



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년07월05일

(11) 등록번호 10-2416995

(24) 등록일자 2022년06월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01H 1/00 (2006.01) **G01L 3/02** (2006.01)
G01L 5/16 (2020.01)

(52) CPC특허분류
G01H 1/003 (2013.01)
G01L 3/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0155393

(22) 출원일자 2020년11월19일

심사청구일자 2020년11월19일

(65) 공개번호 10-2022-0068521

(43) 공개일자 2022년05월26일

(56) 선행기술조사문헌

KR101432786 B1*

JP2005180924 A

JP07051999 A

KR101901127 B1

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

허견

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 C626 (신촌동)

신우영

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 C628 (신촌동)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

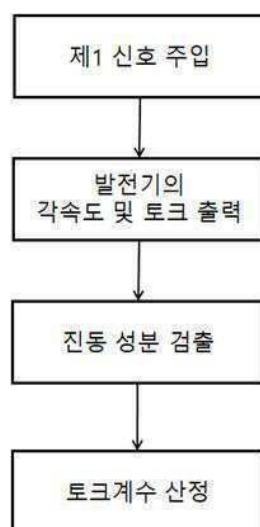
특허법인(유한)아이시스

전체 청구항 수 : 총 10 항

심사관 : 김수현

(54) 발명의 명칭 **토크 계수 산정 방법****(57) 요약**

본 발명은 진동성분 검출을 통해 신속하게 토크 계수를 산정할 수 있는 방법에 관한 것으로, 고속 푸리에 변환 없이도 특정 주파수 영역을 필터링할 수 있는 제어를 통해 발전기의 각속도 및 토크를 변화시키는 진동 성분만을 도출하여 토크 계수를 신속하게 산정 가능한 방법을 제공하고, 데이터 저장 개수 및 출력 데이터 용량이 적게 소모되므로 컴퓨터 성능과 저장 용량에 영향을 적게 받으며, 전력계통상 발전기와 직렬보상장치, HVDC 등과 같은 특수설비 사이에 발생하는 상호 뒤틀림 현상의 발생 여부를 특수설비가 전력계통에 설치되기 전 미리 검증할 수 있어 전력계통 시스템의 안정성을 향상시킬 수 있다.

대표도 - 도2

(52) CPC특허분류

G01L 5/16 (2022.01)

(72) 발명자

김희진

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 공학
원 246C (신촌동)

김상민

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 공학
원 246C (신촌동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|-------------|--|
| 과제고유번호 | 2020110782 |
| 과제번호 | R17XA05-4 |
| 부처명 | 산업통상자원부 |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국전력공사 |
| 연구사업명 | 용역 |
| 연구과제명 | DC 전력기기 기반 송전망 최적 활용 및 그리드 서비스 (Grid Service) 연구 |
| 기 여 율 | 1/1 |
| 과제수행기관명 | 연세대학교 |
| 연구기간 | 2020.05.01 ~ 2021.04.30 |

명세서

청구범위

청구항 1

(S1) 각속도 및 토크를 전기적 신호로 출력하도록 모델링 된 전력계통상의 발전기 모델에서 상기 발전기에 포함 된 회전축에 상기 각속도 및 발전기의 전기적 토크 중 어느 하나 이상을 변화시키는 제1 신호를 주입하는 단계;
 (S2) 상기 (S1) 단계에 의해 변화된 각속도 및 전기적 토크 중 어느 하나 이상을 출력하는 단계;
 (S3) 상기 (S2) 단계에서 출력된 값을 제1 필터에 통과시켜 상기 제1 신호에 의한 진동 성분을 검출하는 단계; 및
 (S4) 상기 (S3) 단계에서 검출된 상기 진동 성분을 이용하여 토크계수를 연산하는 단계;를 포함하고,
 상기 연산된 토크계수로부터 상기 제1 신호에 대한 상기 전력계통의 안정도를 판별하며,
 상기 (S4) 단계는,
 (S5) 검출된 진동 성분을 저역 통과 필터(low pass filter)에 통과시켜 위상을 변화시키는 단계;
 (S6) 상기 (S3) 단계에서 검출된 진동 성분을 실수축으로 하고, 상기(S5) 단계에서 위상을 변화시킨 진동 성분을 허수축으로 하여 크기 및 위상을 구하는 단계; 및
 (S7) 상기 (S6) 단계에서 상기 진동 성분의 크기 및 위상을 이용하여 토크계수를 산정하는 단계를 포함하는 토크계수 산정방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 전력계통의 안정도를 판별하는 방법으로써

상기 연산된 토크계수의 부호가 음수이면 상기 전력계통의 안정도는 불안정한 것으로 판단하고, 0 또는 양수이면 안정한 것으로 판단하는 토크계수 산정방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 진동 성분은 상기 제1 신호에 의해 변화하는 상기 회전축의 각도 편차로부터 발생하는 진동 성분 및 상기 제1 신호에 의해 변화하는 상기 발전기의 전기적 토크 편차로부터 발생하는 진동 성분 중 어느 하나 이상을 포함하는 토크계수 산정방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 제1 필터는 고역 통과 필터(high pass filter) 및 대역 통과 필터(band pass filter)인 토크계수 산정방법.

