



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년10월08일

(11) 등록번호 10-2163619

(24) 등록일자 2020년09월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06F 30/00 (2020.01) G06F 17/11 (2006.01)

G06N 3/02 (2019.01)

(52) CPC특허분류

G06F 30/20 (2020.01)

G06F 17/11 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0085241

(22) 출원일자 2019년07월15일

심사청구일자 2019년07월15일

(56) 선행기술조사문헌

US20100188095 A1

US20150222511 A1

KR101570506 B1

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

신용준

서울특별시 서대문구 연세로 50, 제3공학관 C521호

권구영

서울특별시 서대문구 연세로 50, 제2공학관 B729호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

오위환, 나성곤, 정기택

전체 청구항 수 : 총 18 항

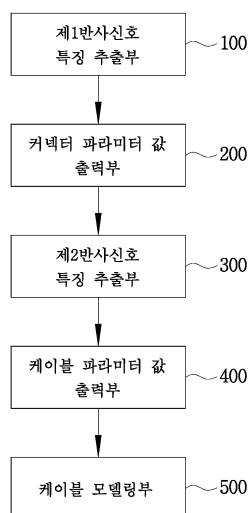
심사관 : 장지혜

(54) 발명의 명칭 시간 영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 시간영역 반사파 계측법(TDR)으로 시뮬레이션 케이블과 대상 케이블의 반사신호로부터 제1반사신호 특징을 각각 추출하고, 상기 추출된 제1반사신호 특징을 일반 회귀 신경망에 입력하여 적어도 하나 이상의 커넥터 파라미터 값을 출력하고, 상기 출력된 커넥터 파라미터 값을 기초로 한 시뮬레이션 케이블과 상기 대상 케이블의 반사신호로부터 제2반사신호 특징을 각각 추출하고, 상기 추출된 제2반사신호 특징을 일반 회귀 신경망에 입력하여 적어도 하나 이상의 케이블 파라미터 값을 출력하여, 상기 출력된 커넥터 파라미터 값 및 케이블 파라미터 값을 기초로 상기 대상 케이블을 모델링할 수 있다. 이를 통해 본 발명은 보다 단순한 절차를 통해 고주파수 응답을 반영한 케이블 모델링 기술을 제공할 수 있는 효과를 가진다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G06N 3/02 (2019.01)

G06F 2113/16 (2020.01)

(72) 발명자

방수식

서울특별시 서대문구 연세로 50, 제2공학관 B729호

이건석

서울특별시 서대문구 연세로 50, 제2공학관 B729호

이영호

서울특별시 서대문구 연세로 50, 제2공학관 B729호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017R1A2A1A05001022

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원사업

연구과제명 슈퍼 그리드 구현을 위한 차세대 전력망 진단 및 모니터링 기술 개발

기 여 율 1/2

과제수행기관명 연세대학교

연구기간 2019.03.01 ~ 2020.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2016K2A9A1A03905116

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 국제기관간MOU지원사업

연구과제명 한국-헝가리 간 국제 협력 연구를 통한 원전 제어계측 케이블 상태기반 정비기술 개

발

기 여 율 1/2

과제수행기관명 연세대학교

연구기간 2019.01.01 ~ 2019.12.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

시간영역 반사파 계측법(TDR)으로 시뮬레이션 케이블과 대상 케이블의 반사신호로부터 제1반사신호 특징을 각각 추출하는 제1반사신호 특징 추출부;

상기 추출된 제1반사신호 특징을 일반 회귀 신경망에 입력하여 적어도 하나 이상의 커넥터 파라미터 값을 출력하는 커넥터 파라미터 값 출력부;

상기 출력된 커넥터 파라미터 값을 기초로 한 시뮬레이션 케이블과, 상기 대상 케이블의 반사신호로부터 제2반사신호 특징을 각각 추출하는 제2반사신호 특징 추출부;

상기 추출된 제2반사신호 특징을 일반 회귀 신경망에 입력하여 적어도 하나 이상의 케이블 파라미터 값을 출력하는 케이블 파라미터 값 출력부; 및

상기 출력된 커넥터 파라미터 값 및 케이블 파라미터 값을 기초로 상기 대상 케이블을 모델링하는 케이블 모델링부;를 포함하는 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제1반사신호 특징은 반사신호 전반부에 해당하고,

상기 제2반사신호 특징은 반사신호 중반부에 해당하는 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 시스템.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 제1반사신호 특징은,

상기 시뮬레이션 케이블 또는 대상 케이블의 반사신호의 전반부에 해당하는 피크전압;

상기 반사신호 전반부의 미분함수 중 최소값에 해당하는 최소값 형성시간; 및

상기 최소값 형성시간에 해당하는 상기 반사신호의 전압값; 중 적어도 어느 하나 이상을 포함하는 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 시스템.

청구항 4

제 2 항에 있어서, 상기 제2반사신호 특징은,

상기 시뮬레이션 케이블 또는 대상 케이블의 반사신호의 중반부에 해당하는 수렴전압;

상기 반사신호 중반부의 미분함수에서 최대값에 해당하는 최대값 형성시간; 및

상기 최대값 형성시간에 해당하는 상기 반사신호의 전압값 중 적어도 어느 하나 이상을 포함하는 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 시스템.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 커넥터 파라미터 값은,

커넥터의 인덕턴스 값(L) 및 캐패시턴스 값(C)을 포함하는 파라미터 값인 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 상기 케이블 파라미터 값은,

케이블의 상대 유전율 값, 유전 손실 값 및 상대 투자율 값을 포함하는 파라미터 값인 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 시스템.

청구항 7

제 1 항에 있어서, 상기 시뮬레이션 케이블의 반사신호는,

상기 시뮬레이션 케이블의 파라미터 값을 기 설정된 범위 내에서 변화시키며 생성된 반사신호 데이터베이스로부터 추출된 반사신호인 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 시스템.

청구항 8

제 7 항에 있어서, 상기 일반 회귀 신경망은,

상기 대상 케이블의 반사신호로부터 각각 추출된 제1반사신호 특징 또는 제2반사신호 특징을 입력받는 입력층;

상기 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스를 입력받는 패턴층;

상기 입력받은 대상 케이블의 반사신호 및 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스 간의 유사도 값을 각각 산출하는 합산층; 및

상기 산출된 유사도 값으로부터 상기 대상 케이블과의 유사도가 가장 높은 파라미터 값을 출력하는 출력층;을 포함하는 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 시스템.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 상기 합산층은,

아래 수학적 식 1 및 수학적 식 2로 표현되는 유사도 값 산출식에 따라 상기 입력받은 대상 케이블의 반사신호 및 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스 간의 유사도 값을 산출하는 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 시스템.

<수학적 식 1>

$$W_j = \exp\left(-\frac{D_j^2}{2\sigma^2}\right)$$

(W_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 유사도 값, D_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 거리 값, σ : 평활 파라미터 값)

<수학적 식 2>

$$D_j^2 = (X - X_j)^T (X - X_j)$$

(D_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 거리 값, X : 입력 특징값, X_j : j 번째 패턴층 노드에 입력된 데이터베이스의 특징 값)

청구항 10

제1반사신호 특징 추출부에서 시간영역 반사파 계측법(TDR)으로 시뮬레이션 케이블과 대상 케이블의 반사신호로부터 제1반사신호 특징을 각각 추출하는 제1반사신호 특징 추출단계;

커넥터 파라미터 값 출력부에서 상기 추출된 제1반사신호 특징을 일반 회귀 신경망에 입력하여 적어도 하나 이상의 커넥터 파라미터 값을 출력하는 커넥터 파라미터 값 출력단계;

제2반사신호 특징 추출부에서 상기 출력된 커넥터 파라미터 값을 기초로 한 시뮬레이션 케이블과, 상기 대상 케이블의 반사신호로부터 제2반사신호 특징을 각각 추출하는 제2반사신호 특징 추출단계;

케이블 파라미터 값 출력부에서 상기 추출된 제2반사신호 특징을 일반 회귀 신경망에 입력하여 적어도 하나 이상의 케이블 파라미터 값을 출력하는 케이블 파라미터 값 출력단계; 및

케이블 모델링부에서 상기 출력된 커넥터 파라미터 값 및 케이블 파라미터 값을 기초로 상기 대상 케이블을 모델링하는 케이블 모델링단계;를 포함하는 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 제1반사신호 특징은 반사신호 전반부에 해당하고,

상기 제2반사신호 특징은 반사신호 중반부에 해당하는 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서, 상기 제1반사신호 특징은,

상기 시뮬레이션 케이블 또는 대상 케이블의 반사신호의 전반부에 해당하는 피크전압;

상기 반사신호 전반부의 미분함수 중 최소값에 해당하는 최소값 형성시간; 및

상기 최소값 형성시간에 해당하는 상기 반사신호의 전압값; 중 적어도 어느 하나 이상을 포함하는 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 방법.

