 때문에, 모든 윈도우 신호는 노이즈를 포함한 모든 데이터 포인트가 동일한 스케일로 반영되도록 정규화될 수 있다. 정규화 프로세스는 아래의 [수학식 3]과 같다.

수학식 3

$$\hat{x}_{w,l} = \frac{x_{(w,l)}}{\max |x_{(w,l)}|} = [\hat{x}_{w,l} : \hat{x}_{w,l+200}]$$

[0086] 여기서, w와 l은 각각 윈도우 넘버와 1부터 1400까지의 움직이는 윈도우 시퀀스를 나타낼 수 있다. 도 5에 도시된 바와 같이, 각 윈도우 신호는 매칭되는 타겟이 있다. 그러나, 신호 보상 모델이 입력의 모양과 크기를 매칭되는 타겟의 모양과 크기로 변환하려고 하기 때문에 윈도우 매칭 타겟은 정규화되지 않는다.

[0087] 2) 양방향 LSTM 레이어(bi-LSTM layer)

[0088] 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)에 대한 신호는 49개의 시계열 데이터 시퀀스이며, 하나의 시계열 데이터는 타겟 케이블에 대한 모든 임피던스 불연속성 정보가 포함된다. 예컨대, 신호의 앞 부분은 주입 신호(incident signal)이고, 신호는 다음 임피던스 불연속 지점으로 전파되는 동안의 노이즈 정보를 포함한다. 알려진 불연속

지점(케이블 연결부 또는 케이블 끝)과 다른 위치에서 반사 신호가 감지되면, 켄치(quench)(초전도 케이블일 경우) 또는 결함(fault)으로 간주될 수 있다. 순환 신경망(recurrent neural network)은 시계열 데이터 분석을 위한 잘-알려진 모델이다. 그러나, 순환 신경망은 "사라지는 기울기 문제(vanishing gradient problem)"로 인해 긴 입력 시퀀스를 훈련하는데 적합하지 않다. 따라서, 본 발명에서는, 본 발명에 따른 반사파 계측법 시스템의 결과인 긴 시계열 데이터의 훈련을 위해 장단기 메모리(LSTM)를 이용할 수 있다. 또한, 2개의 양방향 LSTM 레이어(bi-LSTM layer)를 적용하여, 모델의 훈련 강도를 증가시켜 일반적인 장단기 메모리(LSTM)보다 우수한 성능을 나타낼 수 있다.

[0089] 3) 회귀(regression) 및 출력 레이어(output layer)

[0090] 본 발명에 따른 신호 보상 모델의 목적은 일반적으로 인덕티브 커플러에 의해 심하게 왜곡되고 감쇄되는 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)에 대한 왜곡되지 않은 신호를 예측하는 것이다. 따라서, 회귀 레이어는 이와 같은 모델에 맞게 조정될 수 있다. 완전-연결 레이어는 마지막 양방향 LSTM 레이어(bi-LSTM layer)에서 600개의 히든 유닛(hidden unit)에서 매칭되는 출력을 생성하는데 사용되고, $\hat{y}(w, l)$ 을 산출할 수 있다. 윈도우 신호는 증가하는 주파수에서 49개의 시계열 신호로 구성된 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)에 대해 재구성될 수 있다. 마지막으로 재구성된 신호는 테스트 조건에서 활성 상태 케이블의 오류 감지에 활용될 수 있다.

[0091] 즉, 본 발명은 도 6의 (a)에 도시된 바와 같은 접촉 방식의 일반 커넥터를 사용하여 획득한 결과를 이용하여 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델을 학습하고, 도 6의 (b)에 도시된 바와 같은 인덕티브 커플러를 사용하여 획득한 결과를 학습된 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델에 주입하면, 도 6의 (c)에 도시된 바와 같이 감쇄와 왜곡이 크게 보상된 신호를 획득할 수 있다.

[0094] 그러면, 도 7을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 방법에 대하여 설명한다.

[0095] 도 7은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인덕티브 커플러와 계단-주파수 반사파 계측법을 이용한 활성 상태 케이블 진단 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0096] 도 7을 참조하면, 활성 상태 케이블 진단 장치(100)는 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델(151)을 학습할 수 있다(S110).

[0097] 즉, 활성 상태 케이블 진단 장치(100)는 진단 대상 케이블(200)에 접촉 방식으로 연결된 커넥터를 통해 진단 대상 케이블(200)에 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)을 이용하여 생성된 학습 기준 신호를 인가할 수 있다.