청구항 5

삭제

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 (S7) 단계의 토크계수는 댐핑 토크 계수 및 동기 토크 계수를 포함하며, 상기 댐핑 토크 계수 및 상기 동기 토크 계수는 하기 수학적식으로 연산되는 토크계수 산정방법.

$$\Delta T_e = D_e \frac{\Delta \hat{\delta} \cos(\Omega t)}{\omega_0} + K_e \Delta \hat{\delta} \Omega \sin(\Omega t) = \Delta T_x \cos(\Omega t) - \Delta T_y \sin(\Omega t)$$

(ΔT_e : 전기적 토크 편차, D_e : 댐핑 토크 계수, K_e : 동기 토크 계수, $\Delta \hat{\delta}_f$: 각도 편차 크기, $\Delta \hat{\omega}_f$: 각속도 편차 크기, w_0 : 초기 각속도, ΔT_x : 진동성분의 실수축 크기, ΔT_y : 진동성분의 허수축 크기, Ω : 변화된 주파수)

청구항 7

모델링된 전력계통의 토크계수를 연산하는 장치로써,

상기 장치는 입력부, 연산부 및 출력부를 포함하고,

상기 연산부는

(S1) 각속도 및 토크를 전기적 신호로 출력하도록 모델링된 전력계통상 발전기의 모델에서 상기 발전기에 포함된 회전축에 상기 각속도 및 발전기의 전기적 토크 중 어느 하나 이상을 변화시키는 제1 신호를 주입하는 단계;

(S2) 상기 (S1) 단계에 의해 변화된 각속도 및 전기적 토크 중 어느 하나 이상을 출력하는 단계;

(S3) 상기 (S2) 단계에서 출력된 값을 제1 필터에 통과시켜 상기 제1 신호에 의한 진동 성분을 검출하는 단계; 및

(S4) 상기 (S3) 단계에서 검출된 상기 진동 성분을 이용하여 토크계수를 연산하는 단계;를 포함하여 수행하고,

상기 연산부는 상기 연산된 토크계수로부터 상기 전력계통의 안정도를 판단하며,

상기 (S4) 단계는,

(S5) 검출된 진동 성분을 저주파 통과 필터(low pass filter)에 통과시켜 위상을 변화시키는 단계;

(S6) 상기 (S3) 단계에서 검출된 진동 성분을 실수축으로 하고, 상기(S5) 단계에서 위상을 변화시킨 진동 성분을 허수축으로 하여 크기 및 위상을 구하는 단계; 및

(S7) 상기 (S6) 단계에서 상기 진동 성분의 크기 및 위상을 이용하여 토크계수를 산정하는 단계를 포함하는 토크계수 연산장치.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 전력계통의 안정도를 판별하는 방법으로써

상기 연산된 토크계수의 부호가 음수이면 상기 전력계통의 안정도는 불안정한 것으로 판단하고, 0 또는 양수이면 안정한 것으로 판단하는 토크계수 연산장치.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

상기 진동 성분은 상기 제1 신호에 의해 변화하는 상기 회전축의 각도 편차로부터 발생하는 진동 성분 및 상기 제1 신호에 의해 변화하는 상기 발전기의 전기적 토크 편차로부터 발생하는 진동 성분 중 어느 하나 이상을 포함하는 토크계수 연산장치.

청구항 10

제 7 항에 있어서,

상기 제1 필터는 고역 통과 필터(high pass filter) 및 대역 통과 필터(band pass filter)인 토크계수 연산장

치.

청구항 11

삭제

청구항 12

제 7 항에 있어서,

상기 (S7) 단계의 토크계수는 댐핑 토크 계수 및 동기 토크 계수를 포함하며, 상기 댐핑 토크 계수 및 동기 토크 계수는 하기 수학적식으로 연산되는 토크계수 연산장치.

$$\Delta T_e = D_e \frac{\Delta \hat{\delta} \cos(\Omega t)}{\omega_0} + K_e \Delta \hat{\delta} \Omega \sin(\Omega t) = \Delta T_x \cos(\Omega t) - \Delta T_y \sin(\Omega t)$$

(ΔT_e : 전기적 토크 편차, D_e : 댐핑 토크 계수, K_e : 동기 토크 계수, $\Delta \hat{\delta}_f$: 각도 편차 크기, $\Delta \hat{\omega}_f$: 각속도 편차 크기, ω_0 : 초기 각속도, ΔT_x : 진동성분의 실수축 크기, ΔT_y : 진동성분의 허수축 크기, Ω : 변화된 주파수)

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 발전기 및 발전기 회전축의 진동 성분 검출을 통해 신속하게 토크 계수를 산정할 수 있는 방법 및 연산장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 기존에는 복소 토크 계수를 산정하기 위한 방법은 EMT 모의실험 환경에서 터빈 발전기와 특수설비가 포함된 계통을 모델링하고, 상기 터빈 발전기에 특정 주파수에 해당하는 임의의 진동을 발생시켜 발전기의 시간별 각속도, 전기적 토크, 주파수 등의 데이터를 저장한 후, EMT 모의실험으로 얻은 데이터(각속도, 전기적 토크, 주파수 등)를 고속 푸리에 변환하는 방법이었다. 하지만 상당한 양의 데이터 저장과 저장된 데이터의 고속 푸리에 변환 처리에 필요한 톨을 통해 이산적으로 토크 계수를 도출해야 하므로 컴퓨터 성능과 추가 연산 톨이 필요하다는 문제가 있다. 따라서 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출한 것으로서, 복소 토크 계수 산정에 데이터 저장과 연산 단계를 줄이는 동시에 EMT 모의실험 상에서 결과를 도출하는 것에 그 목적이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 공개특허공보 제10-2018-0086628호(2018.08.01.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 이에, 본 발명은 고속 푸리에 변환 없이도 특정 주파수 영역을 필터링할 수 있는 제어기를 통해 발전기 회전축의 각속도 및 발전기의 전기적 토크를 변화시키는 진동 성분만을 도출하여 토크 계수를 신속하게 산정 가능한 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0005] 상기 목적을 달성하기 위해, (S1) 각속도 및 토크를 전기적 신호로 출력하도록 모델링 된 전력계통상의 발전기 모델에서 상기 발전기에 포함된 회전축에 상기 각속도 및 발전기의 전기적 토크 중 어느 하나 이상을 변화시키는 제1 신호를 주입하는 단계; (S2) 상기 (S1) 단계에 의해 변화된 각속도 및 전기적 토크 중 어느 하나 이상을 출력하는 단계; (S3) 상기 (S2) 단계에서 상기 출력된 값을 제1 필터에 통과시켜 상기 제1 신호에 의한 진동 성분을 검출하는 단계; 및 (S4) 상기 (S3) 단계에서 검출된 상기 진동 성분을 이용하여 토크계수를 연산하는 단계;를 포함하고, 상기 연산된 토크계수로부터 상기 제1 신호에 대한 상기 전력계통의 안정도를 판별하는 토크계수 산정방법을 제공한다.