청구항 13

제 11 항에 있어서, 상기 제2반사신호 특징은,

상기 시뮬레이션 케이블 또는 대상 케이블의 반사신호의 중반부에 해당하는 수렴전압;

상기 반사신호 중반부의 미분함수에서 최대값에 해당하는 최대값 형성시간; 및

상기 최대값 형성시간에 해당하는 상기 반사신호의 전압값; 중 적어도 어느 하나 이상을 포함하는 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 방법.

청구항 14

제 10 항에 있어서, 상기 커넥터 파라미터 값은,

커넥터의 인덕턴스 값(L) 및 캐패시턴스 값(C)을 포함하는 파라미터 값인 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 방법.

청구항 15

제 10 항에 있어서, 상기 케이블 파라미터 값은,

케이블의 상대 유전율 값, 유전 손실 값 및 상대 투자율 값을 포함하는 파라미터 값인 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 방법.

청구항 16

제 10 항에 있어서, 상기 시뮬레이션 케이블의 반사신호는,

상기 시뮬레이션 케이블의 파라미터 값을 기 설정된 범위 내에서 변화시키며 생성된 반사신호 데이터베이스로부터 추출된 반사신호인 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 방법.

청구항 17

제 16 항에 있어서, 상기 일반 회귀 신경망은,

입력층에서 상기 대상 케이블의 반사신호로부터 각각 추출된 제1반사신호 특징 또는 제2반사신호 특징을 입력받

는 대상 케이블 반사신호 특징 입력단계;

패턴층에서 상기 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스를 입력받는 시뮬레이션 케이블 반사신호 입력단계;

합산층에서 상기 입력받은 대상 케이블의 반사신호 및 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스 간의 유사도 값을 각각 산출하는 유사도 값 산출단계; 및

출력층에서 상기 산출된 유사도 값으로부터 상기 대상 케이블과의 유사도가 가장 높은 파라미터 값을 출력하는 파라미터 값 출력단계;을 포함하는 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 방법.

청구항 18

제 17 항에 있어서, 상기 유사도 값 산출단계는,

아래 수학적 식 1 및 수학적 식 2로 표현되는 유사도 값 산출식에 따라 상기 입력받은 대상 케이블의 반사신호 및 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스 간의 유사도 값을 산출하는 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 방법.

<수학적 식 1>

$$W_j = \exp\left(-\frac{D_j^2}{2\sigma^2}\right)$$

(W_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 유사도 값, D_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 거리 값, σ : 평활 파라미터 값)

<수학적 식 2>

$$D_j^2 = (X - X_j)^T (X - X_j)$$

(D_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 거리 값, X : 입력 특징값, X_j : j 번째 패턴층 노드에 입력된 데이터베이스의 특징 값)

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 케이블 모델링에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 시간 영역 반사파 계측법의 결과로부터 특징을 추출한 후, 이를 일반 회귀 신경망에 투입하여 케이블 모델링에 필요한 파라미터를 추정하는 시간 영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 케이블을 모델링하기 위해서는 케이블의 S-parameter를 이용하였다. S-parameter는 네트워크 분석기를 이용하여 측정되는데, 이를 위해서는 케이블 양단에 분석기를 연결해야하는 과정이 필요하다. 이 때 긴 케이블을 대상으로 S-parameter를 측정하는 경우에는 케이블 양단에 분석기를 연결하는 것이 어려운 한계점을 안고 있다.

[0003] 기존에는 케이블 모델링 기술에 있어서, 케이블과 연결된 커넥터를 포함하지 않는 경우가 대다수에 해당한다. 커넥터를 모델링에 포함하는 경우 상대 유전율, 유전 손실, 상대 투자율 3 가지 변수 중 특정 변수의 변화를 고려하지 않는 한계점을 안고 있다.

[0004] 이에, 케이블 모델링 기술에 있어서 케이블의 길이와 상관없이, 단순한 절차를 통한 모델링 기술을 개발할 필요성이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 미국공개특허공보 제2005-0036560호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 이에 본 발명은 상기와 같은 제반 사항을 고려하여 제안된 것으로, 보다 단순한 절차를 통해 고주파수 응답을 반영한 케이블 모델링 기술을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0007] 또한, 본 발명은 커넥터의 특성이 포함된 반사신호의 전반부와, 케이블의 임피던스에 따라 결정되는 반사신호의 중반부를 이용하는 등 케이블 특성에 따른 모델링 기술을 구현하는 것을 목적으로 한다.
- [0008] 또한, 본 발명은 반사신호 전체를 특징으로 사용하는 것이 아닌, 커넥터의 캐패시턴스와 인덕턴스 변화에 따라 가장 크게 변화하는 요소인 반사신호의 피크전압, 최소/최대값 형성시간, 전압값 등 일부 값을 특징으로 이용함으로써, 회귀의 효율성을 높이는 것을 목적으로 한다.
- [0009] 또한, 본 발명은 케이블 모델이 가지는 변수의 변화를 고려하여 케이블을 모델링함으로써, 정확도 높은 케이블 모델링 기술을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0010] 또한, 본 발명은 시뮬레이션과 실측과의 비교를 통해 객관적이고 간단한 케이블 모델링 파라미터를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0011] 또한, 본 발명은 실제로 실험해볼 수 없는 다양한 상황을 모의하여 케이블 진단 관련 연구에 사용될 수 있으며, 고장 분석, 계통 보호 및 진단 등의 분야에서 활용 가능하도록 하는 것을 목적으로 한다.
- [0012] 본 발명의 목적들은 이상에서 언급한 목적들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해할 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0013] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 기술적 사상에 의한 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 시스템은 시간영역 반사파 계측법(TDR)으로 시뮬레이션 케이블과 대상 케이블의 반사신호로부터 제1반사신호 특징을 각각 추출하는 제1반사신호 특징 추출부, 상기 추출된 제1반사신호 특징을 일반 회귀 신경망에 입력하여 적어도 하나 이상의 커넥터 파라미터 값을 출력하는 커넥터 파라미터 값 출력부, 상기 출력된 커넥터 파라미터 값을 기초로 한 시뮬레이션 케이블과, 상기 대상 케이블의 반사신호로부터 제2반사신호 특징을 각각 추출하는 제2반사신호 특징 추출부, 상기 추출된 제2반사신호 특징을 일반 회귀 신경망에 입력하여 적어도 하나 이상의 케이블 파라미터 값을 출력하는 케이블 파라미터 값 출력부, 상기 출력된 커넥터 파라미터 값 및 케이블 파라미터 값을 기초로 상기 대상 케이블을 모델링하는 케이블 모델링부를 포함할 수 있다.
- [0014] 이 때 상기 제1반사신호 특징은 반사신호 전반부에 해당하고, 상기 제2반사신호 특징은 반사신호 중반부에 해당할 수 있다.
- [0015] 상기 제1반사신호 특징은 상기 시뮬레이션 케이블 또는 대상 케이블의 반사신호의 전반부에 해당하는 피크전압, 상기 반사신호 전반부의 미분함수 중 최소값에 해당하는 최소값 형성시간, 상기 최소값 형성시간에 해당하는 상기 반사신호의 전압값 중 적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0016] 상기 제2반사신호 특징은 상기 시뮬레이션 케이블 또는 대상 케이블의 반사신호의 중반부에 해당하는 수렴전압, 상기 반사신호 중반부의 미분함수에서 최대값에 해당하는 최대값 형성시간, 상기 최대값 형성시간에 해당하는 상기 반사신호의 전압값 중 적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0017] 한편, 상기 커넥터 파라미터 값은 커넥터의 인덕턴스 값(L) 및 캐패시턴스 값(C)을 포함하는 파라미터 값이라 할 수 있다.
- [0018] 상기 케이블 파라미터 값은 케이블의 상대 유전율 값, 유전 손실 값 및 상대 투자율 값을 포함하는 파라미터 값

이라 할 수 있다.