[0098] 그리고, 활성 상태 케이블 진단 장치(100)는 진단 대상 케이블(200)에 접촉 방식으로 연결된 커넥터를 통해 학습 기준 신호가 진단 대상 케이블(200) 내에서 반사됨에 의해 형성되는 학습 반사 신호를 획득할 수 있다.

[0099] 그리고, 활성 상태 케이블 진단 장치(100)는 학습 반사 신호를 학습 데이터로 하여 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델(151)을 학습할 수 있다.

[0101] 이후, 활성 상태 케이블 진단 장치(100)는 기준 신호를 생성할 수 있다(S120).

[0102] 즉, 활성 상태 케이블 진단 장치(100)는 계단-주파수 반사파 계측법(SFWR)을 이용하여 기준 신호를 생성할 수 있다.

[0103] 이때, 활성 상태 케이블 진단 장치(100)는 기준 신호의 각 주파수 버스트가 0에서 시작해서 0으로 끝날 수 있도록 각 주파수 버스트의 지속 시간(TD)을 조정하여, 기준 신호를 생성할 수 있다.

[0104] 보다 자세히 설명하면, 활성 상태 케이블 진단 장치(100)는 최저 주파수의 지속 시간을 기본 지속 시간으로 획득하고, 기본 지속 시간의 크기를 가지는 윈도우에서 나머지 주파수에 대한 주기 개수(NP)를 획득하며, 각 주파수에 대해 획득된 주기 개수를 1 또는 1.5의 배수로 반올림하여 잘린 정현파가 0에서 끝나도록 하여, 기준 신호를 생성할 수 있다. 예컨대, 활성 상태 케이블 진단 장치(100)는 위의 [수학식 1]을 이용하여 최저 주파수 f_0 의 지속 시간 TD_0 을 계산하여 기본 지속 시간 TD_0 을 획득하고, 위의 [수학식 2]를 이용하여 나머지 주파수 f_i 각

각에 대한 주기 개수 NP를 획득할 수 있다.

