(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0041261
(43) 공개일자 2009년04월28일

(51) Int. Cl.
H02J 13/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2007-0106875
(22) 출원일자 2007년10월23일
심사청구일자 2007년10월23일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내
(72) 발명자
이병준
서울특별시 성북구 안암동5가 1번지 고려대학교 전기공학과
강상균
서울특별시 성북구 안암동5가 1번지 고려대학교 전기공학과
서상수
서울특별시 성북구 안암동5가 1번지 고려대학교 전기공학과
(74) 대리인
김정식

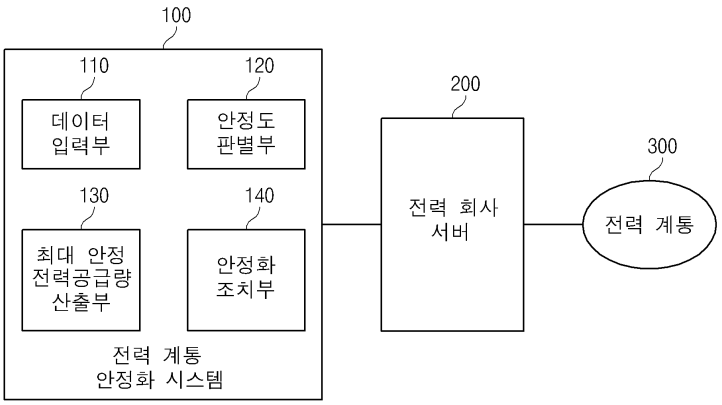
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 전력 계통 안정화 시스템, 방법, 및 상기 방법을실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한매체

(57) 요 약

전력 계통 안정화 시스템, 방법, 및 그 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램이 기록된 매체가 개시된다. 전력 계통 안정화 시스템은 데이터 입력부, 안정도 판별부, 및 최대 안정 전력 공급량 산출부를 포함한다. 데이터 입력부는 전력 계통의 데이터를 입력받고, 안정도 판별부는 연속 조류 계산을 이용하여 전력 계통 내의 소정의 발전기의 전력 공급량에 따른 전력 계통의 안정도를 판별하며, 최대 안정 전력 공급량 산출부는 전력 계통이 소정의 안정 범위에 속하는 경우에 있어서 발전기의 최대 전력 공급량인 최대 안정 전력 공급량을 산출한다. 발전기가 전력 계통의 안정을 유지하면서 생산할 수 있는 최대 전력 공급량을 산출함으로써, 발전기가 전력 계통의 불안정을 야기하지 않으면서도 큰 전력을 전력 계통에 공급할 수 있게 된다.

대 표 도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

전력 계통의 데이터를 입력받는 데이터 입력부;

연속 조류 계산을 이용하여 상기 전력 계통내의 소정의 발전기의 전력 공급량에 따른 상기 전력 계통의 안정도를 판별하는 전력 계통 안정도 판별부; 및

상기 전력 계통이 소정의 안정 범위에 속하는 경우에 있어서 상기 발전기의 최대 전력 공급량인 최대 안정 전력 공급량을 산출하는 최대 안정 전력 공급량 산출부를 포함하는 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 시스템.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 소정의 안정 범위는 파라미터화된 상기 발전기의 전력 공급량에 대응하여 연속 조류 계산의 해가 존재하는 범위인 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 시스템.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 발전기 전력 공급량의 파라미터화는 상기 발전기의 최대 전력 공급량에 '1-파라미터'를 곱하는 형식으로 수행되는 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 시스템.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 발전기를 상기 최대 안정 전력 공급량 이하로 운행하도록 하는 신호를 출력하는 안정화 조치부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 방법.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 안정화 조치부는 상기 전력 계통에 상기 발전기의 전력 공급량 감소로 인한 부족 전력을 공급하기 위한 추가 발전기를 투입하도록 하는 신호를 출력하고,

상기 추가 발전기가 투입된 이후의 상기 전력 계통에 대해,

상기 전력 안정도 판별부는 연속 조류 계산을 이용하여 상기 전력 계통내의 상기 소정의 발전기의 전력 공급량에 따른 상기 전력 계통의 안정도를 판별하며,

상기 최대 안정 전력 공급량 산출부는 상기 전력 계통이 소정의 안정 범위에 속하는 경우에 있어서 상기 소정의 발전기의 최대 전력 공급량인 최대 안정 전력 공급량을 산출하는 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 시스템.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 발전기가 상기 최대 안정 전력 공급량보다 큰 전력을 공급할 수 있도록 상기 전력 계통에 무효 전력 공급원을 투입하도록 하는 신호를 출력하는 안정화 조치부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 시스템.

청구항 7

제 6항에 있어서, 상기 무효 전력 공급원이 투입된 이후의 상기 전력 계통에 대해,

상기 전력 안정도 판별부는 연속 조류 계산을 이용하여 상기 전력 계통내의 상기 소정의 발전기의 전력 공급량에 따른 상기 전력 계통의 안정도를 판별하며,

상기 최대 안정 전력 공급량 산출부는 상기 전력 계통이 소정의 안정 범위에 속하는 경우에 있어서 상기 소정의 발전기의 최대 전력 공급량인 최대 안정 전력 공급량을 산출하는 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 시스템.

청구항 8

전력 계통 안정화 시스템이 전력 계통의 데이터를 입력받는 데이터 입력 단계;

연속 조류 계산을 이용하여 상기 전력 계통내의 소정의 발전기의 전력 공급량에 따른 상기 전력 계통의 안정도를 판별하는 전력 계통 안정도 판별 단계; 및

상기 전력 계통이 소정의 안정 범위에 속하는 경우에 있어서 상기 발전기의 최대 전력 공급량인 최대 안정 전력 공급량을 산출하는 최대 안정 전력 공급량 산출 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 방법.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 소정의 안정 범위는 파라미터화된 상기 발전기의 전력 공급량에 대응하는 연속 조류 계산의 해가 존재하는 범위인 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 발전기 전력 공급량의 파라미터화는 상기 발전기의 최대 전력 공급량에 '1-파라미터'를 곱하는 형식으로 수행되는 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 방법.

