



(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(51) 。 Int. Cl.  
H02J 13/00 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2007-0037211  
(43) 공개일자 2007년04월04일

(21) 출원번호 10-2005-0092516  
(22) 출원일자 2005년09월30일  
심사청구일자 2005년09월30일

(71) 출원인 고려대학교 산학협력단  
서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내

(72) 발명자 이병준  
서울특별시 성북구 안암동5가 1번지 고려대학교 전기공학과  
한상욱  
서울특별시 성북구 안암동5가 1번지 고려대학교 전기공학과  
송화창  
전라북도 군산시 미룡동 산 68번지 군산대학교 전기공학과

(74) 대리인 김정식

전체 청구항 수 : 총 2 항

(54) 전력 계통 안정화 방법 및 상기 방법을 실행시키기 위한컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체

(57) 요약

전력 계통 전압 안정화 방법, 및 그 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체가 개시된다. 전력 계통 전압 안정화 방법은 (1) 전력 계통 안정화 시스템이 전력 계통의 데이터를 독출하는 단계, (2) 상기 전력 계통의 사고 시뮬레이션 시간 및 스텝 크기를 독출하는 단계, (3) 상기 전력 계통의 최초 시간에서의 전압값을 산출하는 단계, (4) 상기 시뮬레이션을 수행하기 위한 자코비안 행렬에 상기 자코비안 행렬이 특이점을 가지는 것을 방지하기 위한 연속 파라미터를 추가하는 단계, (5) 전력 계통 전압값이 직전 산출된 시점에서 접선 벡터를 산출하는 단계, (6) 상기 접선 벡터로부터 목적하는 전압의 추정값을 산출하는 단계, (7) 상기 추정값을 수정하여 전압 평형값을 산출하는 단계, (8) 시뮬레이션 수행 시간이 상기 독출된 시뮬레이션 시간보다 커질 때까지 상기(4)단계부터 (7)단계를 반복하는 단계, 및 (9) 상기 전압 평형값의 불안정 지점이 확인되는 경우 사고 조치 신호를 전송하는 단계를 포함한다.

대표도

도 1

특허청구의 범위

청구항 1.

(1) 전력 계통 안정화 시스템이 전력 계통의 데이터를 독출하는 단계;

- (2) 상기 전력 계통의 사고 시뮬레이션 시간 및 스텝 크기를 독출하는 단계;
- (3) 상기 전력 계통의 최초 시간에서의 전압값을 산출하는 단계;
- (4) 상기 시뮬레이션을 수행하기 위한 자코비안 행렬에 상기 자코비안 행렬이 특이점을 가지는 것을 방지하기 위한 연속 파라미터를 추가하는 단계;
- (5) 전력 계통 전압값이 직전 산출된 시점에서 접선 벡터를 산출하는 단계;
- (6) 상기 접선 벡터로부터 목적하는 전압의 추정값을 산출하는 단계;
- (7) 상기 추정값을 수정하여 전압 평형값을 산출하는 단계;
- (8) 시뮬레이션 수행 시간이 상기 독출된 시뮬레이션 시간보다 커질 때까지 상기(4)단계부터 (7)단계를 반복하는 단계; 및
- (9) 상기 전압 평형값의 불안정 지점이 확인되는 경우 사고 조치 신호를 전송하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 방법.

## 청구항 2.

제 1항의 방법을 실시하기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체.

명세서

## 발명의 상세한 설명

### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 전력 계통에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 전력 계통의 선로 전압을 안정화하기 위한 방법에 관한 것이다.

최근의 광역 대정전은 전압 무효 전력 수급 불균형에 의한 전압 불안정 문제로 발생 되고 있다. 이러한 전압 무효 전력 불안정의 문제는 과여자, 저여자 limiter, 및 ULTC(Under Load Tap Changer)와 같은 수분에서 수십분(Long-term)의 응답 특성을 갖는 전력 설비에 의해 결정된다.