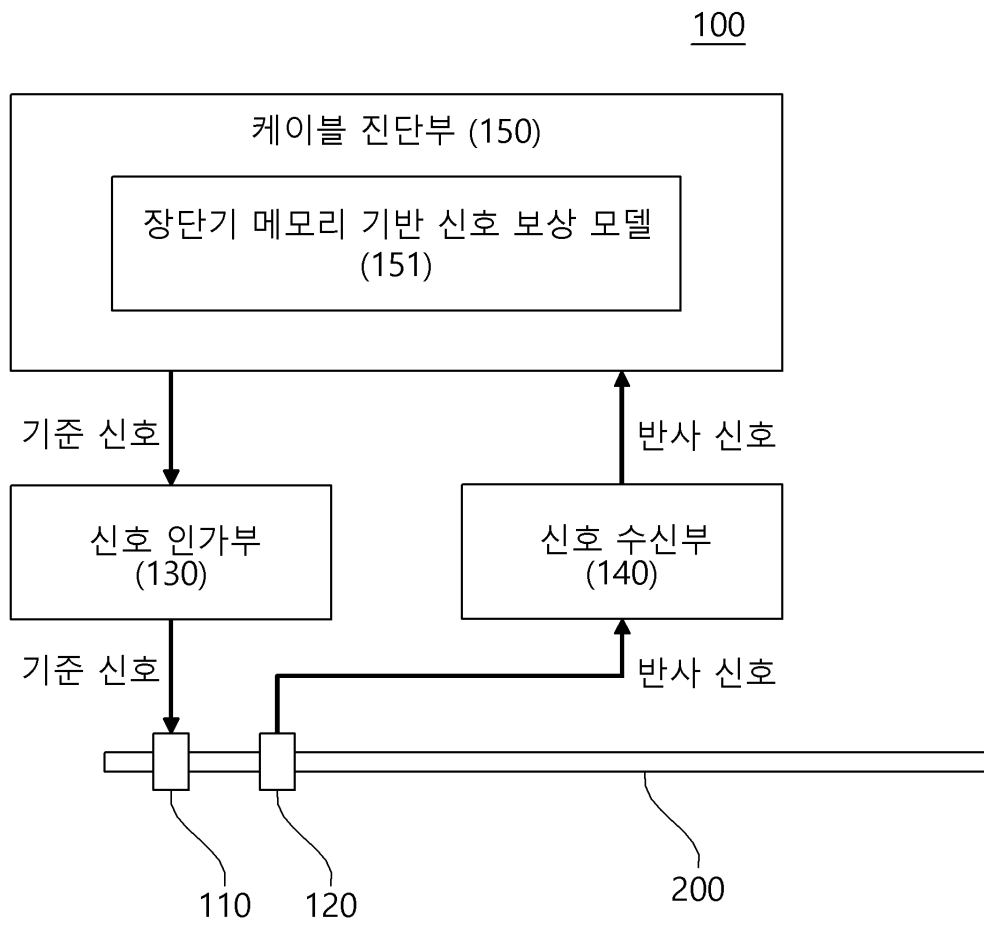
- [0106] 그런 다음, 활성 상태 케이블 진단 장치(100)는 기준 신호를 제1 인덕티브 커플러(110)를 통해 진단 대상 케이블(200)에 인가할 수 있다(S130).
- [0108] 그런 다음, 활성 상태 케이블 진단 장치(100)는 기준 신호가 진단 대상 케이블(200) 내에서 반사됨에 의해 형성되는 반사 신호를 제2 인덕티브 커플러(120)를 통해 수신할 수 있다(S140).
- [0110] 그런 다음, 활성 상태 케이블 진단 장치(100)는 미리 학습되어 구축된 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델(151)을 이용하여 반사 신호를 기반으로 진단 대상 케이블(200)을 진단할 수 있다(S150).
- [0111] 즉, 활성 상태 케이블 진단 장치(100)는 기준 신호와 반사 신호를 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델(151)에 입력하고, 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델(151)의 출력을 통해 감쇄 및 왜곡이 보상된 기준 신호와 반사 신호를 획득하며, 보상된 기준 신호와 반사 신호를 기반으로 진단 대상 케이블(200)을 진단할 수 있다.
- [0114] 이상에서 설명한 본 발명의 실시예를 구성하는 모든 구성요소들이 하나로 결합하거나 결합하여 동작하는 것으로 기재되어 있다고 해서, 본 발명이 반드시 이러한 실시예에 한정되는 것은 아니다. 즉, 본 발명의 목적 범위 안에서라면, 그 모든 구성요소들이 하나 이상으로 선택적으로 결합하여 동작할 수도 있다. 또한, 그 모든 구성요소들이 각각 하나의 독립적인 하드웨어로 구현될 수 있지만, 각 구성요소들의 그 일부 또는 전부가 선택적으로 조합되어 하나 또는 복수개의 하드웨어에서 조합된 일부 또는 전부의 기능을 수행하는 프로그램 모듈을 갖는 컴퓨터 프로그램으로서 구현될 수도 있다. 또한, 이와 같은 컴퓨터 프로그램은 USB 메모리, CD 디스크, 플래시 메모리 등과 같은 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체(Computer Readable Media)에 저장되어 컴퓨터에 의하여 읽혀지고 실행됨으로써, 본 발명의 실시예를 구현할 수 있다. 컴퓨터 프로그램의 기록 매체로서는 자기기록매체, 광기록매체 등이 포함될 수 있다.
- [0115] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 수정, 변경 및 치환이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시예 및 첨부된 도면들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예 및 첨부된 도면에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