청구항 11

제 8항에 있어서,

상기 발전기를 상기 최대 안정 전력 공급량 이하로 운행하도록 하는 신호를 출력하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 방법.

청구항 12

제 11항에 있어서,

상기 전력 계통에 상기 발전기 전력 공급량의 감소로 인한 부족 전력을 공급하기 위한 추가 발전기를 투입하도록 하는 신호를 출력하는 단계; 및

상기 추가 발전기가 투입된 이후의 상기 전력 계통에 대해 상기 전력 계통 안정도 판별 단계, 및 최대 안정 전력 공급량 산출 단계를 수행하도록 하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 방법.

청구항 13

제 8항에 있어서,

상기 발전기가 상기 최대 안정 전력 공급량보다 큰 전력을 공급할 수 있도록 상기 전력 계통에 무효 전력 공급원을 투입하도록 하는 신호를 출력하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 방법.

청구항 14

제 13항에 있어서,

상기 무효 전력 공급원이 투입된 이후의 상기 전력 계통에 대해 상기 전력 계통 안정도 판별 단계, 및 최대 안정 전력 공급량 산출 단계를 수행하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 방법.

청구항 15

제 8 내지 14항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

<1> 본 발명은 전력 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 전력 시스템을 안정화하기 위한 시스템, 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

<2> 도 1은 제주 계통을 포함하는 한전의 전력 계통을 도시한 도면이다.

<3> 제주도는 전력 계통의 규모가 500MW 수준인 독립된 섬으로서, 도 1에 도시된 바와 같이, 부하의 상당량을 제주-해남간 HVDC를 통해 공급받고 있다. 그런데 HVDC를 통해 전력을 전송받기 위해서는 그에 상응하는 무효전력을 공급을 해줘야 하기 때문에, 제주도의 전력 계통 내에는 많은 양의 스위치드 커패시터(Switched Capacitor)와 동기조상기가 설치되어 있다.

<4> 과거 제주도는 제주-해남간 HVDC 연계 선로와 제주 계통 내의 소규모 발전기를 통해 주로 전력공급이 이루어졌다. 이후 제주지역 전력수요의 점진적인 부하증가에 대비하여 발전기가 보강되면서 상대적으로 규모가 큰 단위 용량 75~100MW의 대규모 발전기가 설치되었다.

<5> 그런데 제주 계통의 신뢰도 확보를 위해 다양한 상정고장(고장용량, 송전선로 상정고장, 발전기 상정고장)을 고려하는 경우 대규모 발전기 상정고장시 문제점이 발생하는 것을 발견할 수 있다. 제주-해남간 HVDC는 주파수 모드로 운전되고 있기 때문에, 제주계통의 발전기기 탈락하는 경우, 해당 발전기의 발전력에 해당하는 만큼 HVDC의 수전량이 증가하기 때문이다.

<6> HVDC는 유효전력을 전송하는 대신 계통에서 무효전력을 소모하기 때문에 탈락되는 발전기의 발전력이 크면 클수록 HVDC에서 추가적으로 소모하는 무효전력의 양이 많아진다. 따라서 만일 제주 계통 내에 충분한 무효전력 공급원이 없다면 계통은 붕괴하게 된다.

<7> 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로는 다음과 같은 방법들을 고려할 수 있다. 하나는 탈락 발전기의 발전력을 감소시켜 운전함으로써 발전기 상정고장시 HVDC로 천이(shift)되는 전력량을 감소시키는 방법이고, 다른 하나는 계통내 무효전력 공급능력을 극대화시키는 방법이다.

<8> 그런데 이 경우에도 발전기는 가능한 한 큰 전력을 전력 계통에 공급하는 것이 바람직한 데, 이는 발전기의 발전 단가는 발전기의 용량이 클수록 낮아지기 때문이다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<9> 본 발명은 상술한 종래의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 발전기 사고시에 전력 계통의 불안정을 야기하지 않으면서도, 발전기가 보다 큰 전력을 전력 계통에 공급할 수 있도록 해주는 전력 계통 안정화 시스템, 방법, 및 그 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제 해결수단

<10> 상기 종래의 목적을 달성하기 위해 본 발명에 따른 전력 계통 안정화 시스템은 데이터 입력부, 안정도 판별부, 및 최대 안정 전력 공급량 산출부를 포함한다. 데이터 입력부는 전력 계통의 데이터를 입력받고, 안정도 판별부는 연속 조류 계산을 이용하여 전력 계통내의 소정의 발전기의 전력 공급량에 따른 전력 계통의 안정도를 판별하며, 최대 안정 전력 공급량 산출부는 전력 계통이 소정의 안정 범위에 속하는 경우에 있어서 발전기의 최대 전력 공급량인 최대 안정 전력 공급량을 산출한다.

<11> 발전기가 전력 계통의 안정을 유지하면서 생산할 수 있는 최대 전력 공급량을 산출함으로써, 발전기가 전력 계통의 불안정을 야기하지 않으면서도 큰 전력을 전력 계통에 공급할 수 있게 된다.

<12> 소정의 안정 범위는 파라미터화된 발전기의 전력 공급량에 대응하여 연속 조류 계산의 해가 존재하는 범위일 수 있고, 발전기 전력 공급량의 파라미터화는 발전기의 최대 전력 공급량에 '1-파라미터'를 곱하는 형식으로 수행

되는 것일 수 있다.

<13> 또한, 전력 계통 안정화 시스템은 발전기를 최대 안정 전력 공급량 이하로 운행하도록 하는 신호를 출력하는 안정화 조치부를 더 포함할 수 있다. 이때, 안정화 조치부는 전력 계통에 발전기의 전력 공급량 감소로 인한 부족 전력을 공급하기 위한 추가 발전기를 투입하도록 하는 신호를 출력하고, 추가 발전기가 투입된 이후의 전력 계통에 대해, 전력 안정도 판별부는 연속 조류 계산을 이용하여 전력 계통내의 발전기의 전력 공급량에 따른 전력 계통의 안정도를 판별하며, 최대 안정 전력 공급량 산출부는 전력 계통이 안정 범위에 속하는 경우에 있어서 발전기의 최대 전력 공급량인 최대 안정 전력 공급량을 산출할 수 있다.