[0019] 상기 시뮬레이션 케이블의 반사신호는 상기 시뮬레이션 케이블의 파라미터 값을 기 설정된 범위 내에서 변화시키며 생성된 반사신호 데이터베이스로부터 추출된 반사신호라 할 수 있다.

[0020] 이 때 상기 일반 회귀 신경망은 상기 대상 케이블의 반사신호로부터 각각 추출된 제1반사신호 특징 또는 제2반사신호 특징을 입력받는 입력층, 상기 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스를 입력받는 패턴층, 상기 입력받은 대상 케이블의 반사신호 및 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스 간의 유사도 값을 각각 산출하는 합산층, 상기 산출된 유사도 값으로부터 상기 대상 케이블과의 유사도가 가장 높은 파라미터 값을 출력하는 출력층을 포함할 수 있다.

[0021] 상기 합산층은 아래 수학적 식 1 및 수학적 식 2로 표현되는 유사도 값 산출식에 따라 상기 입력받은 대상 케이블의 반사신호 및 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스 간의 유사도 값을 산출할 수 있다.

[0022] <수학적 식 1>

$$W_j = \exp\left(-\frac{D_j^2}{2\sigma^2}\right)$$

[0023]

[0024] (W_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 유사도 값, D_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 거리 값, σ : 평활 파라미터 값)

[0025] <수학적 식 2>

$$D_j^2 = (X - X_j)^T (X - X_j)$$

[0026]

[0027] (D_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 거리 값, X : 입력 특징값, X_j : j 번째 패턴층 노드에 입력된 데이터베이스의 특징 값)

[0028] 상기과 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 기술적 사상에 의한 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 방법은 제1반사신호 특징 추출부에서 시간영역 반사파 계측법(TDR)으로 시뮬레이션 케이블과 대상 케이블의 반사신호로부터 제1반사신호 특징을 각각 추출하는 제1반사신호 특징 추출단계, 커넥터 파라미터 값 출력부에서 상기 추출된 제1반사신호 특징을 일반 회귀 신경망에 입력하여 적어도 하나 이상의 커넥터 파라미터 값을 출력하는 커넥터 파라미터 값 출력단계, 제2반사신호 특징 추출부에서 상기 출력된 커넥터 파라미터 값을 기초로 한 시뮬레이션 케이블과, 상기 대상 케이블의 반사신호로부터 제2반사신호 특징을 각각 추출하는 제2반사신호 특징 추출단계, 케이블 파라미터 값 출력부에서 상기 추출된 제2반사신호 특징을 일반 회귀 신경망에 입력하여 적어도 하나 이상의 케이블 파라미터 값을 출력하는 케이블 파라미터 값 출력단계, 케이블 모델링부에서 상기 출력된 커넥터 파라미터 값 및 케이블 파라미터 값을 기초로 상기 대상 케이블을 모델링하는 케이블 모델링단계를 포함할 수 있다.

[0029] 이 때 상기 제1반사신호 특징은 반사신호 전반부에 해당하고, 상기 제2반사신호 특징은 반사신호 중반부에 해당할 수 있다.

[0030] 상기 제1반사신호 특징은 상기 시뮬레이션 케이블 또는 대상 케이블의 반사신호의 전반부에 해당하는 피크전압, 상기 반사신호 전반부의 미분함수 중 최소값에 해당하는 최소값 형성시간, 상기 최소값 형성시간에 해당하는 상기 반사신호의 전압값 중 적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0031] 상기 제2반사신호 특징은 상기 시뮬레이션 케이블 또는 대상 케이블의 반사신호의 중반부에 해당하는 수렴전압, 상기 반사신호 중반부의 미분함수에서 최대값에 해당하는 최대값 형성시간, 상기 최대값 형성시간에 해당하는 상기 반사신호의 전압값 중 적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0032] 상기 커넥터 파라미터 값은 커넥터의 인덕턴스 값(L) 및 캐패시턴스 값(C)을 포함하는 파라미터 값이라 할 수 있다.

[0033] 상기 케이블 파라미터 값은 케이블의 상대 유전율 값, 유전 손실 값 및 상대 투자율 값을 포함하는 파라미터 값

이라 할 수 있다.

[0034] 한편, 상기 시뮬레이션 케이블의 반사신호는 상기 시뮬레이션 케이블의 파라미터 값을 기 설정된 범위 내에서 변화시키며 생성된 반사신호 데이터베이스로부터 추출된 반사신호라 할 수 있다.

[0035] 상기 일반 회귀 신경망은 입력층에서 상기 대상 케이블의 반사신호로부터 각각 추출된 제1반사신호 특징 또는 제2반사신호 특징을 입력받는 대상 케이블 반사신호 특징 입력단계, 패턴층에서 상기 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스를 입력받는 시뮬레이션 케이블 반사신호 입력단계, 합산층에서 상기 입력받은 대상 케이블의 반사신호 및 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스 간의 유사도 값을 각각 산출하는 유사도 값 산출단계, 출력층에서 상기 산출된 유사도 값으로부터 상기 대상 케이블과의 유사도가 가장 높은 파라미터 값을 출력하는 파라미터 값 출력단계를 포함할 수 있다.

[0036] 상기 유사도 값 산출단계는 아래 수학적 식 1 및 수학적 식 2로 표현되는 유사도 값 산출식에 따라 상기 입력받은 대상 케이블의 반사신호 및 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스 간의 유사도 값을 산출할 수 있다.

[0037] <수학적 식 1>

$$W_j = \exp\left(-\frac{D_j^2}{2\sigma^2}\right)$$

[0038]

[0039] (W_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 유사도 값, D_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 거리 값, σ : 평활 파라미터 값)

[0040] <수학적 식 2>

$$D_j^2 = (X - X_j)^T (X - X_j)$$

[0041]

[0042] (D_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 거리 값, X : 입력 특징값, X_j : j 번째 패턴층 노드에 입력된 데이터베이스의 특징 값)

발명의 효과

[0043] 이상에서 설명한 바와 같은 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 시스템 및 방법에 따르면,

[0044] 첫째, 보다 단순한 절차를 통해 고주파수 응답을 반영한 케이블 모델링 기술을 제공할 수 있는 효과를 가진다.

[0045] 둘째, 본 발명은 커넥터의 특성이 포함된 반사신호의 전반부와, 케이블의 임피던스에 따라 결정되는 반사신호의 중반부를 이용하는 등 케이블 특성에 따른 모델링 기술을 구현함으로써, 모델링의 신뢰도를 높일 수 있는 효과를 가진다.

[0046] 셋째, 본 발명은 반사신호 전체를 특징으로 사용하는 것이 아닌, 커넥터의 캐패시턴스와 인덕턴스 변화에 따라 가장 크게 변화하는 요소인 반사신호의 피크전압, 최소/최대값 형성시간, 전압값 등 일부 값을 특징으로 이용함으로써, 회귀의 효율성을 높일 수 있는 효과를 가진다.

[0047] 넷째, 본 발명은 케이블 모델이 가지는 변수의 변화를 고려하여 케이블을 모델링함으로써, 정확도 높은 케이블 모델링 기술을 제공할 수 있는 효과를 가진다.

[0048] 다섯째, 본 발명은 시뮬레이션과 실측과의 비교를 통해 객관적이고 간단한 케이블 모델링 파라미터를 제공할 수 있는 효과를 가진다.

[0049] 여섯째, 본 발명은 실제로 실험해볼 수 없는 다양한 상황을 모의하여 케이블 진단 관련 연구에 사용될 수 있으며, 고장 분석, 계통 보호 및 진단 등의 분야에서 활용 가능한 효과를 가진다.