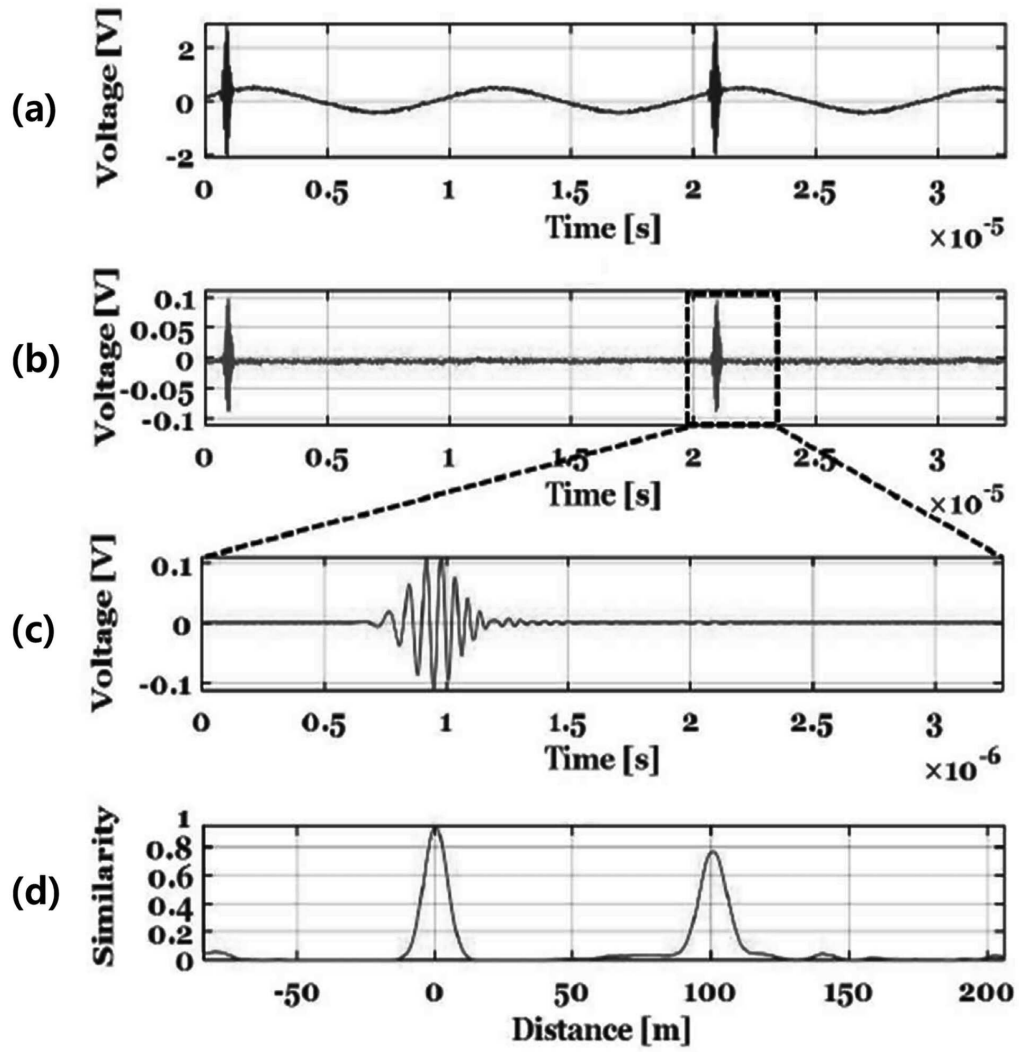
- [0116] 100 : 활성 상태 케이블 진단 장치,
 110 : 제1 인덕티브 커플러,
 120 : 제2 인덕티브 커플러,
 130 : 신호 인가부,
 140 : 신호 수신부,
 150 : 케이블 진단부,
 151 : 장단기 메모리 기반 신호 보상 모델,
 200 : 진단 대상 케이블