<14> 전력 계통의 안정을 위해 발전기의 공급 전력을 줄이는 경우, 부족 전력을 공급하기 위해 추가 발전기를 계통에 추가할 수 있는데, 이 경우 새로운 최대 안정 전력 공급량을 산출하여 보다 큰 발전기 전력 공급량을 공급할 수 있게 된다.

<15> 안정화 조치부는 발전기가 최대 안정 전력 공급량보다 큰 전력을 공급할 수 있도록 전력 계통에 무효 전력 공급원을 투입하도록 하는 신호를 출력할 수 있다. 이때, 추가 발전기가 투입된 이후의 전력 계통에 대해, 전력 안정도 판별부는 연속 조류 계산을 이용하여 전력 계통내의 발전기의 전력 공급량에 따른 전력 계통의 안정도를 판별하며, 최대 안정 전력 공급량 산출부는 전력 계통이 안정 범위에 속하는 경우에 있어서 발전기의 최대 전력 공급량인 최대 안정 전력 공급량을 산출할 수 있다.

<16> 전력 계통의 안정을 위해 무효 전력 공급원을 투입하는 경우, 새로운 최대 안정 전력 공급량을 산출하여 보다 큰 발전기 전력 공급량을 공급할 수 있게 된다.

<17> 아울러, 상기 시스템을 방법의 형태로 구현할 발명과, 그 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체가 청구된다.

효 과

<18> 본 발명에 의하면, 발전기가 전력 계통의 안정을 유지하면서 생산할 수 있는 최대 전력 공급량을 산출함으로써, 발전기가 전력 계통의 불안정을 야기하지 않으면서도 큰 전력을 전력 계통에 공급할 수 있게 된다.

<19> 또한, 전력 계통의 안정을 위해 발전기의 공급 전력을 줄이고 부족 전력을 공급하기 위해 추가 발전기를 계통에 추가하는 경우나, 무효 전력 공급원을 전력 계통에 투입하는 경우 새로운 최대 안정 전력 공급량을 산출하여 보다 큰 발전기 전력 공급량을 공급할 수 있게 된다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<20> 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다.

<21> 도 2는 본 발명에 따른 전력 계통 안정화 시스템의 일 실시예의 개략적인 블록도이다.

<22> 도 2에서, 전력 계통 안정화 시스템(100)은 전력회사 서버(200)와 연결되어 있으며, 전력회사 서버(200)는 다시 전력 계통(300)과 연결되어 있다.

<23> 전력 계통 안정화 시스템(100)은 데이터 입력부(110), 안정도 판별부(120), 최대 안정 전력 공급량 산출부(130), 및 안정화 조치부(140)를 포함한다.

<24> 데이터 입력부(110)는 전력 회사 서버(200)를 통해 전력 계통(300)의 데이터를 입력받고, 안정도 판별부(120)는 연속 조류 계산을 이용하여 전력 계통(300) 내의 설정된 발전기의 전력 공급량에 따른 전력 계통(300)의 안정도를 판별한다.

<25> 최대 안정 전력 공급량 산출부(130)는 전력 계통이 소정의 안정 범위에 속하는 경우에 있어서 발전기의 최대 전력 공급량인 최대 안정 전력 공급량을 산출한다.

<26> 소정의 안정 범위는 발전기에 사고가 발생하는 경우에도 전력 계통이 불안정해지지 않는 범위로서 전력 계통 안정화 시스템(100)에 미리 설정된다.

<27> 소정의 안정 범위는 파라미터화된 발전기의 전력 공급량에 대응하여 연속 조류 계산의 해가 존재하는 범위로서, 발전기 전력 공급량의 파라미터화는 발전기의 최대 전력 공급량에 '1-파라미터'를 곱하는 형식으로 수행될 수 있다.

<28> 이와 같이, 발전기가 전력 계통의 안정을 유지하면서 생산할 수 있는 최대 전력 공급량을 산출함으로써, 발전기가 전력 계통의 불안정을 야기하지 않으면서도 큰 전력을 전력 계통에 공급할 수 있게 된다.

<29> 안정화 조치부(140)는 발전기를 최대 안정 전력 공급량 이하로 운행하도록 하는 신호를 출력할 수 있다. 신호는 전력 계통을 직접 제어하는 자동 제어 시스템, 또는 전력 계통을 직접 운영하는 관리자의 컴퓨터로 출력될 수도 있다.

<30> 일반적으로, 대규모의 전력 계통에서는 일부 발전기의 출력을 감소시키는 경우에도 전체 계통에 전력 부족이 발생하지 않으나, 소규모의 전력 계통에서는 일부 발전기의 출력 감소를 보상해 줄 추가 전력 공급원이 필요할 수 있다.

<31> 이 경우 안정화 조치부(140)는 전력 계통에 발전기의 전력 공급량 감소로 인한 부족 전력을 공급하기 위한 추가 발전기를 투입하도록 하는 신호를 출력할 수 있다.

<32> 발전기가 추가로 투입되는 경우 추가된 발전기는 유효 전력과 무효 전력을 함께 전력 계통에 공급하므로, 출력이 감소되는 발전기의 최대 안정 전력 공급량이 변하게 된다.

<33> 이 경우, 추가 발전기가 투입된 이후의 전력 계통에 대해, 전력 안정도 판별부(120)는 연속 조류 계산을 이용하여 전력 계통내의 발전기의 전력 공급량에 따른 전력 계통의 안정도를 판별하며, 최대 안정 전력 공급량 산출부(130)는 전력 계통(300)이 안정 범위에 속하는 경우에 있어서 발전기의 최대 전력 공급량인 최대 안정 전력 공급량을 산출하여 추가 발전기가 투입된 전력 계통에 대해 발전기의 최대 안정 전력 공급량을 산출한다.