도면의 간단한 설명

- [0050] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 시스템을 나타낸 구성도.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 일반 회귀 신경망을 나타낸 도면.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 방법을 나타낸 순서도.
- 도 4는 본 발명의 실시예로서, 커넥터 파라미터 값과 케이블 파라미터 값의 도출을 위한 제1반사신호 특징과 제2반사신호 특징을 나타낸 그래프.
- 도 5는 본 발명의 실시예로서, 상온 및 초전도 상태의 초전도케이블 모델링 방법을 나타낸 순서도.
- 도 6은 본 발명의 실시예로서, 상온 및 초전도 상태의 시뮬레이션 케이블과, 대상 케이블의 모델링 최종 결과를 나타낸 그래프.
- 도 7은 본 발명의 실시예로서, 시간-주파수영역 반사파 계측법(TFDR)을 이용한 상온 상태(300K)의 시뮬레이션 케이블과, 대상 케이블의 모델링 최종 결과를 나타낸 그래프.
- 도 8은 본 발명의 실시예로서, 시간-주파수영역 반사파 계측법(TFDR)을 이용한 초전도 상태(77K)의 시뮬레이션 케이블과, 대상 케이블의 모델링 최종 결과를 나타낸 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0051] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시예에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다. 본 발명의 특징 및 이점들은 첨부 도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 발명자가 그 자신의 발명의 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야 할 것이다. 또한 본 발명과 관련된 공지 기능 및 그 구성에 대한 구체적인 설명은 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우, 그 구체적인 설명을 생략하였음에 유의해야 할 것이다.
- [0052] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 시스템을 나타낸 구성도이고, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 일반 회귀 신경망을 나타낸 도면이다.
- [0053] 먼저 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 시스템은 제1반사신호 특징 추출부(100), 커넥터 파라미터 값 출력부(200), 제2반사신호 특징 추출부(300), 케이블 파라미터 값 출력부(400) 및 케이블 모델링부(500)를 포함할 수 있다.
- [0054] 제1반사신호 특징 추출부(100)는 시간영역 반사파 계측법(TDR)으로 시뮬레이션 케이블과 대상 케이블의 반사신호로부터 제1반사신호 특징을 각각 추출할 수 있다. 이는 시뮬레이션 케이블과 대상 케이블의 제1반사신호 특징 비교를 통해, 대상 케이블과 가장 유사한 파라미터를 추정하기 위한 제1반사신호를 추정하기 위한 구성요소라 할 수 있다. 이 때 제1반사신호를 이용하여 추정하고자 하는 파라미터는 커넥터 파라미터라 할 수 있다.
- [0055] 한편, 제1반사신호 특징은 시뮬레이션 케이블 또는 대상 케이블의 반사신호 중에서도, 반사신호 전반부에 해당하는 특징이라 할 수 있다. 이 때 시뮬레이션 케이블의 반사신호는 시뮬레이션 케이블에 연결된 시뮬레이션 커넥터의 파라미터 값을 기 설정된 범위 내에서 변화시키며 생성된 반사신호 데이터베이스로부터 추출된 반사신호라 할 수 있다. 시뮬레이션 커넥터의 파라미터 값은 인덕턴스 값(L) 및 캐패시턴스 값을 포함할 수 있다.
- [0056] 제1반사신호 특징은 시간영역 반사파 계측법(TDR) 외에 다양한 종류의 반사파 계측법으로 용이하게 변경하여 추출할 수 있다.
- [0057] 또한, 제1반사신호 특징은 시뮬레이션 케이블 또는 대상 케이블의 반사신호의 전반부에 해당하는 피크전압, 반사신호 전반부의 미분함수 중 최소값에 해당하는 최소값 형성시간, 상기 최소값 형성시간에 해당하는 상기 반사신호의 전압값 중 적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 이는 커넥터의 특성이 포함된 반사신호의 전반부를 이용하여 케이블 특성에 따른 모델링 기술을 구현함으로써, 모델링의 신뢰도를 높이기 위한 특징이라 할 수 있다.
- [0058] 보다 상세하게, 시간 영역 반사파 계측법 결과의 전반부는 고정된 계측기의 임피던스와 커넥터의 임피던스 간

차이에 의해 결정된다. 이에, 반사신호의 전반부에는 커넥터의 특성이 포함되어있다고 할 수 있다.

- [0059] 커넥터 파라미터 값 출력부(200)는 제1반사신호 특징 추출부(100)로부터 추출된 제1반사신호 특징을 일반 회귀 신경망에 입력하여 적어도 하나 이상의 커넥터 파라미터 값을 출력할 수 있다.
- [0060] 제2반사신호 특징 추출부(300)는 커넥터 파라미터 값 출력부(200)로부터 출력된 커넥터 파라미터 값을 기초로 한 시뮬레이션 케이블과, 대상 케이블의 반사신호로부터 제2반사신호 특징을 각각 추출할 수 있다. 이는 시뮬레이션 케이블과 대상 케이블의 제2반사신호 특징 비교를 통해, 대상 케이블과 가장 유사한 파라미터를 추정하기 위한 제2반사신호를 추정하기 위한 구성요소라 할 수 있다. 이 때 제2반사신호를 이용하여 추정하고자 하는 파라미터는 케이블 파라미터라 할 수 있다.
- [0061] 제2반사신호 특징은 시뮬레이션 케이블 또는 대상 케이블의 반사신호 중에서도, 반사신호 중반부에 해당하는 특징이라 할 수 있다. 이 때 시뮬레이션 케이블의 반사신호는 시뮬레이션 케이블의 파라미터 값을 기 설정된 범위 내에서 변화시키며 생성된 반사신호 데이터베이스로부터 추출된 반사신호라 할 수 있다. 시뮬레이션 케이블의 파라미터 값은 케이블의 상대 유전율 값, 유전 손실 값 및 상대 투자율 값을 포함할 수 있다. 이는 케이블 모델이 가지는 변수의 변화를 고려하기 위해 포함되는 파라미터 값이라 할 수 있다.
- [0062] 보다 상세하게, 케이블의 유전체 특성은 크게 상대 유전율 값, 유전 손실 값, 상대 투자율 값으로 나타낼 수 있다. 종래 기술의 경우, 상대 투자율 값의 변화를 고려하지 않고 나머지 2개의 변수인 상대 유전율 값, 유전 손실 값만을 최적화하여 모델링을 진행하였다. 다만, 본 발명에서는 상기 3가지 변수를 모두 고려(해당 변수들의 최적값을 설정)함으로써, 모델링을 진행할 수 있다.
- [0063] 제2반사신호 특징은 제1반사신호 특징과 마찬가지로, 시간영역 반사파 계측법(TDR) 외에 다양한 종류의 반사파 계측법으로 용이하게 변경하여 추출할 수 있다.
- [0064] 또한, 제2반사신호 특징은 시뮬레이션 케이블 또는 대상 케이블의 반사신호의 중반부에 해당하는 수렴전압, 반사신호 중반부의 미분함수에서 최대값에 해당하는 최대값 형성시간, 최대값 형성시간에 해당하는 반사신호의 전압값 중 적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 이는 케이블의 임피던스에 따라 결정되는 반사신호의 중반부를 이용하여 케이블 특성에 따른 모델링 기술을 구현함으로써, 모델링의 신뢰도를 높이기 위한 특징이라 할 수 있다.
- [0065] 한편, 반사신호 특징(제1반사신호 특징 및 제2반사신호 특징)은 반사신호 전체를 특징으로 사용하는 것이 아닌, 커넥터의 캐패시턴스와 인덕턴스 변화에 따라 가장 크게 변화하는 요소인 반사신호의 피크전압, 최소/최대값 형성시간, 전압값 등 일부 값을 특징으로 이용함으로써, 회귀의 효율성을 높일 수 있다. 이는 반사신호 전체를 특징으로 사용할 경우, 샘플의 개수가 많아져 회귀의 효율성이 떨어지는 것을 개선하고자 한 것이라 할 수 있다. 이에 반사신호 특징 추출은 사전에 진행될 수 있다. 또한, 반사신호 특징은 커넥터의 변화에 따라 뚜렷하게 변화할수록 사용하기에 효과적이라 할 수 있다.
- [0066] 케이블 파라미터 값 출력부(400)는 제2반사신호 특징 추출부(300)로부터 추출된 제2반사신호 특징을 일반 회귀 신경망에 입력하여 적어도 하나 이상의 케이블 파라미터 값을 출력할 수 있다.
- [0067] 케이블 모델링부(500)는 커넥터 파라미터 값 출력부(200) 및 케이블 파라미터 값 출력부(400)로부터 출력된 커넥터 파라미터 값 및 케이블 파라미터 값을 기초로 대상 케이블을 모델링할 수 있다.
- [0068] 한편, 커넥터 파라미터 값 출력부(200) 및 케이블 파라미터 값 출력부(400)의 일반 회귀 신경망은 동일한 구조를 가지지만, 각 신경망은 서로 다른 신경망에 해당할 수 있다. 커넥터 파라미터 값 출력부(200)에서 사용되는 신경망은 제1반사신호 특징으로 구성되며, 케이블 파라미터 값 출력부(400)에서 사용되는 신경망은 제2반사신호 특징으로 구성될 수 있다. 이러한 각 신경망을 구성하는 특징 역시 서로 다른 데이터베이스로 만들어질 수 있다.
- [0069] 제1반사신호 특징은 커넥터의 인덕턴스와 캐패시턴스 변화에 따라 생성된 시간영역 반사파계측법 결과로부터 형성되며, 제2반사신호 특징은 케이블의 상대 유전율/유전 손실/상대 투자율 변화에 따라 생성된 시간영역 반사파계측법 결과로부터 형성될 수 있다.
- [0070] 한편, 도 2를 참조하여 커넥터 파라미터 값 출력부(200) 및 케이블 파라미터 값 출력부(400)의 일반 회귀 신경망을 설명하면 다음과 같다.
- [0071] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 일반 회귀 신경망은 입력층(Input layer), 패턴층(Pattern