[0006] 또한, 모델링된 전력계통의 토크계수를 연산하는 장치로써, 상기 장치는 입력부, 연산부 및 출력부를 포함하고, 상기 연산부는 (S1) 각속도 및 토크를 전기적 신호로 출력하도록 모델링 된 전력계통상 발전기의 모델에서 상기 발전기에 포함된 회전축에 상기 각속도 및 발전기의 전기적 토크 중 어느 하나 이상을 변화시키는 제1 신호를 주입하는 단계; (S2) 상기 (S1) 단계에 의해 변화된 각속도 및 전기적 토크 중 어느 하나 이상을 출력하는 단계; (S3) 상기 (S2) 단계에서 상기 출력된 값을 제1 필터에 통과시켜 상기 제1 신호에 의한 진동 성분을 검출하는 단계; 및 (S4) 상기 (S3) 단계에서 검출된 상기 진동 성분을 이용하여 토크계수를 연산하는 단계;를 포함하여 수행하고, 상기 연산부는 상기 연산된 토크계수로부터 상기 전력계통의 안정도를 판단하는 토크계수 연산 장치를 제공한다.

발명의 효과

[0007] 본 발명에 따른 토크계수 산정방법은 발전기의 출력값 중에서 각속도 및 전기적 토크를 진동 및 발산하게 하는 진동 성분을 도출하여 산정하므로 토크계수를 산정하기 위한 연산 단계가 간소화되어 신속하게 도출할 수 있다.

[0008] 또한, 기존의 고속 푸리에 변환 방법에 비해 데이터 저장 개수 및 출력 데이터 용량이 적게 소모되므로 컴퓨터 성능과 저장 용량에 영향을 적게 받는다.

[0009] 또한, 전력계통상 발전기와 직렬보상장치, HVDC 등과 같은 특수설비 사이에 발생하는 상호 뒤틀림 현상의 발생 여부를 특수설비가 전력계통에 설치되기 전 미리 검증할 수 있어 전력계통 시스템의 안정성을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 본 발명의 토크계수 산정을 위해 전력계통을 모델링한 것을 나타낸 것이다.
 도 2은 본 발명의 토크계수 산정 방법을 위한 순서도를 나타낸 것이다.
 도 3은 제1 신호가 주입되는 터빈과 발전기 사이의 회전축을 나타낸 것이다.
 도 4는 제1 신호가 주입된 발전기와 터빈사이의 회전축의 각속도 변화를 나타내내 그래프이다.
 도 5는 제1 신호가 발전기와 터빈 사이의 회전축에 주입된 후 발전기의 전기적 토크변화를 나타낸 그래프이다.
 도 6은 발전기의 출력으로부터 진동 성분을 검출하기 위한 제1 필터를 나타낸 것이다.
 도 7은 검출된 진동 성분을 저주파 통과 필터를 통해 위상을 변화시키는 방법을 도시한 것이다..
 도 8은 검출된 진동 성분의 위상을 변화시켜 복소평면상에 나타낸 것이다.
 도 9은 제1 신호의 주파수 변화에 따라 토크계수의 값을 나타낸 것이다.
 도 10는 고속 푸리에 변환 방법론과 본 발명의 토크계수 산정방법의 데이터 저장 개수 및 출력 데이터 용량을 비교한 표이다.
 도 11은 토크계수 연산장치에 관한 구성을 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 이하 설명하는 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 이하 설명하는 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 이하 설명하는 기술의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0013] 도 1 내지 도 10에는 본 발명의 복소 토크계수 산정방법에 관하여 설명하기 위한 자료들이 나타나 있다. 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위해 첨부된 상기 도면들을 참고하여 본 발명을 보다 상세히 설명한다. 그러나 하기의 실시예는 본 발명을 보다 쉽게 이해하기 위해 제공되는 것일 뿐, 하기 실시예에 의해 본 발명의 내용이 한정되는 것은 아니다.

[0015] 도 1은 본 발명에 따른 토크 계수 산정 방법에서 발전기가 포함된 전력계통을 모델링한 것을 나타낸 것이다. 도 1을 참조하여 설명하면, 차동기 공진 현상 중 하나인 차동기의 상호 비틀림 현상은 전력계통에 직렬보상장치, HVDC 등과 같은 특수설비와 터빈 발전기 사이에 발생하는 문제를 의미한다. 여기서 차동기 공진 현상은 전력계통과 발전기 간의 상호작용으로 특정 운전 조건에서 터빈과 발전기 사이의 축의 진동이 증폭되는 현상을 말한다. 상기 특정 운전 조건은 계통의 외란에 따라 발전기가 접속된 전원 계통이 상용주파수보다 작은 값의 공진주파수 성분을 함께 포함하는 조건을 의미한다. 특히, 발전기가 직렬커패시터에 의해 보상된 장거리 송전선로에 접속되는 경우 차동기 공진 현상에 취약하며, 이때 터빈과 발전기 사이의 축에 유기되는 진동 토크의 증폭으로 상기 축의 피로 및 손상을 가져올 수 있다.

[0016] 상기 문제점의 발생 여부에 관해 직렬커패시터, FACTS, HVDC 등과 같은 특수설비가 전력계통에 설치되지 전 계획단계에서 발전기와 상기 특수설비 사이에 상기 문제점이 발생할 수 있는지를 쉽게 검증할 수 있도록 전력계통 시스템을 모델링 하여 발전기와 직렬보상설비 연계를 통한 계통 구성과 계통 운전 상황별 모의실험 환경을 구성하였다. 상기 모의실험 환경은 전력계통 해석프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링을 하였으며, 이를 통해 시뮬레이션을 수행하였다.