<34> 또한, 전력 계통의 안정화는 전력 계통에 무효 전력 공급원을 공급함으로써도 수행될 수 있으며, 이때 안정화 조치부(140)는 발전기가 최대 안정 전력 공급량보다 큰 전력을 공급할 수 있도록 전력 계통(300)에 무효 전력 공급원을 투입하도록 하는 신호를 출력할 수 있다.

<35> 이 경우, 무효 전력 공급원이 투입된 이후의 전력 계통에 대해, 전력 안정도 판별부(120)는 연속 조류 계산을 이용하여 전력 계통내의 발전기의 전력 공급량에 따른 전력 계통의 안정도를 판별하며, 최대 안정 전력 공급량 산출부(130)는 전력 계통이 안정 범위에 속하는 경우에 있어서 발전기의 최대 전력 공급량인 최대 안정 전력 공급량을 산출할 수 있다.

<36> 전력 계통의 안정을 위해 무효 전력 공급원을 투입하는 경우, 새로운 최대 안정 전력 공급량을 산출하여 보다 큰 발전기 전력 공급량을 공급할 수 있게 된다.

<37> 이하, 제주도의 전력 계통의 예를 들어 상기 실시예를 보다 구체적으로 설명한다.

<38> 제주계통은 지속적인 부하증가가 고려되어 대용량의 발전기가 설치되었다. 제주-해남간 HVDC는 주파수모드로 운전하기 때문에, 대용량의 발전기가 탈락하는 경우 탈락되는 유효전력량만큼 HVDC에서 추가적으로 전송하게 된다.

<39> 전류형 HVDC는 유효전력을 전송시키기 위해서 계통에서 무효전력을 공급받아야 한다. 탈락하는 발전기의 유효전력 발전량이 많으면 많을수록 계통에서 공급받아야 하는 무효전력량이 많아진다. 실질적으로 상정고장 검토시 제주도의 대용량 발전기의 탈락은 제주 계통의 안정도 유지에 심각한 문제를 초래할 수 있다. 따라서 대용량 발전기의 유효전력 출력은 안전도 유지를 위해서 제한된다.

<40> 본 발명에서는 제한된 발전기 최대 유효전력 출력값을 계산하기 위한 새로운 해석 방법과 한전 운영 기준전압을 벗어나지 않는 범위 내에서 기존에 설치되어 있는 스위치드 커패시터(switched Capacitor)를 투입함으로써 상대적으로 값이 싼 대용량 발전기의 발전량을 극대화시키는 방안에 대해서 설명한다.

<41> 우선적으로 발전기의 발전력을 감소시켜 운전하는 방법에 대해서 설명하고 이후 기준 운전전압 한도 내에서 제주 계통 내에 이미 설치되어 있는 스위치드 커패시터를 추가적으로 투입함으로써 안전도 제약 때문에 더 이상 발전을 할 수 없는 제주 계통내의 발전기의 유효전력 양을 증가시킬 수 있는 방법을 설명한다.

<42> 제주 계통의 신뢰도 확보를 위한 다양한 상정고장 검토시 발전기 상정고장시 문제점이 발생하기 때문에 여기에서는 제주 계통에서 발전기 상정고장시 문제점 해결을 위한 방법에 대해서 설명한다. 추가적인 무효전력원을 투입하지 않고 계통을 안정적으로 운전하기 위해서 발전기의 발전력을 감소시켜 한다.

<43> 먼저, 발전기 상정고장 이후 해가 수렴하기 위해서 발전력을 얼마만큼 감소시켜야 할 것인가를 결정하기 위한 방법에 대해서 설명한다. 기존의 계통 해석 방법은 상정고장에 대하여 조류계산을 수행하고 조류계산 해의 존재

여부로 안정성을 판단하였고, 해가 존재하지 않는 경우 계통의 문제가 되는 직접적, 간접적 원인을 파악하기 어렵다는 단점이 있었다.

<44> 본 발명에서는 발전기 출력(PG)을 파라미터화하여 연속 조류(Continuation Power Flow; CPF)를 적용하였다. 연속 조류 방법은 조류계산이 수렴하지 않는 경우에도 해가 최대한 존재하는 지점을 찾을 수 있으며, 해가 붕괴하는 시점에서의 정보를 분석함으로써 계통에 문제가 되는 원인 및 대책방안을 강구할 수 있다는 장점이 있다.

<45> 발전기 상정고장의 경우 계통에 스트레스(stress)를 주는 원인은 해당 발전기의 유효전력 및 무효전력 공급능력의 상실이라고 생각할 수 있다. 따라서 해당 발전기의 발전력을 파라미터(λ)화 하고 λ가 변함에 따라 계통의 상태 변화를 분석하였다. λ가 0이라는 것은 사고이전의 계통상태를 나타내고, λ가 1이라는 것은 상정고장 이후의 상태를 나타낸다.

<46> 따라서 발전기 상정고장 검토시 λ가 1보다 큰 경우에 해가 존재한다면 상정고장 이후에도 해가 존재하기 때문에 계통이 안정하다고 판단할 수 있고, 만일 λ가 1보다 작은 경우에 전압 불안정점이 존재한다면 계통이 불안정하다고 판단할 수 있다. 이 경우 전압 불안정점이 어디에 위치하는가에 따라 해를 수렴시키기 위한 발전기 출력 제한 값을 찾을 수 있고, 또한 전압 불안정점에서의 참여인수의 정보를 통해 계통에 문제가 되는 원인 및 대책 방안을 생각할 수 있을 것이다.