layer), 합산층(Summation layer) 및 출력층(Output layer)을 포함할 수 있다.

[0072] 입력층(Input layer)은 대상 케이블의 반사신호로부터 각각 추출된 제1반사신호 특징 또는 제2반사신호 특징을 입력받을 수 있다.

[0073] 패턴층(Pattern layer)은 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스를 입력받을 수 있다. 이 때 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스는 시뮬레이션 케이블에 연결된 시뮬레이션 커넥터의 파라미터 값을 기 설정된 범위 내에서 변화시키며 생성된 반사신호 데이터와, 시뮬레이션 케이블의 파라미터 값을 기 설정된 범위 내에서 변화시키며 생성된 반사신호 데이터로 이루어진 데이터베이스라 할 수 있다. 보다 상세하게, 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스는 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스로부터 추출된 제1반사신호 특징 또는 제2반사신호 특징을 입력받을 수 있다.

[0074] 합산층(Summation layer)은 입력층(Input layer)으로부터 입력받은 대상 케이블의 반사신호 및 패턴층(Pattern layer)으로부터 입력받은 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스 간의 유사도 값을 각각 산출할 수 있다. 이 때 합산층(Summation layer)은 아래 수학적 식 1 및 수학적 식 2로 표현되는 유사도 값 산출식에 따라 상기 입력받은 대상 케이블의 반사신호 및 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스 간의 유사도 값을 산출할 수 있다.

[0075] <수학적 식 1>

$$W_j = \exp\left(-\frac{D_j^2}{2\sigma^2}\right)$$

[0076]

[0077] (W_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 유사도 값, D_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 거리 값, σ : 평활 파라미터 값)

[0078] <수학적 식 2>

$$D_j^2 = (X - X_j)^T (X - X_j)$$

[0079]

[0080] (D_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 거리 값, X : 입력 특징값, X_j : j 번째 패턴층 노드에 입력된 데이터베이스의 특징 값)

[0081] 출력층(Output layer)에서는 합산층(Summation layer)으로부터 산출된 유사도 값으로부터 대상 케이블과의 유사도가 가장 높은 파라미터 값을 출력할 수 있다.

[0082] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 방법을 나타낸 순서도이다.

[0083] 도 3을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 시간영역 반사파 계측법 및 일반 회귀 신경망을 이용한 케이블 모델링 방법은 제1반사신호 특징 추출단계(S100), 커넥터 파라미터 값 출력단계(S200), 제2반사신호 특징 추출단계(S300), 케이블 파라미터 값 출력단계(S400) 및 케이블 모델링단계(S500)를 포함할 수 있다.

[0084] 제1반사신호 특징 추출단계에서는 제1반사신호 특징 추출부(100)에서 시간영역 반사파 계측법(TDR)으로 시뮬레이션 케이블과 대상 케이블의 반사신호로부터 제1반사신호 특징을 각각 추출할 수 있다(S100). 이는 시뮬레이션 케이블과 대상 케이블의 제1반사신호 특징 비교를 통해, 대상 케이블과 가장 유사한 파라미터를 추정하기 위한 제1반사신호를 추정하기 위한 단계라 할 수 있다. 이 때 제1반사신호를 이용하여 추정하고자 하는 파라미터는 커넥터 파라미터라 할 수 있다.

[0085] 한편, 제1반사신호 특징은 시뮬레이션 케이블 또는 대상 케이블의 반사신호 중에서도, 반사신호 전반부에 해당하는 특징이라 할 수 있다. 이 때 시뮬레이션 케이블의 반사신호는 시뮬레이션 케이블에 연결된 시뮬레이션 커넥터의 파라미터 값을 기 설정된 범위 내에서 변화시키며 생성된 반사신호 데이터베이스로부터 추출된 반사신호라 할 수 있다. 시뮬레이션 커넥터의 파라미터 값은 인덕턴스 값(L) 및 캐패시턴스 값을 포함할 수 있다.

[0086] 제1반사신호 특징은 시간영역 반사파 계측법(TDR) 외에 다양한 종류의 반사파 계측법으로 용이하게 변경하여 추

출할 수 있다.