[0017] 도 2는 본 발명에 따른 토크계수 산정방법을 순서도로 나타낸 것이다. 도 2를 참조하여 설명하면, 본 발명에 따른 토크계수 산정방법은 (S1) 각속도 및 토크를 전기적 신호로 출력하도록 모델링 된 전력계통상의 발전기 모델에서 상기 발전기에 포함된 회전축에 상기 각속도 및 발전기의 전기적 토크 중 어느 하나 이상을 변화시키는 제1 신호를 주입하는 단계; (S2) 상기 (S1) 단계에 의해 변화된 각속도 및 전기적 토크 중 어느 하나 이상을 출력하는 단계; (S3) 상기 (S2) 단계에서 상기 출력된 값을 제1 필터에 통과시켜 상기 제1 신호에 의한 진동 성분을 검출하는 단계; 및 (S4) 상기 (S3) 단계에서 검출된 상기 진동 성분을 이용하여 토크계수를 연산하는 단계;를 포함한다.

[0018] 제1 신호가 주입되면 발전기로부터 출력되는 전기적 토크 편차(ΔT_e)는 하기의 수학식(1)으로 표현될 수 있다.

$$\Delta T_e = K_e \Delta \delta_f + \frac{D_e \Delta \omega_f}{\omega_0}$$

[0019] 수학식(1)

[0020] 도 3은 제1 신호가 주입되는 위치를 나타낸 것이다. 도 3을 참조하면, 상기 제1 신호는 발전기의 회전축 또는 터빈과 발전기 사이의 회전축에 주입되어 상기 회전축의 각속도를 변화시킬 수 있다.

[0021] 도 4는 제1 신호가 터빈과 발전기 사이의 회전축에 주입된 후 상기 회전축의 시간에 대한 각속도 그래프를 나타낸 것이다. 도 4를 참조하여 설명하면, 상기 제1 신호는 각속도 및 토크를 전기적 신호로 출력하는 발전기와 터빈 사이의 회전축에 주입할 수 있다. 상기 발전기와 터빈 사이의 회전축은 제1 신호가 주입되기 전에는 발전기에서 출력되는 전기적 토크가 일정하게 유지될 수 있으나 상기 제1 신호가 상기 발전기와 터빈 사이의 회전축에 주입되면 상기 회전축에 진동이 발생하게 되어 상기 발전기의 전기적 토크에 변화가 발생하게 될 수 있다. 상기 제1 신호는 발전기의 전기적 토크에 변화를 주어 교란하는 섭동 신호로써, 각속도의 진폭이 시간에 따라 점점 증가하는 발산형의 형태로 상기 회전축에 주입될 수 있다.

[0022] 상기 제1 신호는 각도에 대한 미소 신호($\Delta \delta = \Delta \hat{\delta} \sin(\Omega t)$)를 만든 후 미분기를 통과시켜 각속도에 대한 미소 신호($\Delta \omega = \Delta \hat{\delta} \Omega \cos(\Omega t)$)를 만들어 상기 미소 신호가 포함된 새로운 각속도($\omega_0 + \Delta \omega$)로 주입된다. 상기 제1 신호는 발전기와 터빈 사이의 회전축에 주입되어 발전기의 전기적 토크 편차 및 각속도 편차가 발생시킬 수 있다.

[0023] 도 5는 터빈에서 출력되는 전기적 토크의 시간에 대한 전기적 토크를 그래프로 나타낸 것이다. 도 5를 참조하여 설명하면, 상기 제1 신호가 상기 발전기와 터빈 사이의 회전축에 주입되면 발전기에서는 출력되는 토크를 신호화한 전기적 토크에 변화가 발생 된다. 상기 발전기의 전기적 토크는 신호가 주입되기 전에는 일정하게 유지되고 있으나 상기 제1 신호가 주입된 후 전기적 토크의 진폭이 점점 증가하는 발산형의 형태로 그래프가 나타날 수 있다.

[0024] 상기 발전기에서 출력되는 전기적 토크에는 상기 제1 신호에 의한 축의 진동으로 발생 되는 진동 성분이 포함되어 있으므로 상기 진동 성분만을 검출할 필요가 있다. 상기 회전축의 각속도 변화로 상기 발전기의 전기적 토크(T_e)의 변화가 발생하게 되며, 상기 전기적 토크는 토크 평균(T_{av})과 진동 성분($\Delta T_e e^{j\Omega t}$)으로 나타낼 수 있다. 전기적 토크 편차(ΔT_e)는 전기적 토크(T_e)와 토크 평균(T_{av})의 차에 해당된다. 상기 전기적 토크 편차(ΔT_e)는 하기의 수학적식과 같이 표현될 수 있다.

$$T_e = T_{av} + \text{Re}\{\Delta T_e e^{j\Omega t}\} \quad \text{수학적식(2)}$$

$$\Delta T_e = T_e - T_{av} = \text{Re}\{\Delta T_e e^{j\Omega t}\} \quad \text{수학적식(3)}$$

[0027] 상기 전기적 토크 편차(ΔT_e)는 복소평면에 하기의 수학적식과 같이 ΔT_x 와 ΔT_y 로 표현될 수 있다.

$$\Delta \bar{T} = \Delta T_x + j\Delta T_y \quad \text{수학적식(4)}$$

$$\Delta T_e = \Delta T_x \cos(\Omega t) - \Delta T_y \sin(\Omega t) \quad \text{수학적식(5)}$$

[0030] 도 6은 발전기에서 출력되는 전기적 토크와 각속도를 제1 필터에 통과시켜 진동 성분을 검출하는 과정을 나타낸 것이다. 도 6을 참조하면, 상기 발전기에서 출력되는 각속도를 적분하여 각도 형태로 만들어 제1 필터에 통과시켜 각도 편차를 구할 수 있다.

[0031] 또한, 상기 발전기에서 출력되는 전기적 토크에서 일정한 범위 이상의 주파수를 갖는 진동 성분을 검출하기 위해 발전기에서 출력되는 각속도 및 전기적 토크를 고역 통과 필터(high pass filter)와 대역 통과 필터(band pass filter)를 직렬로 연결한 제1 필터로 통과시킬 수 있다.

[0032] 상기 고역 통과 필터는 1차 또는 2차 필터일 수 있고, 밴드 패스 필터도 1차 또는 2차 필터일 수 있다.