그러나 지금까지 개발된 알고리즘은 수초(Transient) 이내의 응답 특성을 갖는 전력 설비만을 고려한 과도 안정도 평가를 위해 개발되었다. 또한, 수십분(Long-term)에 해당하는 영역까지 시뮬레이션하기 위해서는 더욱 긴 시간이 필요하며, 그 결과 또한 신뢰하기가 어려웠다. 따라서 기존의 알고리즘으로는 전압 무효 전력 문제에 영향을 끼치는 전력 설비의 특성을 반영하는 동특성 모의를 할 수 없었다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 개발된 알고리즘이 준동적 시모의(Quasi Steady State simulation; QSS) 알고리즘이다. 준동적 시모의 알고리즘은 수초 이내의 아주 짧은 순간(short term)의 전압 안정도가 안정할 것이라는 가정 아래에서 시뮬레이션을 수행하게 된다. 짧은 시간의 내용을 무시하는 이 알고리즘을 이용하여 상당한 시간적 이득을 볼 수 있다.

QSS는 기존의 Long-term 전압 안정도 해석 알고리즘인 Full time simulation 방식의 단점을 개선한 Long-term 전압 안정도 해석 방법 중의 하나이다. 기존의 알고리즘이 전압 안정도를 해석하는 데에 상당히 긴 시간이 걸리는 문제점을 해결하기 위하여 개발되었다.

Long-term 전압안정도를 해석하기 위해서는 상당히 많은 수식이 필요하게 된다. 이 여러 가지 식 중에서 Short-term 동특성을 반영하는 식을 간략화하는 것이 준동적 시모의의 가장 큰 특징이다.

$$\dot{x} = f(x, y, z, w) \quad \rightarrow \quad 0 = f(x, y, z, w)$$

Short-term 동특성 식을 0으로 놓는데, 이 의미는 Short-term 전압안정도는 안정할 것이라는 가정이다. Long-term을 해석한다는 것 자체가 일단, Long-term까지는 계통이 불안정을 일으키지 않아야 Long-term까지 넘어올 수 있는 것이므로, Short-term에서는 당연히 안정할 것이라는 이론이다.

또한, QSS에서는 step size를 기존의 Full-time simulation보다 크게 잡아, 좀더 빠른 속도의 시뮬레이션을 피하게 된다. 이로 인하여, 시간에 따르는 전압의 그래프는 좀더 투박해지며 딱딱해지지만, 어느 정도의 정확성과 빠른 속도를 얻을 수 있다는 장점이 있다.

하지만, QSS에도 문제점은 존재한다. 첫째로, 시간의 흐름에 따라서 전압값을 계산할 때 사용되는 '자코비안'이라는 행렬이 역행렬을 가지지 않게 되어 특이점(singular point)에 위치하게 되면, 더 이상 계산을 수행해 낼 수가 없게 된다. 이로 인하여 계통의 왜란 이후 일어나는 전압 불안정 지점을 어느 정도 예측은 할 수 있으나, 정확한 위치를 알아낼 수 없는 문제점을 가지게 된다.

둘째로, 고정된 step을 사용하기 때문에, 갑작스런 전압 변동에 둔감할 수 있으며, 계산상의 시간적 효율이 떨어지는 문제점이 있다. 이는 이 이전 알고리즘에도 가지고 있던 문제인 시뮬레이션 시간에 영향을 미쳐, 시뮬레이션 시간이 실제로 전압 불안정이 일어나는 시간보다 더 길어, 전압 불안정 지점을 미리 알아낼 수 없는 문제를 야기시키게 된다.

도 4는 Full time simulation 방식과 QSS의 시모의 그래프이다. 도 4에서 QSS에 의해 산출된 전압 값은 Full-time simulation에 의해 산출된 전압값에 비해 초기 시간에 대해서 간략화되며, 후반부는 전압값을 산출하지 못하는 결과를 확인할 수 있다.

### 발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 상기 종래의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 장기 시뮬레이션을 빠르게 수행하면서도 계통 외란 이후에 발생하는 전압 불안정 지점을 정확히 산출하여 전력 계통의 전압을 안정화할 수 있는 방법, 및 이를 실행하기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체를 제공하는 것을 목적으로 한다.