<47> 연속 조류 계산의 적용을 위해서는 발전기 탈락으로 인하여 계통에서 변화하는 구성요소를 λ에 대하여 정형화할 필요가 있다. 발전기가 탈락 하는 순간 해당 발전기의 유효전력값은 P_{G0}에서 0이 되고, 무효전력 공급능력은 Q_{GMAX}에서 0이 된다. 또한, 발전기 탈락에 따른 유효전력의 부족분은 주파수 모드로 동작하는 HVDC에서 감당하게 될 것이다. 전류형 HVDC 특성상 유효전력 전송량의 증가에 비례하여 HVDC 모선에서의 무효전력의 소모량이 증가할 것이다. 따라서 HVDC와 탈락 발전기의 P, Q 값을 λ에 대한 식으로 모델링하는 절차가 필요하다.

<48> 고장 발전기의 P값을 λ에 대하여 표현하면 식 (1)과 같다. 사고이전 λ가 0인 경우 $P_G=P_{G0}$이고, 사고 이후 λ가 1인 경우 $P_G=0$이 된다. 발전기는 계통에 유효전력을 공급할 뿐만 아니라, 계통의 모선전압을 일정하게 유지시켜 주기 위하여 무효전력을 공급해주는 순동 무효전력원의 역할을 수행한다. 이때, 순동 무효전력원의 용량은 Q_{GMAX}와 Q_{GMIN}에 의해 결정된다. 따라서 발전기의 무효전력 limit은 식 (2), (3)으로 정형화할 수 있다.

<49> $$P_G=(1-\lambda)\times P_{G0} \quad (1)$$

<50> $$Q_{Gmax}=(1-\lambda)\times Q_{Gmax0} \quad (2)$$

<51> $$Q_{Gmin}=(1-\lambda)\times Q_{Gmin0} \quad (3)$$

<52> 제주에 설치되어 있는 HVDC는 주파수 모드로 운전하기 때문에 사고 발전기의 유효전력(λ)의 감소만큼 HVDC의 유효전력 전송량은 증가할 것이다.

<53> 도 3은 제주 C/S PQVF 동작을 도시한 도면이다.

<54> 도 3은 제주계통에서 HVDC #2 pole이 고장났을 때, #1 pole에서의 P, Q 및 Q/P(P와 Q의 비율)의 실측값을 보여준다. Pole이 transfer되는 동안의 Q/P값은 일정한 값을 갖지 않지만 pole이 transfer되기 이전이나 이후의 정상상태에서는 68~70%로 거의 항상 일정함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 제주도-해남간 HVDC를 통해 유효전력을 전송시키기 위해서 전송하는 유효전력량의 70%에 해당하는 무효전력이 필요하다고 가정하였다.

<55> 발전기에서 감소되는 발전량만큼 HVDC를 통해 전송되는 유효전력량(P_{HVDC})은 증가하고(4), HVDC에서 소모하는 무효전력량(Q_{HVDC})은 P_{HVDC}의 70% 정도이다(5).

<56> $$P_{HVDC}=-(P_{HVDC0}+\lambda P_G) \quad (4)$$

<57> $$Q_{HVDC}=0.7\times P_{HVDC} \quad (5)$$

<58> $$Z_{_HVDC}=P_{HVDC}+jQ_{HVDC} \quad (6)$$

<59> 도 4는 HVDC를 모델링한 도면이다.

<60> 도 4에서 HVDC를 유효전력은 공급해주고 무효전력은 소모하는 부하로 모델링 하였다. 사고 발전기의 유효전력

값 P_G가 사고전 P_{G0}에서 사고후 만일 정전력 부하모델을 사용하지 않는다면 전압의 변화에 따라 전송되는 유효전력의 양이 변화하기 때문에 HVDC를 부하로 모델링하는 것은 적절하지 않다. 이 경우에는 HVDC를 발전기로 모델링하면 문제점을 해결할 수 있다.

<61> 도 5, 및 6은 g-V 상정고장 해석 결과를 도시한 그래프이다.

<62> 도 5는 는 37번 발전기에 대해 g-V 해석방법을 이용하여 제주계통에서 발전기 상정고장을 검토하였다. 37번 발전기(P_{G0}=57MW)가 탈락하는 경우 λ가 1인 경우 해가 존재하기 때문에 안정하다고 판단할 수 있다.

<63> 이와 달리, 47번 발전기에 대한 도 6에서는 47번 발전기(P_{G0}=95MW) 탈락시 λ가 1인 경우 해가 존재하지 않는다. 이와 같이, 발전기 탈락시 불안정한 경우 계통의 안정화를 위해서 다음 두 가지 방법을 생각할 수 있다.

<64> 하나는 해당 발전기의 출력값(P_{G0})을 감소시켜 사고의 정도(λ)를 줄이는 방법이고, 다른 하나는 무효전력원을 계통에 투입하여 g-V curve가 오른쪽으로 천이(shift)하여 λ가 1인 경우에도 해가 존재하도록 하는 방법이다. 대용량 발전기의 발전 단가는 상대적으로 값이 싸기 때문에 P_G가 크면 클수록 경제적이다.

<65> 본 실시예에서는 기존에 설치되어 있는 설비를 최대한 이용하여 안정도 조건을 만족시키기 위해, 발전기 출력을 감소시키는 방법을 이용하여 안정도 조건을 만족시키기 위한 발전기의 새로운 최대 유효전력 출력값(P_{Gmax}^*)을 찾고 상시운전 허용전압을 만족시키는 범위내에서 계통의 스위치드 커패시터(S.C)를 추가적으로 투입하여 P_{Gmax}^*를 보다 증가시켰다.

<66> g-V 해석에서 사고가 λ_{max} 만큼 진행되는 동안까지는 해가 존재하기 때문에 발전기의 새로운 최대 출력값은 (7)이라고 판단할 수 있다.

<67> $$P_{Gmax}^* = \lambda \times P_{Gmax0} \qquad (7)$$

<68> 따라서, 95MW로 운전하던 발전기의 용량은 계통의 안전도 유지를 위해서는 약 70MW(95×0.73)로 운전해야 한다. 안전도 제약으로 위험 발전기를 70MW로 운전하는 경우 부족한 유효전력은 제주 계통내의 다른 발전기들이 공급해야 한다.