[0033] 상기 고역 통과 필터와 대역 통과 필터는 서로 직렬로 연결함으로써 진동 성분 검출의 정확성이 더욱 높아질 수 있다. 고역 통과 필터와 대역 통과 필터 중 어느 하나만 사용하게 되면 검출되는 성분에 진동 성분($\Delta T_e e^{j\Omega t}$) 뿐만 아니라 토크 평균(T_{av}) 성분도 일부 포함될 수 있다.

[0034] 본 발명은 모델링된 전력 계통상에서 발전기와 직렬보상장치, HVDC 등과 같은 특수설비 사이에 발생하는 차동기 공진 현상 중 하나인 차동기 상호 비틀림 현상의 발생여부를 판별하기 위한 것이다. 차동기 공진 현상은 50Hz 혹은 60Hz와 같은 규정주파수 이하의 단일 혹은 복수 주파수에서 임의의 한 발전기와 이를 제외한 나머지 전력 계통이 에너지를 주고받는 상태를 의미하므로, 60Hz 이하의 주파수 영역에서 모델링된 전력계통의 발전기와 특수설비 사이에 차동기 상호 비틀림 현상이 발생하는지를 판별할 수 있다. 따라서 이러한 상기 비틀림 현상이 발생하는지는 알고자 하는 60Hz 이하 규정주파수를 상기 고역 통과 필터 및 대역 통과 필터에 입력하여 토크계수를 산정하여 판별할 수 있다.

[0035] 도 7은 검출된 진동 성분을 제2 필터 저역 통과 필터에 통과시켜 위상을 90° 변화시키는 방법을 나타낸 것이고, 도 8은 위상이 변화된 진동 성분과 위상이 변화전 진동 성분을 복소평면상에 나타내어 진동성분의 크기 및 위상을 구하는 방법을 나타낸 것이다. 도 7 및 도 8을 참조하여 설명하면, 상기 진동 성분은 상기 제1 신호에 의해 변화하는 상기 회전축의 각도 편차 및 상기 제1 신호에 의해 변화하는 상기 발전기의 전기적 토크 편차를 포함

하고, 상기 검출된 진동 성분을 복소 평면상에서 크기 및 위상을 구하기 위해 발전기에서 출력되는 전기적 토크 편차 및 각도 편차를 제2 필터인 저역 통과 필터(low pass filter)에 통과시켜 위상을 90° 변화 시킬 수 있다((S5) 단계). 상기 로우 패스 필터를 통과한 상기 전기적 토크 편차 및 각도 편차는 복소평면상 허수축에 나타낼 수 있고, 로우 패스 필터를 통과하기 전의 전기적 토크 편차 및 각도 편차는 복소평면상 실수축에 나타낼 수 있어 전기적 토크 편차 및 각도 편차의 위상 및 크기를 구할 수 있게 된다((S6) 단계).

[0036] 상기 저역 통과 필터에 입력하는 주파수도 차동기 상호 비틀림 현상이 발생하는지는 알고자 하는 60HZ 이하의 주파수를 입력한다. 상기 입력하는 주파수는 고역 통과 필터, 대역 통과 필터 및 저역 통과 필터 모두 동일한 값으로 입력한다.

[0037] ΔT_x 와 ΔT_y 는 전기적 토크 편차의 위상 및 크기를 통해 하기의 수학식으로 산정할 수 있다.

$$\angle \Delta \bar{T} = \angle \Delta T_e - \angle \Delta \delta - \frac{\pi}{2}$$

[0038] 수학식(6)

$$\Delta \bar{T} = |\Delta \bar{T}| \angle \Delta \bar{T} = \Delta T_x + j \Delta T_y$$

[0039] 수학식(7)

$$\Delta T_e = \Delta T_x \cos(\Omega t) - \Delta T_y \sin(\Omega t)$$

[0040] 수학식(8)

[0041] 산정한 ΔT_x 와 ΔT_y 를 통해 댐핑 토크 계수(D_e) 및 동기 토크 계수(K_e)를 연산할 수 있다. 상기 댐핑 토크 계수 및 동기 토크 계수는 하기의 수학식과 같이 표현될 수 있다.

$$\Delta T_e = K_e \Delta \delta_f + \frac{D_e \Delta \omega_f}{\omega_0}$$

[0042] 수학식(9)

$$\Delta \delta_f = \Delta \hat{\delta} \sin(\Omega t)$$

[0043] 수학식(10)

$$\Delta \omega_f = \Delta \hat{\delta} \Omega \cos(\Omega t)$$

[0044] 수학식(11)

[0045] 각도 편차 및 각속도 편차를 수학식(9)에 대입하면 하기의 수학식(12)과 같이 표현될 수 있다.

$$\Delta T_e = D_e \frac{\Delta \hat{\delta} \Omega \cos(\Omega t)}{\omega_0} + K_e \Delta \hat{\delta} \sin(\Omega t)$$

[0046] 수학식(12)

$$\Delta T_e = \Delta T_x \cos(\Omega t) - \Delta T_y \sin(\Omega t)$$

[0047] 수학식(13)

[0048] 댐핑 토크 계수(D_e) 및 동기 토크 계수(K_e)는 하기의 수학식(15) 및 수학식(16)으로 산정할 수 있다((S7) 단계).

$$\Delta T_x \cos(\Omega t) = D_e \frac{\Delta \hat{\delta} \Omega \cos(\Omega t)}{\omega_0}$$

[0049] 수학식(14)

$$D_e = \frac{\Delta T_x \omega_0}{\Delta \hat{\delta} \Omega}$$

[0050] 수학식(15)

$$-\Delta T_y \sin(\Omega t) = K_e \Delta \hat{\delta} \sin(\Omega t)$$

[0051] 수학식(16)

$$K_e = \frac{-\Delta T_y}{\Delta \delta}$$

[0052]

수학식(17)

[0053]

전력계통의 안정도란 주어진 초기 운전조건에서 외란발생시 평형 운전상태로 복귀하기 위한 전력계통의 능력을 의미한다. 이러한 전력계통의 안정도는 토크계수를 산정하여 그 값으로 판단할 수 있다. 상기 토크계수는 외란에 의해 평형운전상태를 벗어난 발전기의 전기적 토크의 진동을 평형운전상태 내의 전기적 토크 범위로 되돌릴

수 있는 능력이 있는지 판단할 수 있다. 상기 토크계수에는 댐핑 토크 계수(D_e) 및 동기 토크 계수(K_e)가

있고, 이 중 상기 댐핑 토크 계수(D_e)는 평형상태를 벗어나 진동하는 전기적 토크가 발산하는 것을 감쇠하여 다시 평형상태로 할 수 있는 능력이 있는지 즉, 안정도가 확보된 시스템인지 아닌지를 판단할 수 있도록 하는 계수이다.