### 발명의 구성

상술한 목적을 달성하기 위해 본 발명에 따른 전력 계통 전압 안정화 방법은 (1) 전력 계통 안정화 시스템이 전력 계통의 데이터를 독출하는 단계, (2) 상기 전력 계통의 사고 시뮬레이션 시간 및 스텝 크기를 독출하는 단계, (3) 상기 전력 계통의 최초 시간에서의 전압값을 산출하는 단계, (4) 상기 시뮬레이션을 수행하기 위한 자코비안 행렬에 상기 자코비안 행렬이 특이점을 가지는 것을 방지하기 위한 연속 파라미터를 추가하는 단계, (5) 전력 계통 전압값이 직전 산출된 시점에서 접선 벡터를 산출하는 단계, (6) 상기 접선 벡터로부터 목적하는 전압의 추정값을 산출하는 단계, (7) 상기 추정값을 수정하여 전압 평형값을 산출하는 단계, (8) 시뮬레이션 수행 시간이 상기 독출된 시뮬레이션 시간보다 커질 때까지 상기(4)단계부터 (7)단계를 반복하는 단계, 및 (9) 상기 전압 평형값의 불안정 지점이 확인되는 경우 사고 조치 신호를 전송하는 단계를 포함한다.

이와 같은 구성으로, 본 발명은 종래의 준동적 시모의 알고리즘에서 문제가 되는 자코비안의 특이점(singular point)문제를 해결하여 계통의 왜란 이후 일어나는 전압 불안정 지점을 더욱 정확히 찾아낼 수 있다. 또한, 내부에서 사용되는 탄젠트(tangent)벡터를 이용하여 상황에 따라 자동으로 스텝 크기(step size)를 결정하여 더욱 효과적이고 빠른 시모의를 할 수 있다.

아울러, 상기 방법 발명을 수행하기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체의 발명이 청구된다.

이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다.

도 1은 본 발명에 따른 전력 계통 전압 안정화 방법의 일 실시예를 수행하기 위한 시스템의 개략적인 블록도이다.

도 1에는 전력 계통 전압 안정화 시스템(100)이 통신망을 통해 사용자 단말(200), 전력 계통(300), 및 자동 사고 조치 장치(400)와 연결되어 있다.

도 2는 본 발명에 따른 전력 계통 전압 안정화 방법의 일 실시예를 수행하기 위한 개략적인 흐름도이다.

먼저, 전력 계통 안정화 시스템이 전력 계통 데이터, 및 시뮬레이션 시간과 스텝 크기를 독출한다(S200, S210). 전력 계통 데이터는 전력 계통으로부터 독출하고, 시뮬레이션 시간과 스텝 크기는 사용자 단말이 입력한 내용을 독출하거나, 전력 계통 안정화 시스템에 미리 설정되어 저장된 내용을 독출한다.

이어서, 전력 계통의 선로 전압의 시뮬레이션을 수행한다. 이를 구현하기 위하여 연속법(Continuation Method)을 기존의 준동적 시모의 알고리즘에 접목했다.

연속법이란, 어떠한 전압 평형점(Equilibrium point)을 찾을 때 그 값을 직접적으로 찾는 것이 아니라, 예측과정(Predictor)과 수정 과정(Corrector)을 거쳐서 찾아내는 방식을 의미한다.

여러 가지 변수에 대하여, 현재 위치에서의 기울기를 찾아낸 후, 주어진 Step size만큼 이동시켜 예측점을 찾아내고, 예측점으로 올 때, 값이 가장 많이 변화한 변수를 고정시키고 정확한 해를 찾는 방식이다.

$$\begin{bmatrix} F_x & F_{\dot{x}} & F_y & 0 \\ I_x & I_{\dot{x}} & 0 & I_h \\ G_x & 0 & G_y & 0 \\ e_k & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx_{n+1} \\ d\dot{x}_{n+1} \\ dy_{n+1} \\ dh_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \pm 1 \end{bmatrix}$$

Augmented Jacobian

먼저, 전력 방정식을 이용하여 전압값의 최초값을 산출(S220)한 후 시뮬레이션을 진행한다. 다음으로, 연속 파라미터를 결정한다(S230). 위 식은 예측과정에서 사용되는 자코비안 행렬의 모형이다. 여기서 구하고자 하는 값은

$dx_{n+1}$ ,  $d\dot{x}_{n+1}$ ,  $dy_{n+1}$ ,  $dh_{n+1}$  이다. 여기서  $e_k$  라는 값은 연속 파라미터라고 하는데, 이값은 구하고자 하는 위의 4개의 값 중, 변동량이 가장 큰 변수의 위치만 1이 되고 나머지는 0이 되는 값을 의미한다. 예를 들어  $dy_{n+1}$ 의 변동량이 가장 크다면  $e_k$  는  $[0 \ 0 \ 1 \ 0]$  이라는 행렬이 된다.

