



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년08월18일
(11) 등록번호 10-1544719
(24) 등록일자 2015년08월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01R 31/34 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0153280

(22) 출원일자 2013년12월10일

심사청구일자 2013년12월10일

(65) 공개번호 10-2015-0067614

(43) 공개일자 2015년06월18일

(56) 선행기술조사문헌

JP10143235 A

JP2011115024 A

KR1020030035275 A

JP2002034156 A

(73) 특허권자

한국전기연구원

경상남도 창원시 성산구 불모산로10번길 12 (성주동)

(72) 발명자

김석주

서울특별시 서초구 바우피로 91 우성아파트 109동 302호

김동준

경기 안양시 동안구 귀인로 208, 103동 1704호 (평촌동, 귀인마을현대홈타운)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인충정

전체 청구항 수 : 총 4 항

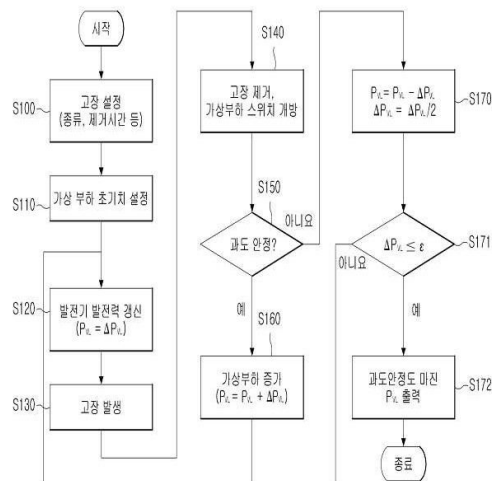
심사관 : 박근용

(54) 발명의 명칭 **발전기 과도안정도 마진 산출 방법**

(57) 요약

본 발명은 발전기(또는 발전단지)에 연계된 전력계통에 송전선로의 고장 탈락과 같은 중대한 외란이 발생했을 때 전력계통이 과도적으로 안정하기 위한 안정도 마진(margin, 여유도)을 시간영역 해석을 통하여 산출하는 방법에 관한 것으로서, 전력계통에 큰 외란이 발생하는 경우 시간영역 해석을 통한 발전기(또는 발전단지)의 과도 안정도 마진을 정량적으로 산출하는 방법에 관한 것이다.

대표도



(72) 발명자

김태현

서울특별시 서초구 방배로 239 현대템피스아파트
102동 1502호

문영환

경기도 안양시 동안구 호계동 흥안대로 223번길 47
샘마을한양아파트 115동 1106호

서상수

서울특별시 중구 정동길 21-31 상림원 A동 204호

명세서

청구범위

청구항 1

발전단지의 발전기가 모선에 연결되고 모선에 연결된 전력계통의 송전선으로 전력을 공급하는 시스템에서 발전기 과도안정도 마진 산출 방법에 있어서,

- (A) 상기 모선에 연결되는 가상부하에 대한 증가분을 설정하여 발전기 발전력을 갱신하는 단계;
- (B) 미리 설정된 고장 종류와 제거 시간에 따라 상기 송전선에 고장을 발생시키고 고장을 제거하며 상기 모선과 상기 가상부하 사이에 연결된 스위치를 개방하여 상기 발전기 발전력에 따른 상기 송전선에서의 전압이나 전류의 시간 영역 해석을 통하여 과도적 안정 여부를 판단하는 단계; 및
- (C) 상기 과도적 안정 여부에 따라 상기 가상부하를 증가 또는 감소시킨 후 (A), (B) 과정을 반복하되, 상기 송전선에서 과도적 안정 후 과도적 불안정 시의 상기 가상부하의 감소량이 미리정한 기준치 이하로 될 때, 상기 발전기 발전력의 해당 발전력 증가분을 발전기 과도안정도 마진으로 출력하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 발전기 과도안정도 마진 산출 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

- (C) 단계에서, 상기 송전선에서 상기 과도적 안정 시에는 상기 가상부하를 상기 증가분 만큼씩 증가시키며, 상기 송전선에서 상기 과도적 불안정 시에는 상기 가상부하를 상기 증가분의 1/2 만큼씩 감소시키는 것을 특징으로 하는 발전기 과도안정도 마진 산출 방법.