[0054]

도 9는 제1 신호의 연속적인 주파수 변화에 따른 댐핑 토크 계수 및 동기 토크 계수 값의 변화를 그래프로 나타

낸 것이다. 연산된 댐핑 토크 계수(D_e)의 부호가 양수 또는 0인 경우, 발전기 회전축에 발생 되는 진동 성분을 감쇠시켜 초기의 평형상태로 되돌릴 수 있다는 것을 의미하고, 음수인 경우 상기 발전기 회전축에 발생 되는 진동 성분을 감쇠시킬 수 있는 능력이 없어 발산시킬 수 있는 구성이다. 도 9를 참조하면, 주파수의 변화에 따

라 댐핑 토크 계수(D_e) 및 동기 토크 계수(K_e)의 값이 변화하는데 특정한 주파수의 범위에서 상기 댐핑 토크 계수(D_e) 및 동기 토크 계수(K_e) 부호가 음수에 해당되는 언더 슈트가 발생하였으므로, 상기 특정 주파수 범위에서 발전기와 특수설비 사이에 안정도는 불안정하여 문제가 발생할 수 있다는 것을 나타낸다. 상기 특정 주파수 범위 내의 진동 성분이 유입된다면 발전기의 전기적 토크는 상기의 진동 성분을 감쇠하여 다시 평형상태로 되돌릴 수 없고 전기적 토크가 발산하게 하므로 결국 상기 발전기와 특수설비 사이에 문제가 발생할 수 있다는 것을 예측할 수 있다.

[0055]

PSCAD/EMTDC 전력계통 해석프로그램을 활용한 모의실험에서는 이산적/연속적 결과 모두 얻어낼 수 있기에 컴퓨터 성능과 저장 용량에 크게 영향을 받지 않는다. 도 10은 고속 푸리에 변환을 사용하기 위해 얻은 데이터와 본 발명을 통해 최종적으로 도출한 결과의 데이터 용량을 비교한 표이다. 고속 푸리에 변환 방법론과 본 발명의 토크계수 산정방법은 데이터의 개수 및 용량에서 확인한 차이를 확인할 수 있다. 이러한 차이는 본 발명은 토크계수 산정 과정에서 데이터 저장과 연산 단계를 줄이며, 모의실험 상에서 그 결과를 즉시 도출할 수 있어 고속 푸리에 변환 방법을 이용하여 토크계수를 산정하는 경우보다 더 쉽고 신속하게 결과를 도출할 수 있다.

[0056]

본 발명에 따른 토크계수 산정방법을 활용하면 발전기와 직렬보상장치, HVDC, 직렬캐패시터, TCSC(Thyristor Controlled Series Capacitor) 및 STATCOM(Static Synchronous Compensator) 등과 같은 특수설비 사이에 발생하는 뒤틀림 문제의 발생 가능 여부를 상기 특수설비가 전력계통에 설치되기 전에 토크계수를 산정하여 미리 판별할 수 있다.

[0057]

도 11 은 본 발명에 따른 토크계수 연산장치에 관한 것이다.

[0058]

상기 연산장치는 입력부, 연산부 및 출력부를 포함할 수 있다. 상기 연산부는 상기 (S1), (S2), (S3) 및 (S4) 단계를 포함하여 수행하고, 상기 연산부는 (S1) 각속도 및 토크를 전기적 신호로 출력하도록 모델링 된 전력계통상 발전기의 모델에서 상기 발전기에 포함된 회전축에 상기 각속도 및 발전기의 전기적 토크 중 어느 하나 이상을 변화시키는 제1 신호를 주입하는 단계; (S2) 상기 (S1) 단계에 의해 변화된 각속도 및 전기적 토크 중 어느 하나 이상을 출력하는 단계; (S3) 상기 (S2) 단계에서 상기 출력된 값을 제1 필터에 통과시켜 상기 제1 신호에 의한 진동 성분을 검출하는 단계; 및 (S4) 상기 (S3) 단계에서 검출된 상기 진동 성분을 이용하여 토크계수를 연산하는 단계;를 포함하여 수행하고, 상기 연산된 토크계수로부터 상기 전력계통의 안정도를 판단을 수행할 수 있다.

[0059]

또한, 상기 연산부는 상기 (S4) 단계에 (S5) 검출된 진동 성분을 저역 통과 필터(low pass filter)에 통과시켜 위상을 변화시키는 단계; (S6) 상기 (S3) 단계에서 검출된 진동 성분을 실수축으로 하고, 상기 (S5) 단계에서 위상을 변화시킨 진동 성분을 허수축으로 하여 크기 및 위상을 구하는 단계; (S7) 상기 (S6) 단계에서 상기 진

동 성분의 크기 및 위상을 이용하여 토크계수를 산정하는 단계;를 포함하여 수행할 수 있다.