- [0087] 또한, 제1반사신호 특징은 시뮬레이션 케이블 또는 대상 케이블의 반사신호의 전반부에 해당하는 피크전압, 반사신호 전반부의 미분함수 중 최소값에 해당하는 최소값 형성시간, 최소값 형성시간에 해당하는 반사신호의 전압값 중 적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 이는 커넥터의 특성이 포함된 반사신호의 전반부를 이용하여 케이블 특성에 따른 모델링 기술을 구현함으로써, 모델링의 신뢰도를 높이기 위한 특징이라 할 수 있다.
- [0088] 보다 상세하게, 시간 영역 반사파 계측법 결과의 전반부는 고정된 계측기의 임피던스와 커넥터의 임피던스 간 차이에 의해 결정된다. 이에, 반사신호의 전반부에는 커넥터의 특성이 포함되어있다고 할 수 있다.
- [0089] 커넥터 파라미터 값 출력단계에서는 커넥터 파라미터 값 출력부(200)에서 제1반사신호 특징 추출단계(S100)로부터 추출된 제1반사신호 특징을 일반 회귀 신경망에 입력하여 적어도 하나 이상의 커넥터 파라미터 값을 출력할 수 있다(S200).
- [0090] 제2반사신호 특징 추출단계에서는 제2반사신호 특징 추출부(300)에서 커넥터 파라미터 값 출력단계(S200)로부터 출력된 커넥터 파라미터 값을 기초로 한 시뮬레이션 케이블과, 대상 케이블의 반사신호로부터 제2반사신호 특징을 각각 추출할 수 있다(S300). 이는 시뮬레이션 케이블과 대상 케이블의 제2반사신호 특징 비교를 통해, 대상 케이블과 가장 유사한 파라미터를 추정하기 위한 제2반사신호를 추정하기 위한 단계라 할 수 있다. 이 때 제2반사신호를 이용하여 추정하고자 하는 파라미터는 케이블 파라미터라 할 수 있다.
- [0091] 제2반사신호 특징은 시뮬레이션 케이블 또는 대상 케이블의 반사신호 중에서도, 반사신호 중반부에 해당하는 특징이라 할 수 있다. 이 때 시뮬레이션 케이블의 반사신호는 시뮬레이션 케이블의 파라미터 값을 기 설정된 범위 내에서 변화시키며 생성된 반사신호 데이터베이스로부터 추출된 반사신호라 할 수 있다. 시뮬레이션 케이블의 파라미터 값은 케이블의 상대 유전율 값, 유전 손실 값 및 상대 투자율 값을 포함할 수 있다. 이는 케이블 모델이 가지는 변수의 변화를 고려하기 위해 포함되는 파라미터 값이라 할 수 있다.
- [0092] 보다 상세하게, 케이블의 유전체 특성은 크게 상대 유전율 값, 유전 손실 값, 상대 투자율 값으로 나타낼 수 있다. 종래 기술의 경우, 상대 투자율 값의 변화를 고려하지 않고 나머지 2개의 변수인 상대 유전율 값, 유전 손실 값만을 최적화하여 모델링을 진행하였다. 다만, 본 발명에서는 상기 3가지 변수를 모두 고려(해당 변수들의 최적값을 설정)함으로써, 모델링을 진행할 수 있다.
- [0093] 제2반사신호 특징은 제1반사신호 특징과 마찬가지로, 시간영역 반사파 계측법(TDR) 외에 다양한 종류의 반사파 계측법으로 용이하게 변경하여 추출할 수 있다.
- [0094] 또한, 제2반사신호 특징은 시뮬레이션 케이블 또는 대상 케이블의 반사신호의 중반부에 해당하는 수렴전압, 반사신호 중반부의 미분함수에서 최대값에 해당하는 최대값 형성시간, 최대값 형성시간에 해당하는 반사신호의 전압값 중 적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 이는 케이블의 임피던스에 따라 결정되는 반사신호의 중반부를 이용하여 케이블 특성에 따른 모델링 기술을 구현함으로써, 모델링의 신뢰도를 높이기 위한 특징이라 할 수 있다.
- [0095] 한편, 반사신호 특징(제1반사신호 특징 및 제2반사신호 특징)은 반사신호 전체를 특징으로 사용하는 것이 아닌, 커넥터의 캐패시턴스와 인덕턴스 변화에 따라 가장 크게 변화하는 요소인 반사신호의 피크전압, 최소/최대값 형성시간, 전압값 등 일부 값을 특징으로 이용함으로써, 회귀의 효율성을 높일 수 있다. 이는 반사신호 전체를 특징으로 사용할 경우, 샘플의 개수가 많아져 회귀의 효율성이 떨어지는 것을 개선하고자 한 것이라 할 수 있다. 이에 반사신호 특징 추출은 사전에 진행될 수 있다. 또한, 반사신호 특징은 커넥터의 변화에 따라 뚜렷하게 변화할수록 사용하기에 효과적이라 할 수 있다.
- [0096] 케이블 파라미터 값 출력단계에서는 케이블 파라미터 값 출력부(400)에서 제2반사신호 특징 추출단계(S300)로부터 추출된 제2반사신호 특징을 일반 회귀 신경망에 입력하여 적어도 하나 이상의 케이블 파라미터 값을 출력할 수 있다(S400).
- [0097] 케이블 모델링단계에서는 케이블 모델링부(500)에서 커넥터 파라미터 값 출력단계(S200) 및 케이블 파라미터 값 출력단계(S400)로부터 출력된 커넥터 파라미터 값 및 케이블 파라미터 값을 기초로 대상 케이블을 모델링할 수 있다(S500).
- [0098] 한편, 커넥터 파라미터 값 출력단계(S200) 및 케이블 파라미터 값 출력단계(S400)의 일반 회귀 신경망은 동일한 구조를 가지지만, 각 신경망은 서로 다른 신경망에 해당할 수 있다. 커넥터 파라미터 값 출력단계(S200)에서 사용되는 신경망은 제1반사신호 특징으로 구성되며, 케이블 파라미터 값 출력단계(S400)에서 사용되는 신경망은

제2반사신호 특징으로 구성될 수 있다. 이러한 각 신경망을 구성하는 특징 역시 서로 다른 데이터베이스로 만들어질 수 있다.

[0099] 제1반사신호 특징은 커넥터의 인덕턴스와 캐패시턴스 변화에 따라 생성된 시간영역 반사파계측법 결과로부터 형성되며, 제2반사신호 특징은 케이블의 상대 유전율/유전 손실/상대 투자율 변화에 따라 생성된 시간영역 반사파계측법 결과로부터 형성될 수 있다.

[0100] 한편, 커넥터 파라미터 값 출력단계(S200) 및 케이블 파라미터 값 출력단계(S400)의 일반 회귀 신경망은 도 2를 참조하여 설명할 수 있다.

[0101] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 일반 회귀 신경망은 입력, 패턴층(Pattern layer), 합산층(Summation layer) 및 출력층(Output layer)을 포함할 수 있다. 이를 통해 대상 케이블 반사신호 특징입력단계, 시뮬레이션 케이블 반사신호 입력단계, 유사도 값 산출단계 및 파라미터 값 출력단계로 진행될 수 있다.

[0102] 먼저 대상 케이블 반사신호 특징 입력단계에서는 입력층(Input layer)에서 대상 케이블의 반사신호로부터 각각 추출된 제1반사신호 특징 또는 제2반사신호 특징을 입력받을 수 있다.

[0103] 시뮬레이션 케이블 반사신호 입력단계에서는 패턴층(Pattern layer)에서 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스를 입력받을 수 있다. 이 때 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스는 시뮬레이션 케이블에 연결된 시뮬레이션 커넥터의 파라미터 값을 기 설정된 범위 내에서 변화시키며 생성된 반사신호 데이터와, 시뮬레이션 케이블의 파라미터 값을 기 설정된 범위 내에서 변화시키며 생성된 반사신호 데이터로 이루어진 데이터베이스라 할 수 있다. 보다 상세하게, 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스는 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스로부터 추출된 제1반사신호 특징 또는 제2반사신호 특징을 입력받을 수 있다.

[0104] 유사도 값 산출단계에서는 합산층(Summation layer)에서 대상 케이블 반사신호 특징 입력단계로부터 입력받은 대상 케이블의 반사신호, 시뮬레이션 케이블 반사신호 입력단계로부터 입력받은 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스 간의 유사도 값을 각각 산출할 수 있다. 이 때 유사도 값 산출단계는 아래 수학적 식 1 및 수학적 식 2로 표현되는 유사도 값 산출식에 따라 상기 입력받은 대상 케이블의 반사신호 및 시뮬레이션 케이블의 반사신호 데이터베이스 간의 유사도 값을 산출할 수 있다.

[0105] <수학적 식 1>

$$W_j = \exp\left(-\frac{D_j^2}{2\sigma^2}\right)$$

[0106]

[0107] (W_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 유사도 값, D_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 거리 값, σ : 평활 파라미터 값)

[0108] <수학적 식 2>

$$D_j^2 = (X - X_j)^T (X - X_j)$$

[0109]

[0110] (D_j : j 번째 패턴층 노드로부터의 거리 값, X : 입력 특징값, X_j : j 번째 패턴층 노드에 입력된 데이터베이스의 특징 값)

[0111] 파라미터 값 출력단계에서는 출력층(Output layer)에서 유사도 값 산출단계로부터 산출된 유사도 값으로부터 대상 케이블과의 유사도가 가장 높은 파라미터 값을 출력할 수 있다.

[0112] 도 4는 본 발명의 실시예로서, 커넥터 파라미터 값과 케이블 파라미터 값의 도출을 위한 제1반사신호 특징과 제2반사신호 특징을 나타낸 그래프이고, (a)는 시간영역 반사파 계측법(TDR)의 결과를 나타낸 그래프이며, (b)는 시간영역 반사파 계측법(TDR) 결과에 대한 미분함수를 나타낸 그래프이다.

[0113] 즉, 도 4에서 (a)는 제1반사신호 특징 중 ‘피크전압’, ‘최소값 형성시간’, ‘최소값 형성시간에 해당하는 반사신호의 전압값’이 나타난 그래프라 할 수 있고, (b)는 제2반사신호 특징 중 ‘수렴전압’, ‘최대값 형성

시간', '최대값 형성시간에 해당하는 반사신호의 전압값' 이 나타난 그래프라 할 수 있다.