<69> 이미 켜진 발전기로 부족한 유효전력을 공급할 수 없는 경우, 새로운 발전기를 켜야 한다. 새로 기동시키는 발전기는 경제적인 운영을 위해서 발전단가로 결정된다. 만일 새로운 발전기가 켜지는 경우 계통에 새로운 무효전력 공급원이 동시에 생기기 때문에 P_{Gmax}^*값은 예상값(7)보다 증가할 것이다.

<70> 실제 시뮬레이션에서는 유효전력 보상을 위해 새로운 발전기(2기)를 투입한다. 도 7은 새로운 발전기 기동후 g-V 해석을 도시한 그래프이다. 도 7에서 새로운 발전기 투입으로 계통의 무효전력 공급능력이 증가하고 그 결과 P_{Gmax}^*이 예상값보다 크게 됨을 확인할 수 있다.

<71> 도 8, 및 9는 새로운 발전기 "on" 이후 g-V해석 결과를 도시한 그래프이다.

<72> 도 8에서 확인할 수 있는 바와 같이, 새로운 P_{Gmax}^*를 구하기 위해서 발전력이 재분배된 계통에 대하여 g-V 해석을 한다. (7)을 이용하여 계산된 새로운 P_{Gmax}^*는 78MW(0.82×95MW)이고 이를 적용한 결과는 도 9에 도시되어 있다. 계통의 안정도를 유지하면서 출력할 수 있는 최대 P_{Gmax}^*값은 78MW라고 판단할 수 있다.

<73> 도 10은 한국전력의 전력 계통 운영 기준표이다.

<74> 전력계통 운영기준 한도 내에서 제주 계통 내에 투입할 수 있는 S.C를 투입하여 P_{GMAX}^*을 증가하였다. 전압불안정 점에서의 참여인수가 가장 큰 모선에 설치되어있는 S.C를 우선순위로 투입한다. 계통운영기준전압을 만족시키는 범위내에서 2개의 S.C(5MVar×2)를 투입할 수 있었고, 이를 투입하여 g-V를 해석한 결과는 도 11과 같다.

<75> 도 11은 S.C 투입 후 g-V 해석(P_{G0}=95MW)을 도시한 그래프이다. 도 11에서 확인할 수 있는 바와 같이, 피크부하

시 S.C를 투입하여 부하모선의 전압을 약간 높게(160kV 이내) 운전하는 경우 P_{Gmax}^{*}를 85MW까지 증가시킬 수 있다.

<76> 제주도의 전력 계통에서는 부하수요 증가에 대비하여 효율적인 대규모의 발전기를 설치하였으나, 발전기 상정고장시 안전도 제약으로 인하여 발전기 출력에 제약이 걸리는 현상이 발견되었다. 본 발명에서는 이런 문제를 분석하기 위해서 발전기의 유효전력을 파라미터화 하는 g-V해석을 도입하였다.

<77> 계통의 안전도 유지를 위해서는 크게 대규모 발전기의 유효전력출력을 감소시키는 방법과 무효전력 설비를 투입하는 방법을 사용한다. 이를 위해서 발전기의 유효전력 출력을 감소시키는 방법을 우선적으로 이용했으며 g-V해석 방법을 이용하여 P_{Gmax}^{*}를 계산하였다. 또한, 전력계통 운영기준을 만족시키는 범위내에서 S.C를 추가적으로 turn-on함으로써 P_{Gmax}^{*}를 증가시킬 수 있다.

<78> 본 발명이 비록 일부 바람직한 실시예에 의해 설명되었지만, 본 발명의 범위는 이에 의해 제한되어서는 아니 되고, 특허청구범위에 의해 뒷받침되는 상기 실시예의 변형이나 개량에도 미쳐야 할 것이다.

도면의 간단한 설명

<79> 도 1은 제주 계통을 포함하는 한전의 전력 계통을 도시한 도면.

<80> 도 2는 본 발명에 따른 전력 계통 안정화 시스템의 일 실시예의 개략적인 블록도.

<81> 도 3은 제주 C/S PQVF 동작을 도시한 도면.

<82> 도 4는 HVDC를 모델링한 도면.

<83> 도 5, 및 6은 각각 37번, 47번 발전기의 g-V 상정고장 해석 결과를 도시한 그래프이다(P_{G0}=57MW, P_{G0}=95MW).

<84> 도 7은 새로운 발전기 기동후 g-V 해석을 도시한 그래프(P_{G0}=70MW).

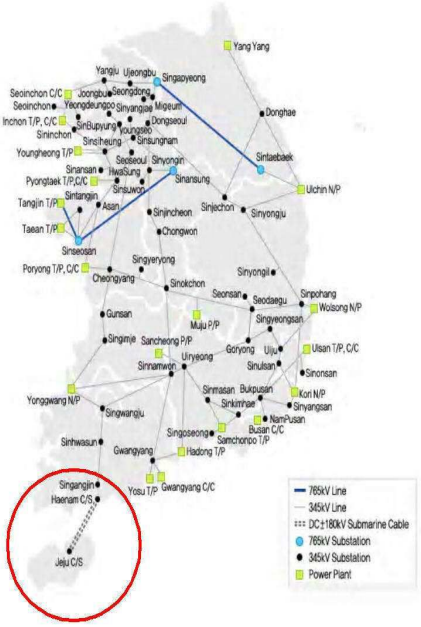
<85> 도 8, 및 9는 새로운 발전기 기동후 g-V해석 결과를 도시한 그래프(P_{G0}=95MW, P_{G0}=78MW).

<86> 도 10은 한국전력의 전력 계통 운영 기준표.