도면

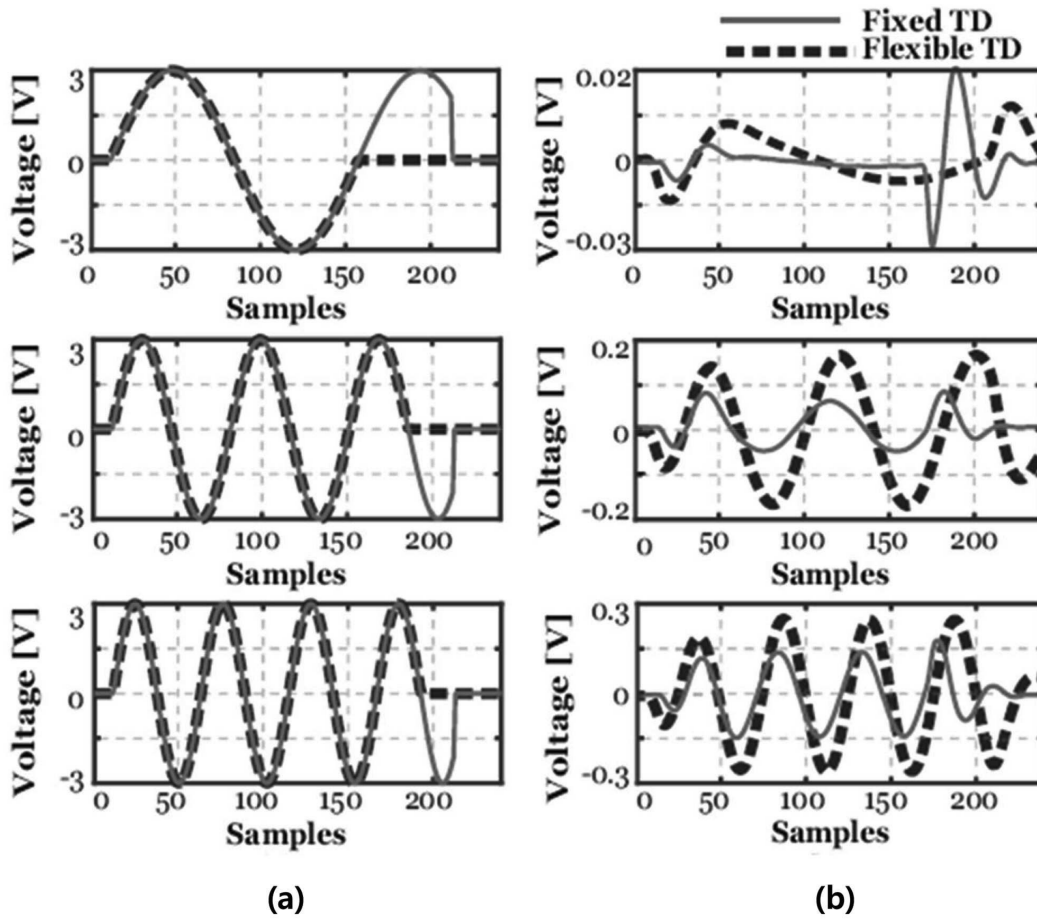
도면1



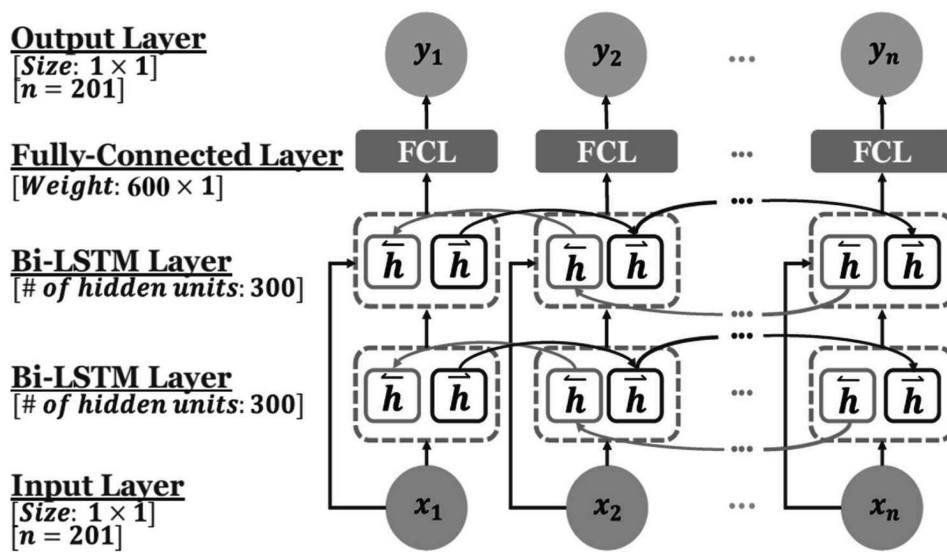
도면2



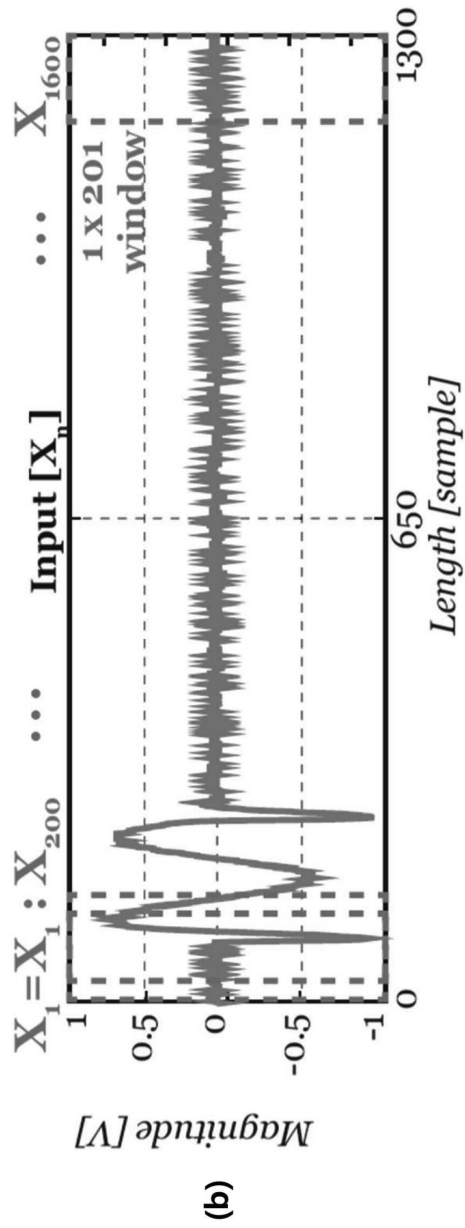