[0114] 도 4(a)에 도시된 바와 같이, V-peak는 TDR 반사신호 전반부의 '피크전압'에 해당할 수 있다. t_1 은 반사신호 $r(t)$ 의 미분함수 $r'(t)$ 중 최소값을 형성하는 시간인 '최소값 형성시간'에 해당할 수 있다. $r(t_1)$ 은 t_1 시간에서 반사신호 $r(t)$ 의 전압값인 '최소값 형성시간에 해당하는 반사신호의 전압값'에 해당할 수 있다.

[0115] 그리고 도 4(b)에 도시된 바와 같이, V_{sat} 은 TDR 반사신호 중반부의 '수렴전압'에 해당할 수 있다. t_2 은 반사신호 $r(t)$ 의 미분함수 $r'(t)$ 중 최대값을 형성하는 시간인 '최대값 형성시간'에 해당할 수 있다. $r(t_2)$ 은 t_2 시간에서 반사신호 $r(t)$ 의 전압값인 '최대값 형성시간에 해당하는 반사신호의 전압값'에 해당할 수 있다. 한편, t_2 은 반사파가 되돌아오고나서 최대변화를 보이는 시간이라 할 수 있다.

[0116] 도 5는 본 발명의 실시예로서, 상온 및 초전도 상태의 초전도케이블 모델링 방법을 나타낸 순서도이며, 도 6은 본 발명의 실시예로서, 상온 및 초전도 상태의 시뮬레이션 케이블과, 대상 케이블의 모델링 최종 결과를 나타낸 그래프이고, 표 1은 본 발명의 실시예로서, 커넥터 파라미터 값과 케이블 파라미터 값의 도출을 위한 입력 값(INPUT) 및 출력 값(OUTPUT)을 나타낸 표이다.

[0117] 먼저 도 5를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 상온 및 초전도 상태의 케이블 모델링 방법은 크게 커넥터 파라미터 값 추정단계(Connector Regression) 및 케이블 파라미터 값 추정단계(Cable Regression)를 포함하며, 도 3에 도시된 순서도와 동일한 과정으로 상온 및 초전도 상태의 케이블을 모델링할 수 있다.

[0118] 이 때 시간영역 반사파 계측법(TDR)으로 커넥터 파라미터 값 및 케이블 파라미터 값을 추정하는 과정은 각각 초전도 상태(77K) 및 상온 상태(300K) 조건에서 2번 수행할 수 있다.

[0119] 이를 통해 최종적으로 도출된 값인 출력 값(OUTPUT)은 아래 표 1의 Output Parameters이라 할 수 있다.

[0120] <표 1>

	Input Features	Output Parameters
Connector Regression	$V_{peak}, t_1, r(t_1)$	Inductance (L), Capacitance (C)
Cable Regression	$V_{sat}, t_2, r(t_2)$	Relative Permittivity (ϵ_r), Dielectric Loss ($\tan \delta$), Relative Permeability (μ_r)

[0121]

[0122] 상기 표 1과 같이, 최종적으로 커넥터 파라미터 값과 케이블 파라미터 값이 결정되면 시간영역 반사파 계측법(TDR)을 통한 시뮬레이션 케이블의 반사신호와 대상 케이블의 반사신호(실측)가 도 6과 같이 일치하는 것을 확인할 수 있다.

[0123] 이 때 도 6에서 (a)는 상온 상태(300K)의 케이블 모델링 최종 결과 그래프를 나타내고, (b)는 초전도 상태(77K)의 케이블 모델링 최종 결과 그래프를 나타낼 수 있다.

[0124] 보다 상세하게 표 1과 도 6을 참조하면, 시뮬레이션 케이블의 반사신호는 시뮬레이션 케이블의 파라미터 값을 기 설정된 범위 내에서 변화시키며 생성된 반사신호 데이터베이스로부터 추출될 수 있는데, 여기서 추출 기준은 대상 케이블의 반사신호(실측) 결과와 가장 유사한 시뮬레이션 케이블의 반사신호 결과를 채택하여 추출할 수 있다.

[0125] 도 7은 본 발명의 실시예로서, 시간-주파수영역 반사파 계측법(TFDR)을 이용한 상온 상태(300K)의 시뮬레이션 케이블과, 대상 케이블의 모델링 최종 결과를 나타낸 그래프이다.

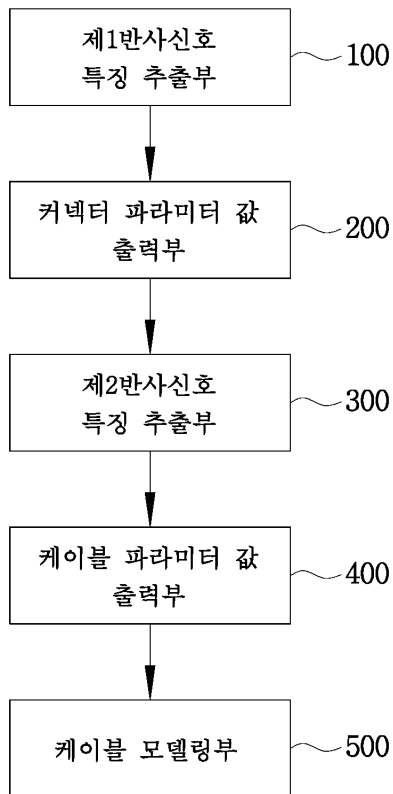
[0126] 도 7은 시간영역 반사파 계측법(TDR) 대신 시간-주파수영역 반사파 계측법(TFDR)을 이용한 실시예로서, 이 때 (a)는 상온 상태의 시뮬레이션 케이블과 대상 케이블의 시계열 그래프를 나타내며, (b)는 (a)에 상응하는 상온 상태의 시뮬레이션 케이블과 대상 케이블의 시간-주파수 상호 상관관계 그래프를 나타낼 수 있다.

[0127] 도 8은 본 발명의 실시예로서, 시간-주파수영역 반사파 계측법(TFDR)을 이용한 초전도 상태(77K)의 시뮬레이션 케이블과, 대상 케이블의 모델링 최종 결과를 나타낸 그래프이다.

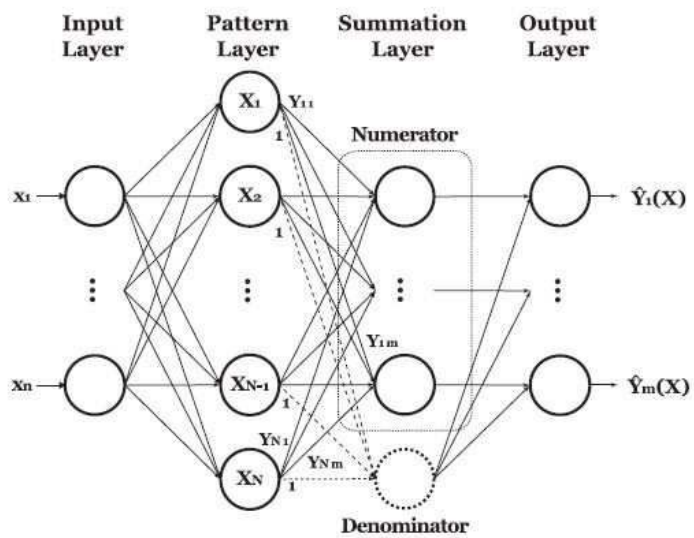
[0128] 도 8은 시간영역 반사파 계측법(TDR) 대신 시간-주파수영역 반사파 계측법(TFDR)을 이용한 실시예로서, 이 때 (a)는 초전도 상태의 시뮬레이션 케이블과 대상 케이블의 시계열 그래프를 나타내며, (b)는 (a)에 상응하는 초