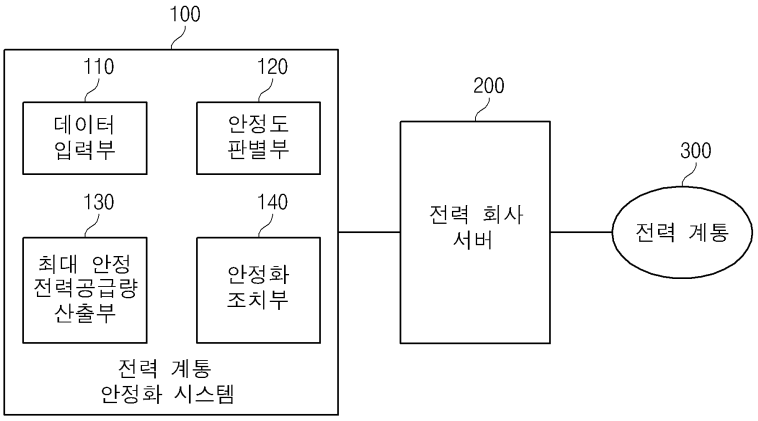
<87> 도 11은 S.C 투입후 g-V 해석 결과를 도시한 그래프(P_{G0}=95MW).

도면

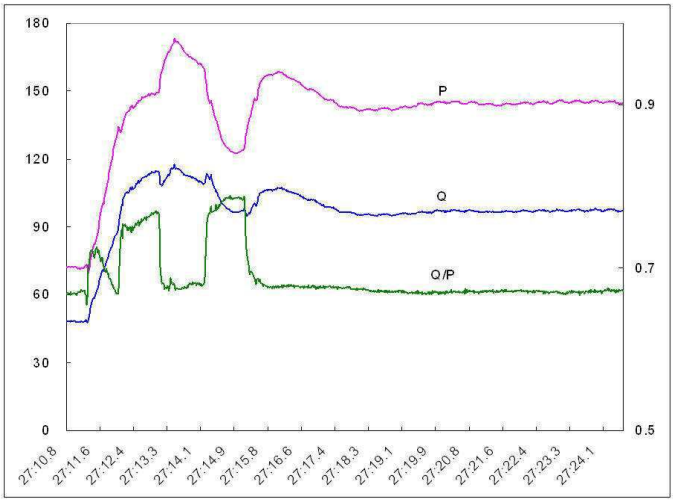
도면1


Yang Yang
Yangju
Ujeongbu
Singapyeong
Seoinchon C/C
Joongbu
Seongdong
Seoinchon
Yeongdeungpo
Sinyangjae
Migeum
Donghae
Inchon T/P, C/C
SinBupyung
Dongseoul
Sininchon
Youngdong
Sinsiheung
Sinsungnam
Youngheung T/P
Seoseoul
Sinyongin
Sintaebaek
Sinansan
HwaSung
Pyongtaek T/P,C/C
Sinsuwon
Sinansung
Ulchin N/P
Sintangjin
Tangjin T/P
Asan
Sinjincheon
Sinjechon
Sinyongju
Taean T/P
Chongwon
Sinseosan
Singyeryong
Poryong T/P, C/C
Cheongyang
Sinyongil
Sinokchon
Seonsan
Seodaegu
Sinpohang
Wolsong N/P
Gunsan
Singyeongsan
Muju P/P
Singimje
Sancheong P/P
Goryong
Uiryeong
Ulju
Usan T/P, C/C
Sinnamwon
Sinulsan
Sinonsan
Sinmasan
Bukpusan
Kori N/P
Yonggwang N/P
Sinkimhae
Sinyangsan
Singwangju
NamPusan
Singoseong
Busan C/C
Samchonpo T/P
Sinhwasun
Gwangyang
Hadong T/P
Singangjin
Haenam C/S
Yosu T/P
Gwangyang C/C
Jeju C/S
765kV Line
345kV Line
DC±180kV Submarine Cable
765kV Substation
345kV Substation
Power Plant

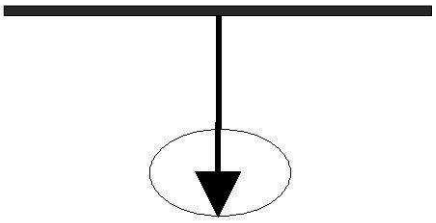
도면2


100
110
데이터
입력부
120
안정도
판별부
130
최대 안정
전력공급량
산출부
140
안정화
조치부
전력 계통
안정화 시스템
200
전력 회사
서버
300
전력 계통

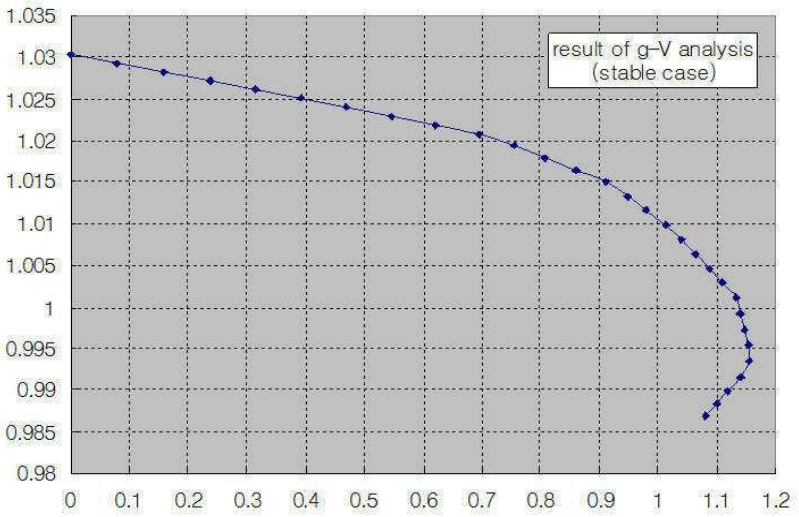
도면3


180
150
120
90
60
30
0
0.9
0.7
0.5
P
Q
Q/P
27.10.8
27.11.6
27.12.4
27.13.3
27.14.1
27.14.9
27.15.8
27.16.6
27.17.4
27.18.3
27.19.1
27.19.9
27.20.8
27.21.6
27.22.4
27.23.3
27.24.1