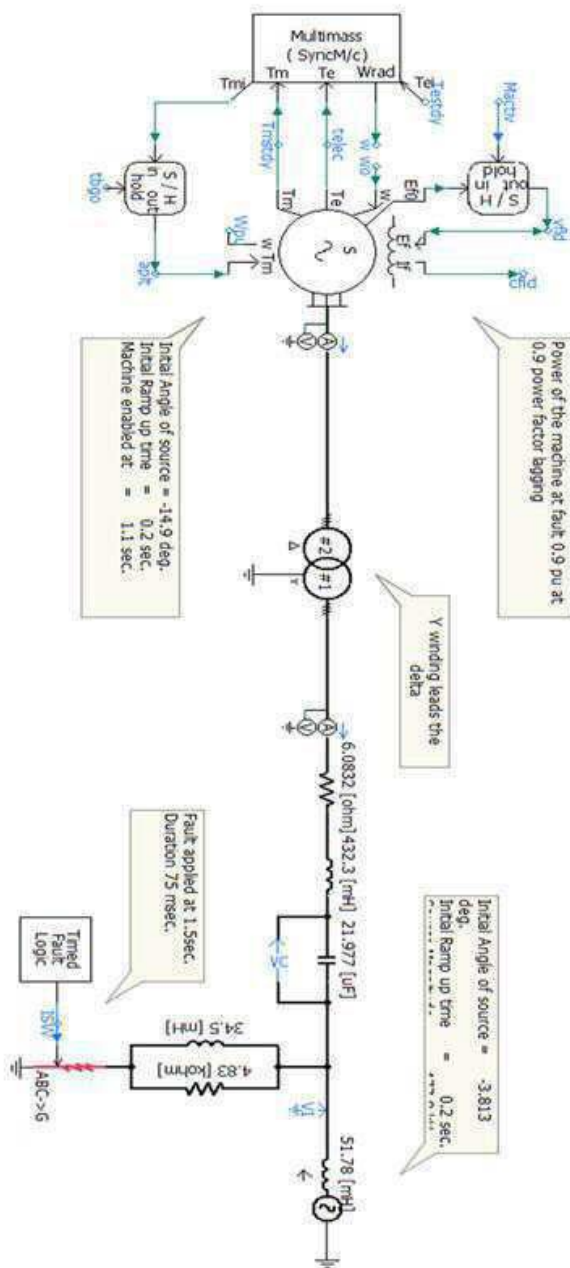
[0060] 상기 연산부는 상기 연산된 토크계수로 전력계통상 발전기와 특수설비 사이의 안정도를 판단할 수 있고, 구체적으로 산정된 댐핑토크계수의 부호가 음수이면 상기 안정도는 불안정한 시스템으로 판단하고, 부호가 0 또는 양수이면 안정한 시스템으로 판단할 수 있다. 상기 안정도는 발전기가 출력하는 전기적 토크에 포함된 진동성분을 감쇠시켜 평형상태로 되돌아갈 수 있는지를 판단할 수 있는 지표에 해당할 수 있다.

[0061] 상기 출력부는 상기 판단부에서 판단한 결과를 사용자가 알기 쉽게 디스플레이 화면상에 표시할 수 있다.

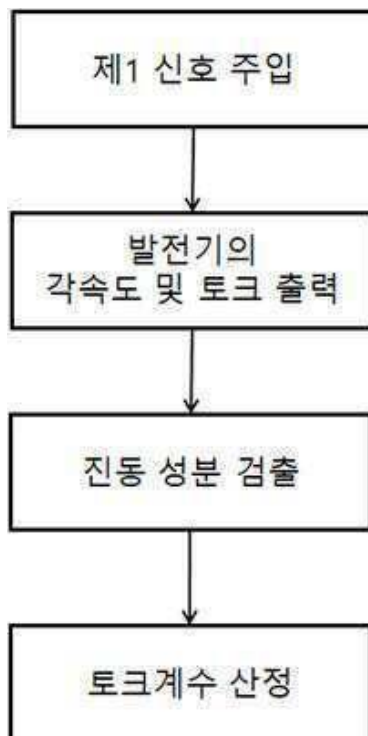
[0063] 이상 실시예를 통해 본 기술을 설명하였으나, 본 기술은 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 실시예는 본 기술의 취지 및 범위를 벗어나지 않고 수정되거나 변경될 수 있으며, 본 기술분야의 통상의 기술자는 이러한 수정과 변경도 본 기술에 속하는 것임을 알 수 있을 것이다.