청구항 3

발전단지의 발전기가 모선에 연결되고 모선에 연결된 전력계통의 송전선으로 전력을 공급하는 시스템에서 발전기 과도안정도 마진 산출을 위한 발전기 과도안정도 마진 산출 장치에 있어서,

고장 종류와 제거 시간, 및 가상부하에 대한 증가분을 입력하고 설정하기 위한 사용자 인터페이스; 및

상기 모선에 연결되는 상기 가상부하에 따라 발전기 발전력을 동작시키며, 상기 고장 종류와 제거 시간에 따라 상기 송전선에 고장을 발생시키고 고장을 제거하며 상기 모선과 상기 가상부하 사이에 연결된 스위치를 개방하여 상기 발전기 발전력에 따른 상기 송전선에서의 전압이나 전류의 시간 영역 해석을 통하여 과도적 안정 여부를 판단하는 제어부를 포함하고,

상기 제어부는, 상기 과도적 안정 여부에 따라 상기 가상부하를 증가 또는 감소시킨 후 상기 발전기의 동작, 상기 고장의 발생과 제거, 상기 스위치의 개방, 및 상기 과도적 안정 여부의 판단을 반복 수행하되, 상기 송전선에서 과도적 안정 후 과도적 불안정 시의 상기 가상부하의 감소량이 미리정한 기준치 이하로 될 때, 상기 발전기 발전력의 해당 발전력 증가분을 발전기 과도안정도 마진으로 출력하는 것을 특징으로 하는 발전기 과도안정도 마진 산출 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제어부는, 상기 송전선에서 상기 과도적 안정 시에는 상기 가상부하를 상기 증가분 만큼씩 증가시키며, 상기 송전선에서 상기 과도적 불안정 시에는 상기 가상부하를 상기 증가분의 1/2 만큼씩 감소시키는 것을 특징으로 하는 발전기 과도안정도 마진 산출 장치.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 발전기(또는 발전단지)에 연계된 전력계통에 송전선로의 고장 탈락과 같은 중대한 외란이 발생했을 때 전력계통이 과도적으로 안정하기 위한 안정도 마진(margin, 여유도)을 시간영역 해석을 통하여 산출하는 방법에 관한 것으로서, 전력계통에 큰 외란이 발생하는 경우 시간영역 해석을 통한 발전기(또는 발전단지)의 과도 안정도 마진을 정량적으로 산출하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 종래의 대표적인 기술은 에너지 함수를 이용하거나 등면적법(equal area criterion)이나 확장 등면적법(extended equal area criterion), 또는 1기 등가 모델(SIME; Single Machine Equivalent)을 이용해, 발전기 가속력과 감속력의 차이로 과도안정도 마진을 평가하는 방법을 많이 사용하였다. 이러한 방법은 잘 알려진 이론적 배경을 가지고 있지만 실제적인 적용에 있어서 모델 오차 등을 고려하기가 어렵고 마진에 대한 물리적 해석이 쉽지 않은 단점이 있다. 또한 계통 매개변수 오차가 등가 모델에 어느 정도의 영향을 미치는지에 대해서 알 수 없는 단점이 있다.