연속 파라미터는 연속법에서 가장 중요한 역할을 해주는 변수로써, 이값을 집어넣음으로써 자코비안 행렬이 특이점(singular point)을 가지는 것을 방지할 수 있게 된다.

위 행렬을 통하여  $dx_{n+1}$ ,  $d\dot{x}_{n+1}$ ,  $dy_{n+1}$ ,  $dh_{n+1}$  값을 구한 후, 아래 식을 이용하여 접선벡터(Tangent vector)를 구하게 된다(S240).

$$T \equiv \frac{1}{\|dx_{n+1} \quad d\dot{x}_{n+1} \quad dy_{n+1} \quad dh_{n+1}\|_{\infty}} \begin{bmatrix} dx_{n+1} \\ d\dot{x}_{n+1} \\ dy_{n+1} \\ dh_{n+1} \end{bmatrix}$$

Normalization

여기서 구해진 T라는 접선벡터를 이용하여 다음 값을 예측하게 된다(S250).

$$\begin{bmatrix} x_{n+1} \\ \dot{x}_{n+1} \\ y_{n+1} \\ h_{n+1} \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} x_n \\ \dot{x}_n \\ y_n \\ h_n \end{bmatrix} + \sigma T$$

### Prediction

여기서  $\sigma$ 는 사용자가 정하게 되는 step size로써 값이 고정되긴 하지만, 실제로는 T(접선벡터)의 크기에 의하여 step size가 자동적으로 변화하는 형태가 되게 된다. 이렇게 하여 예측과정이 끝나게 된다.

이어서, 수정과정에서는 앞의 예측과정에서 구해진 값을 이용하여 정확한 지점을 찾게 된다(S260).

$$\begin{bmatrix} F_x & F_{\dot{x}} & F_y & 0 \\ I_x & I_{\dot{x}} & 0 & I_h \\ G_x & 0 & G_y & 0 \\ e_k & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_{n+1} \\ \Delta \dot{x}_{n+1} \\ \Delta y_{n+1} \\ \Delta h_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -F \\ -I \\ -G \\ 0 \end{bmatrix}$$

### Augmented Jacobian

수행 시간이 입력된 시간보다 커질 때까지(S270), 위의 과정을 반복하면서 전압 평형점을 찾아나가는 것이 연속법이라 할 수 있다.

전압 불안정 지점이 있는 경우(S280), 사고 조치 신호를 전송한다(S290). 이때의 사고 조치는 전력 부하 차단, 및 기타 조치일 수 있으며, 신호의 전송은 전력 계통 관리자 컴퓨터 또는 자동 사고 조치 장치일 수 있다.

도 3은 본 발명에 따른 전력 계통 전압 안정화 방법에서 전력 계통의 전압을 산출하는 과정을 도시한 그래프이다. 도 3에서 연속법을 사용하여 전력 계통의 전압값을 산출하는 과정이 도시되어 있다.

본 발명에 의하면 계통에 크고 작은 왜란(전력선의 단락 등)이 일어난 직후에 수행하여 수분에서 수십분 후에 계통이 정상 상태로 돌아오는지, 아니면 전압 불안정 현상을 일으키는지를 미리 알아낼 수 있게 된다.

따라서, 전압 안정도 해석을 하여 어느 지점에서든지 전압 불안정 현상이 일어나는 경우, 전력 부하 차단 등 제어 조치를 취하여 큰 경제적 손실을 일으킬 수 있는 전압 불안정 현상을 미연에 방지할 수 있다.

그러므로 본 발명은 계통 왜란 직후에 수행되는 것이 일반적일 것이다.

### 발명의 효과

본 발명에 의하면, 계통의 왜란 이후 발생하는 전압 불안정 지점을 정확히 산출할 수 있게 되고, 시뮬레이션 수행 시간도 획기적으로 단축할 수 있게 된다.

이에 따라, 계통에 크고 작은 왜란이 일어나는 경우, 왜란 발생 이후, 수분에서 수십분 후의 전압 안정도를 빠르고 정확하게 해석하여 심각한 전압 불안정 상황이 발생하기 이전에 그에 대한 조치 수단을 수행할 수 있게 된다.