도면

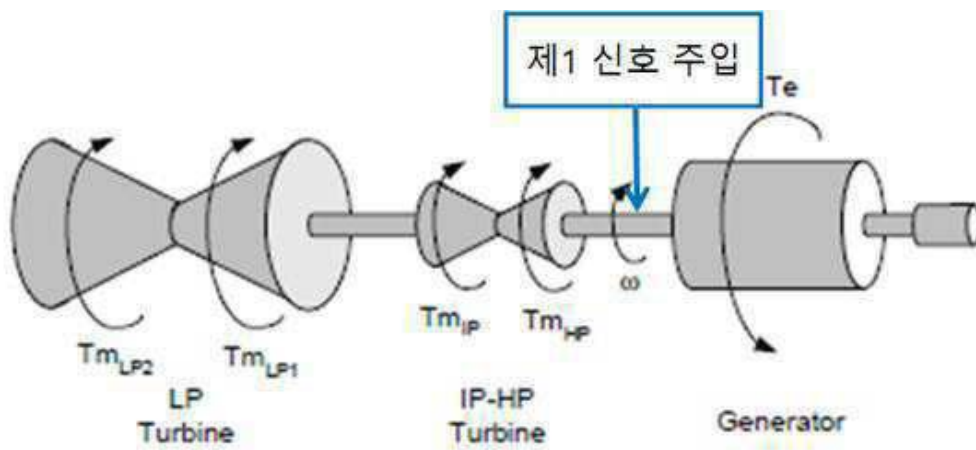
도면1



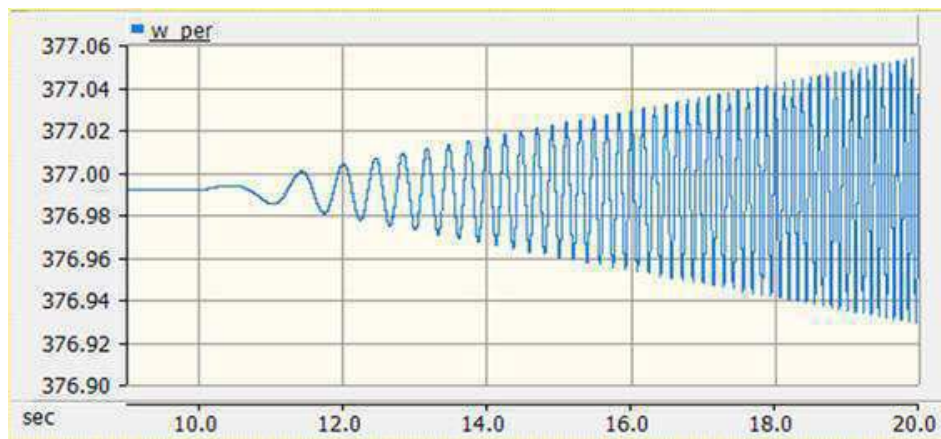
도면2



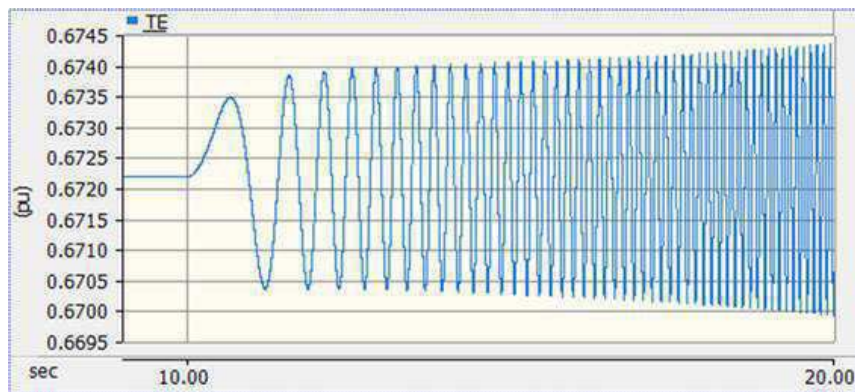
도면3



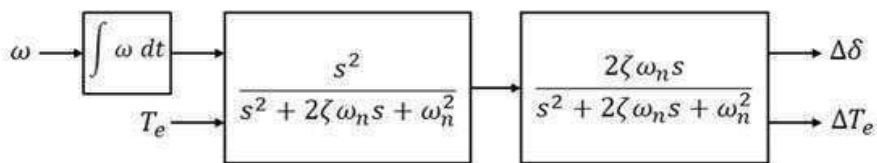
도면4



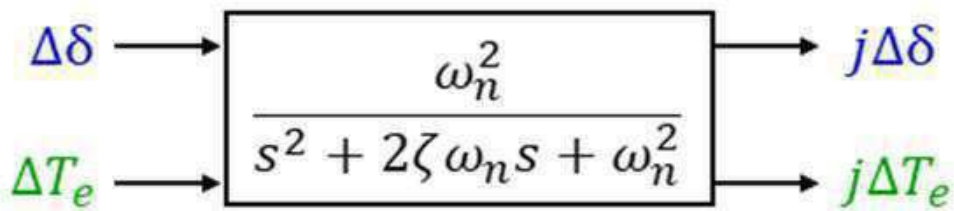
도면5



도면6



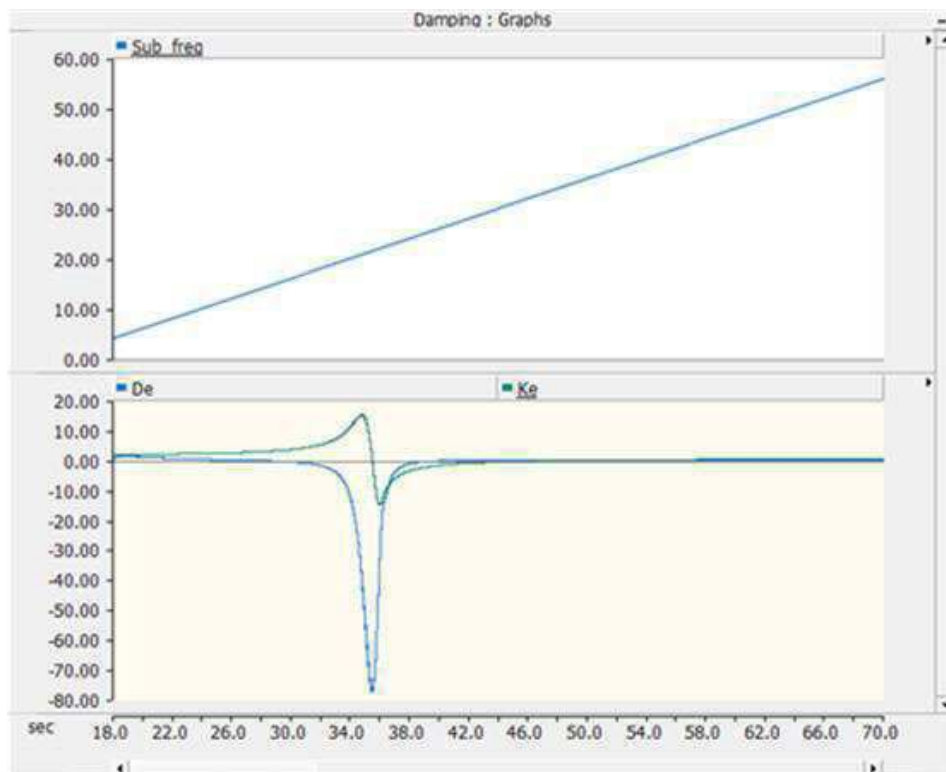
도면7



도면8



도면9



도면 10

| | | |
|--------------------------|--|---|
| 이산적 주파수 주입시 데이터 비교 | 데이터 저장 개수 | 출력 데이터 용량 (Plot time : 100u[sec], 모의실험 2초의 데이터) |
| 고속 푸리에 변환 방법론 | 최소 60개 (1Hz 씩 증가, 60Hz 기준) | 60개*1.84MB = 110.4MB |
| | 이름 크기 ... 이름 크기 fbm_data_r00001_01.out 1.895KB fbm_data_r00060_01.out 1.895KB | |
| 본 발명을 적용한 방법론 | 1개 | 9kb |
| | 2pif_test_01.out 9KB | |

도면11