[0003] 관련 선행 문헌으로서, 대한민국공개특허번호 제10-2003-0035275 호 (2003.05.09. 공개) 등이 참조될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 따라서, 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 전력계통에서 외란 등에 의한 고장 시, 발전기 모선단에 가상부하를 연결하고 발전기 출력을 가상부하만큼 증가시킨 후 고장 제거와 동시에 가상부하의 스위치를 개방하여 가상부하를 제거하고 증가된 가상부하 전력이 계통으로 전송되는지 여부를 시간영역 해석을 통하여 산출하고, 가상부하를 변화시키면서 반복 수행하여, 정확한 과도안정도 마진을 산출함으로써, 고장 제거 후 발전기(또는 발전단지)가 과도적으로 안정적으로 최대 전력을 공급할 수 있는지 여부를 파악할 수 있도록 하는, 발전기 과도안정도 마진 산출 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0005] 먼저, 본 발명의 특징을 요약하면, 상기와 같은 본 발명의 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일면에 따른 발전단지의 발전기가 모선에 연결되고 모선에 연결된 전력계통의 송전선으로 전력을 공급하는 시스템에서 발전기 과도 안정도 마진 산출 방법에 있어서, (A) 상기 모선에 연결되는 가상부하에 대한 증가분을 설정하여 발전기 발전력을 갱신하는 단계; (B) 미리 설정된 고장 종류와 제거 시간에 따라 상기 송전선에 고장을 발생시키고 고장을 제거하며 상기 모선과 상기 가상부하 사이에 연결된 스위치를 개방하여 상기 발전기 발전력에 따른 상기 송전선에서의 전압이나 전류의 시간 영역 해석을 통하여 과도적 안정 여부를 판단하는 단계; 및 (C) 상기 과도적 안정 여부에 따라 상기 가상부하를 증가 또는 감소시킨 후 (A), (B) 과정을 반복하되, 상기 송전선에서 과도적 안정 후 과도적 불안정 시의 상기 가상부하의 감소량이 미리정한 기준치 이하로 될 때, 상기 발전기 발전력의 해당 발전력 증가분을 발전기 과도안정도 마진으로 출력하는 단계를 포함한다.

[0006] (C) 단계에서, 상기 송전선에서 상기 과도적 안정 시에는 상기 가상부하를 상기 증가분 만큼씩 증가시키며, 상기 송전선에서 상기 과도적 불안정 시에는 상기 가상부하를 상기 증가분의 1/2 만큼씩 감소시킬 수 있다.

[0007] 그리고, 본 발명의 다른 일면에 따른 발전단지의 발전기가 모선에 연결되고 모선에 연결된 전력계통의 송전선으로 전력을 공급하는 시스템에서 발전기 과도안정도 마진 산출을 위한 발전기 과도안정도 마진 산출 장치는, 고장 종류와 제거 시간, 및 가상부하에 대한 증가분을 입력하고 설정하기 위한 사용자 인터페이스; 및 상기 모선에 연결되는 상기 가상부하에 따라 발전기 발전력을 동작시키며, 상기 고장 종류와 제거 시간에 따라 상기 송전선에 고장을 발생시키고 고장을 제거하며 상기 모선과 상기 가상부하 사이에 연결된 스위치를 개방하여 상기 발전기 발전력에 따른 상기 송전선에서의 전압이나 전류의 시간 영역 해석을 통하여 과도적 안정 여부를 판단하는 제어부를 포함하고, 상기 제어부는, 상기 과도적 안정 여부에 따라 상기 가상부하를 증가 또는 감소시킨 후 상기 발전기의 동작, 상기 고장의 발생과 제거, 상기 스위치의 개방, 및 상기 과도적 안정 여부의 판단을 반복 수행하되, 상기 송전선에서 과도적 안정 후 과도적 불안정 시의 상기 가상부하의 감소량이 미리정한 기준치 이하로 될 때, 상기 발전기 발전력의 해당 발전력 증가분을 발전기 과도안정도 마진으로 출력할 수 있다.

[0008] 상기 제어부는, 상기 송전선에서 상기 과도적 안정 시에는 상기 가상부하를 상기 증가분 만큼씩 증가시키며, 상기 송전선에서 상기 과도적 불안정 시에는 상기 가상부하를 상기 증가분의 1/2 만큼씩 감소시킬 수 있다.