본 발명이 비록 일부 바람직한 실시예에 의해 설명되었지만, 본 발명의 범위는 이에 의해 제한되어서는 아니 되고, 첨부된 특허청구범위에 의해 뒷받침되는 상기 실시예의 변형이나 개량에도 미쳐야 할 것이다.

## 도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명에 따른 전력 계통 전압 안정화 방법의 일 실시예를 수행하기 위한 시스템의 개략적인 블록도.

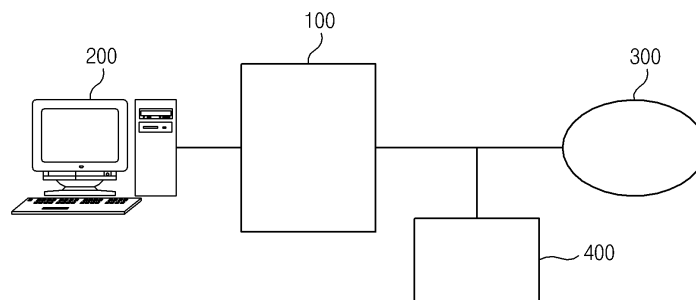
도 2는 본 발명에 따른 전력 계통 전압 안정화 방법의 일 실시예를 수행하기 위한 개략적인 흐름도.

도 3은 본 발명에 따른 전력 계통 전압 안정화 방법에서 전력 계통의 전압을 산출하는 과정을 도시한 그래프.

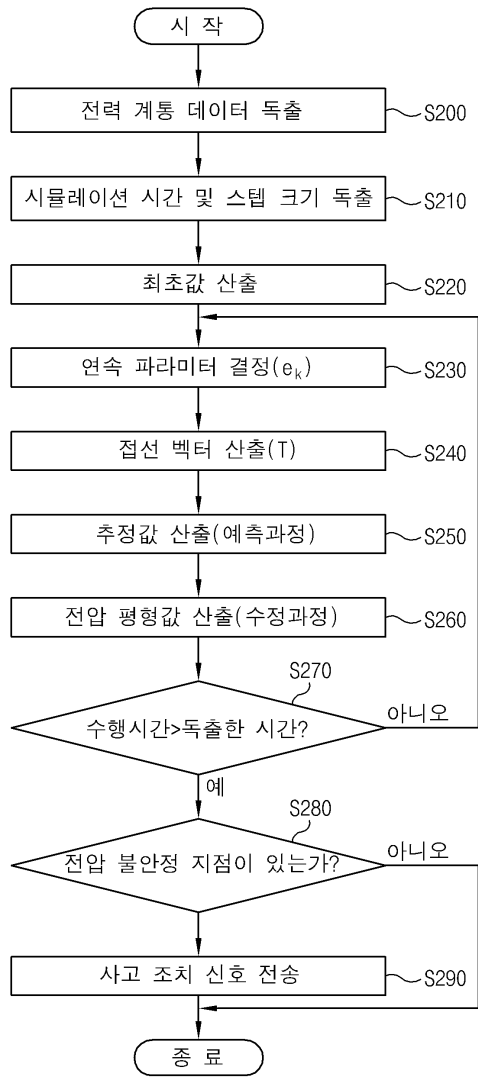
도 4는 종래의 전시간 영역 시모의 방법과 QSS에 의해 각각 산출된 전력 계통의 선로 전압이 도시된 그래프.

도면

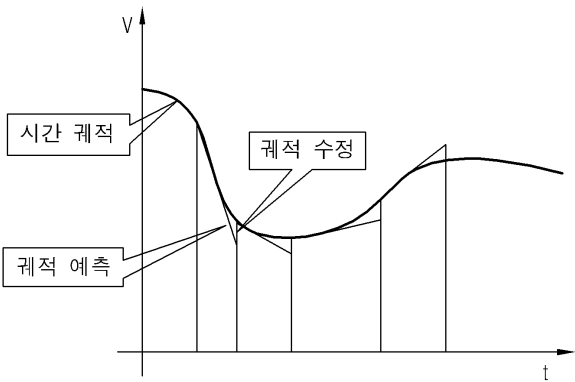
도면1



도면2



도면3



도면4