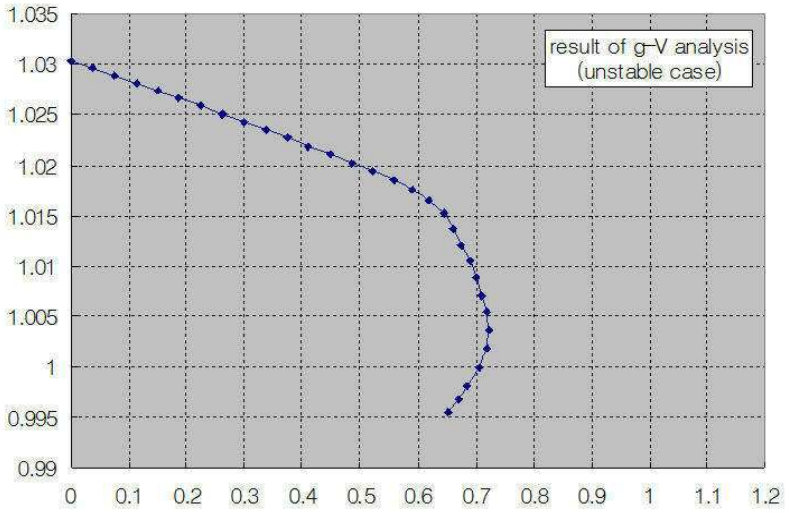
도면4



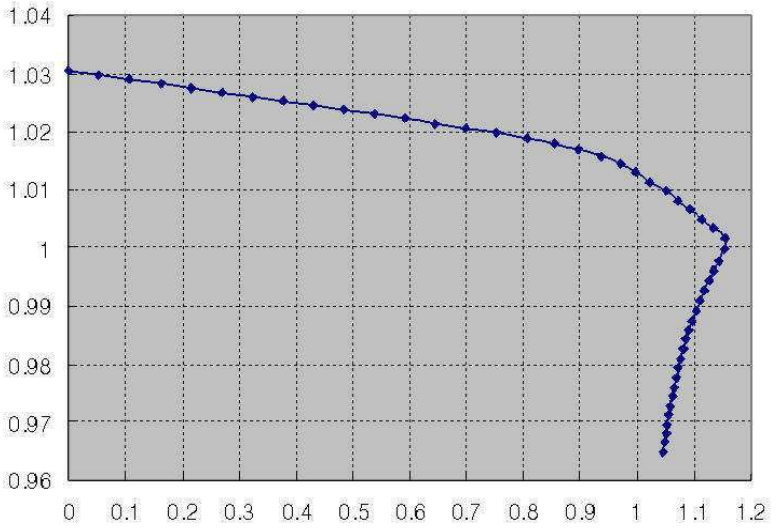
도면5


result of g-V analysis
(stable case)
1.035
1.03
1.025
1.02
1.015
1.01
1.005
1
0.995
0.99
0.985
0.98
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2

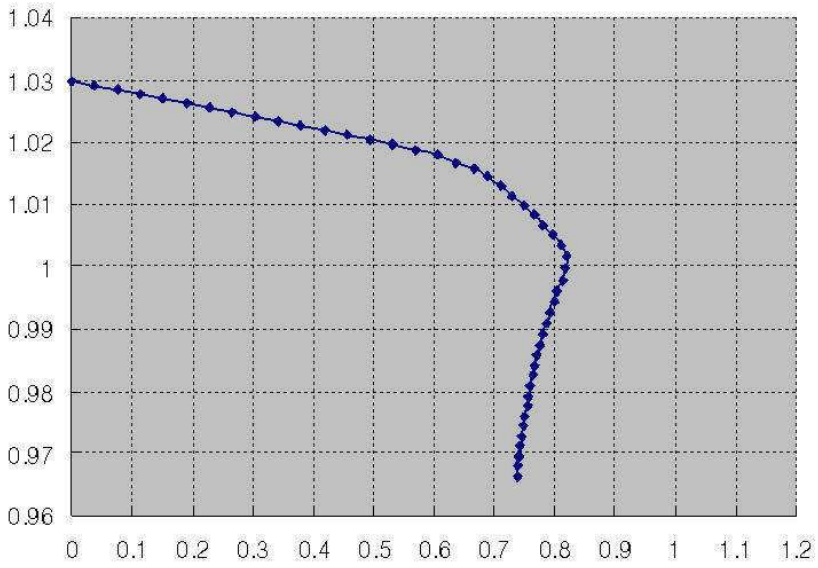
도면6


result of g-V analysis
(unstable case)
1.035
1.03
1.025
1.02
1.015
1.01
1.005
1
0.995
0.99
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2

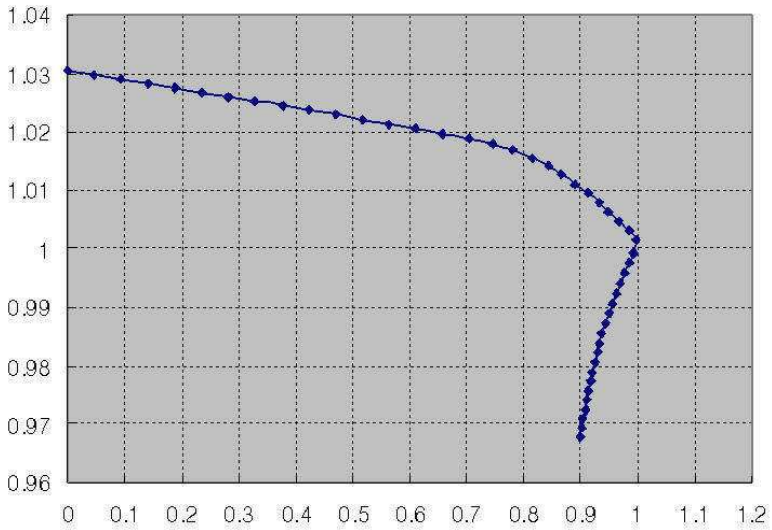
도면7


1.04
1.03
1.02
1.01
1
0.99
0.98
0.97
0.96
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2

도면8



도면9



도면10

현 재	변경 후	비 고
156 ±4kV	160 ±4kV	중부하시
	157 ±4kV	부하변동시
	156 ±4kV	경부하시

도면11