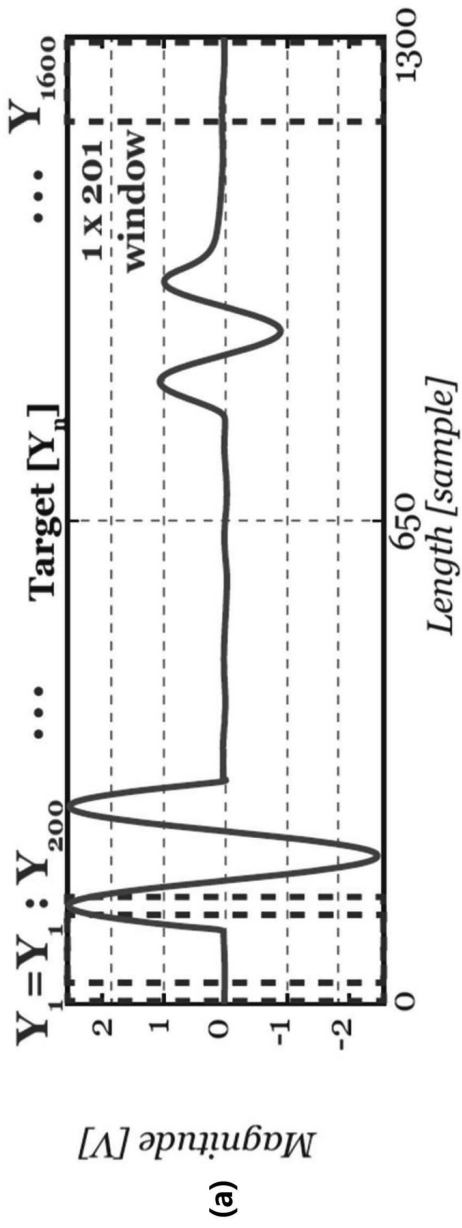
도면3



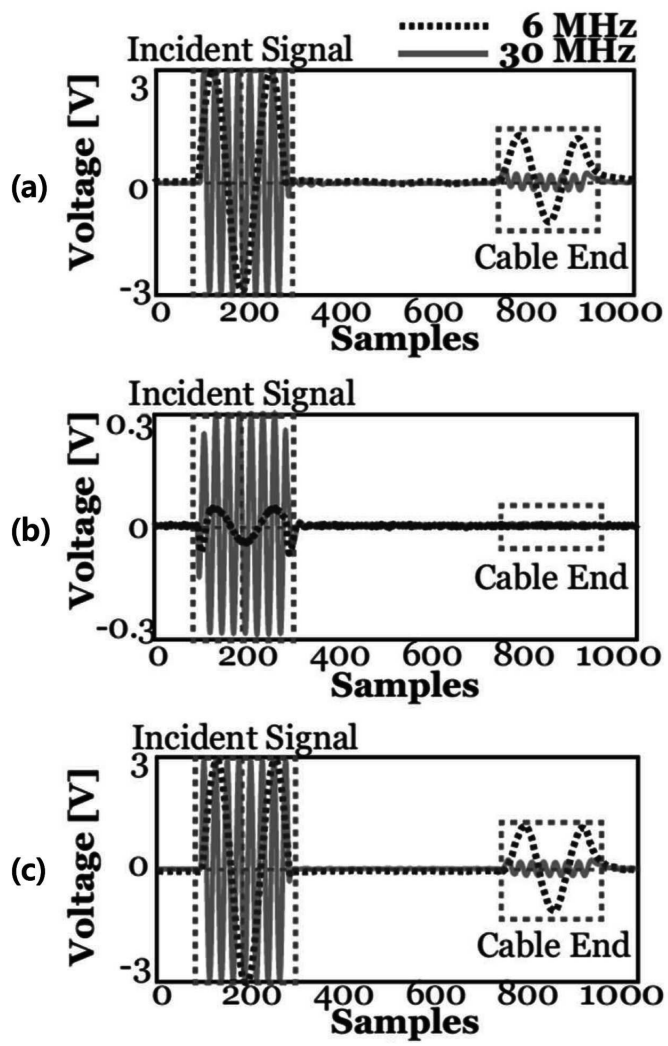
도면4



도면5



도면6



도면7