발명의 효과

[0009] 본 발명에 따른 발전기 과도안정도 마진 산출 방법에 따르면, 가상부하를 변화시키면서 증가된 가상부하 전력이 계통으로 전송되는지 여부를 시간영역 해석을 통하여 정확한 과도안정도 마진을 산출함으로써, 고장 제거 후 발전기(또는 발전단지)가 과도적으로 안정적으로 최대 전력을 공급할 수 있는지 여부를 정량적으로 운전원이 이해하기 쉽게 된다. 즉, 모의를 통하여 발전기가 과도적으로 안정하게 전력을 공급할 수 있다 하더라도 추가적으로 더 보낼 수 있는 전력량을 정량적으로 알 수 있게 하여 현재의 운전상태에 대한 마진을 알 수 있어서 쉽게 운전/설정이 가능하게 된다.

[0010] 이와 같은 발전기 과도안정도 마진 산출 방법은 대규모발전단지의 고장과급방지장치(SPS; Special Protection Scheme) 설정이나 페이저측정장치(PMU; Phasor Measurement Unit)를 이용한 계통 보호 등에 활용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 발전기 과도안정도 마진 산출 적용 대상의 발전기(또는 발전단지)와 전력계통을 포함하는 전력 시스템에 대한 개략도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 전력 시스템에 대한 발전기 과도안정도 마진 산출 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0013] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 발전기 과도안정도 마진 산출 적용 대상의 발전기(또는 발전단지)와 전력계통을 포함하는 전력 시스템에 대한 개략도이다. 도 1을 참조하여, 발전단지의 발전기(G)가 전력계통(P)의 송전선(A)에서 발생한 고장이 제거된 후 과도적으로 모선(M)을 통해 송전선(A)으로 얼마만큼의 전력을 더 송전할 수 있는가를 산출하고자 한다.

[0014] 예를 들어, 도 1에서, 1기의 발전기(G)가 2회선의 송전선(A)을 통하여 대규모 전력시스템(Bulk Power System)에 연결되어 있는 것을 가정하였지만 일반적인 대규모 계통에도 같은 원리로 적용할 수 있다. 여기서 송전선(A) 중 1회선에 외란 등에 의한 고장이 발생하고 보호계전기(도시되지 않음)가 작동하여 선로를 개방(예, 선로에 연결된 스위치 개방 이용)한다고 가정하면, 발전기(G)의 입장에서는 송전선 임피던스가 증가하였기 때문에 최대 송전할 수 있는 전력이 감소하게 된다. 이때 발전기(G)가 선로 사고 후 과도적으로 전송할 수 있는 최대 전력을 계산하는 것은 발전기가 과도 불안정 영역에 얼마만큼 가까이 운전되고 있는가를 알 수 있기 때문에 매우 중요하다.

[0015] 본 발명에서 핵심 사항으로서, 도 1의 발전기(G)의 출력을 일정부분만큼 증가(일정 백분율(%), 또는 일정 전력량(MW))시키고 증가된 부분은 발전기(G)가 연결된 발전단 모선(M)에 연결한 가상부하(LOAD)로 소모시키면, 나머지 전력계통(P)에 공급되는 전력 상태는 전혀 변하지 않게 된다. 즉, 전력계통(P)에서의 조류계산이나 상태추정 결과가 바뀌지 않고 발전기(G)의 출력만 증가된 상태가 된다. 이러한 상태에서 송전선(A)에 고장이 발생하고 고장 회선을 개방하여 고장을 제거한 후, 동시에 가상부하(LOAD)와 모선(M) 사이의 스위치도 개방하면, 과도적으로 가상부하(LOAD)에 공급하였던 전력이 고장이 제거된 송전선(A)을 통해서 전송될 수 있는지 없는지 여부를 알 수 있다. 만약에 출력 증가분이 포함된 발전기(G) 출력의 송전이 가능하면 가상부하(LOAD)를 좀 더 증가시키고(일정 백분율(%), 또는 일정 전력량(MW)), 불안정으로 송전이 불가능하면 가상부하(LOAD)를 줄여서 정확한 최대 송전 전력을 산출할 수 있다. 즉, 현재 상태에서 최종적으로 안정이라고 판정된 가상부하(LOAD)에 해당하는 발전기(G) 출력의 증가분이 과도안정도 마진(여유도)이 된다.