도면

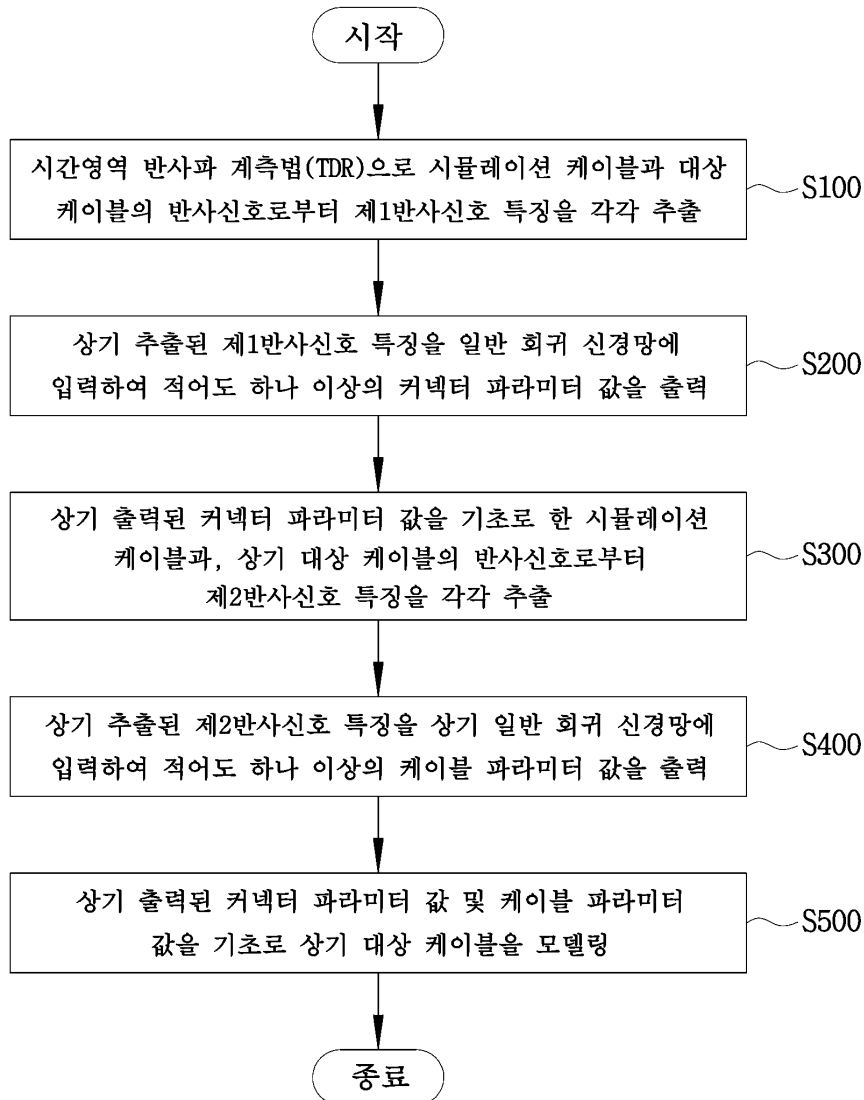
도면1



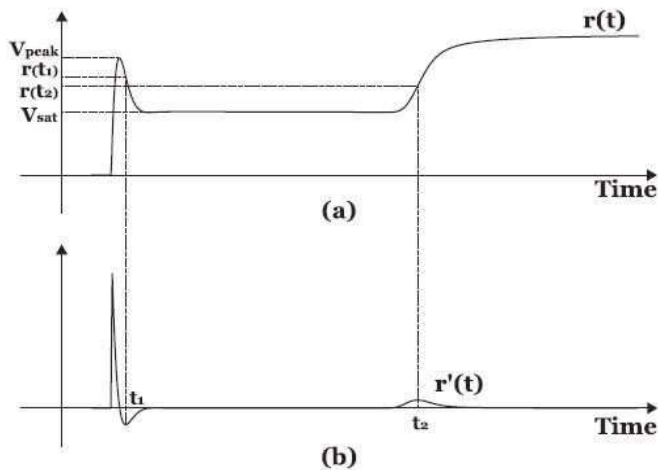
도면2



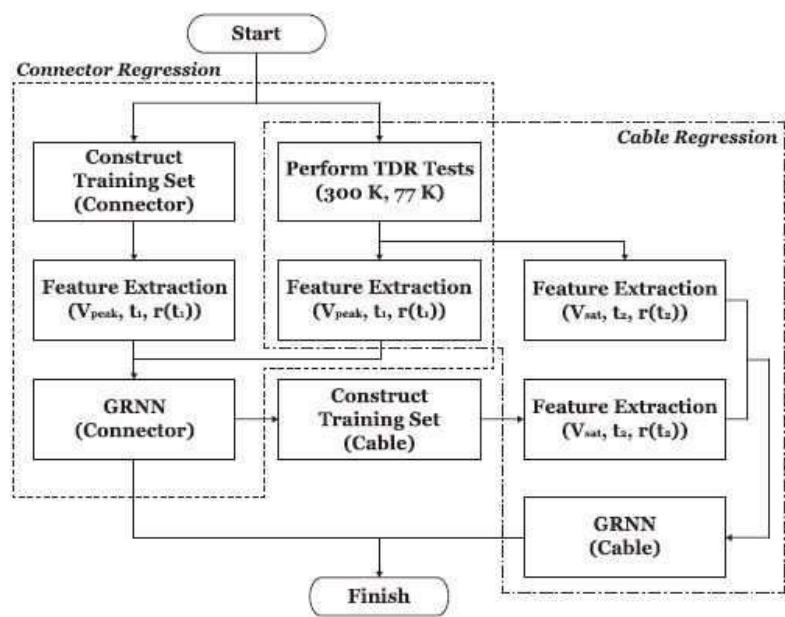
도면3



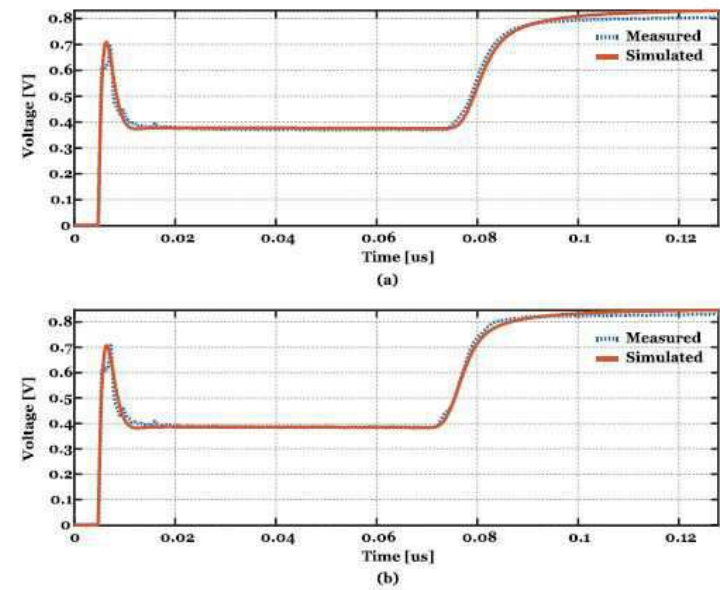
도면4



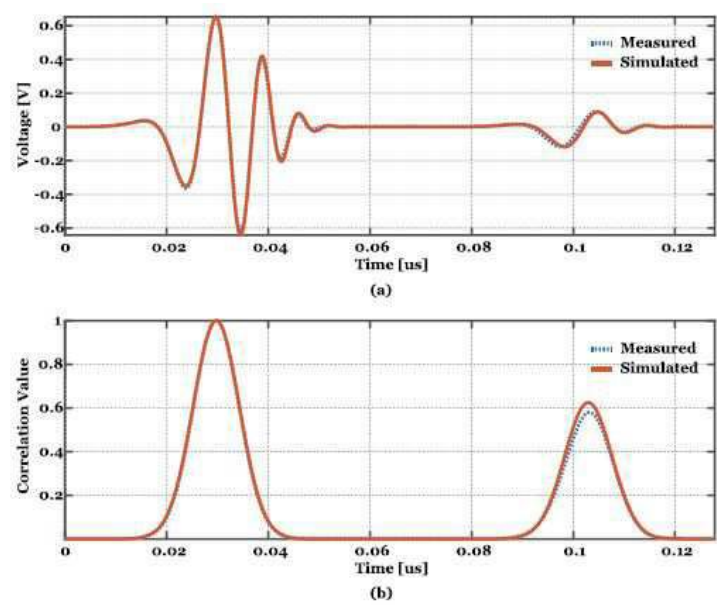
도면5



도면6



도면7



도면8