[0016] 이와 같은 본 발명의 방법의 최대 장점은 첫째 시간영역 해석으로 과도안정도 마진을 알 수 있다는 것이고 둘째는 발전단 모선(M)의 가상부하(LOAD)를 이용함으로써 발전단을 제외한 전력계통(P) 송전단의 조류상태와 전압, 전류 등 전혀 변화가 없다는 것이다. 즉, 송전선로의 상태추정 결과나 조류계산 결과를 그대로 이용함으로써 실제 계통 적용시 에너지관리시스템(EMS; Energy Management System)의 상태추정 데이터를 최대 활용할 수 있는 장점이 있다.

[0017] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 전력 시스템에 대한 발전기 과도안정도 마진 산출 방법을 설명하기 위한 흐름

를도이다.

- [0018] 이하에서 설명하는 방법은 컴퓨터와 같은 전자장치로서 발전기 과도안정도 마진 산출 장치에서 이루어질 수 있으며 필요한 경우 이를 위한 소정의 소프트웨어가 실행되어 다음과 같은 발전기 과도안정도 마진 산출 과정의 동작이 이루어질 수 있다.
- [0019] 먼저, 운영자는 발전단 인근의 어떤 고장에 대해서 과도안정도를 판정할 것인지에 대해서 결정하고 송전선(A)에서의 고장 종류와 제거시간 등을 결정하여 설정할 수 있다(S100). 예를 들어, 발전기 과도안정도 마진 산출 장치의 사용자 인터페이스를 통하여 고장 종류와 제거시간 등 필요한 데이터가 입력되어 설정될 수 있다.
- [0020] 또한, 운영자는 가상 부하(LOAD)(부하 임피던스량)의 초기 증가분(ΔL)을 설정한다(S110). 가상 부하(LOAD)의 초기 증가분(ΔL)은 절대값으로 발전기(G) 발전력(P_{VL})의 일정(x) 전력량(MW)이나, 현재 발전력에 대한 일정(x) 백분율(%)에 해당하는 부하(ΔL)가 설정될 수 있다. 여기서는 절대량을 계산한다고 가정한다. 예를 들어, 발전기 과도안정도 마진 산출 장치는 사용자 인터페이스를 통해 가상 부하(LOAD)의 초기치가 발전기(G) 발전력(P_{VL})의 일정(x) 전력량(MW)이나, 현재 발전력에 대한 일정(x) 백분율(%) 등의 형식으로 입력되면, 내부적으로 미리 준비된 함수에 따라 해당 부하(ΔL)를 산출하여 가상 부하(LOAD)의 초기 증가분(ΔL)을 설정할 수 있다.
- [0021] 다음에, 설정된 가상부하(LOAD)의 증가분(ΔL)에 해당하는 만큼 발전기(G) 발전력이 변동(ΔP_{VL})되도록 발전기(G) 발전력을 설정 및 갱신한다(S120)(부하 ΔL 에서의 발전력 변동 $P_{VL} = \Delta P_{VL}$). 여기서, 하기의 S160에서 회귀하는 경우에도 가상부하(LOAD) 증가분(ΔL) 만큼 발전력이 변동된다. 전체 계통에 대해서 갱신하여도 외부 계통은 변한 것이 없기 때문에 발전기(G)의 내부 설정 상태만 변경되게 된다. 이와 같은 발전기(G) 발전력 갱신은 발전기 과도안정도 마진 산출 장치의 제어부에 의해 발전기(G)가 발전력을 갱신하도록 제어함으로써 이루어질 수 있다.
- [0022] 다음에, 외란 등 설정된 고장 종류에 따른 고장(송전선 지락 등)을 발생시키고(S130), 설정된 제거 시간에 고장 제거와 동시에 가상부하(LOAD)를 연결한 스위치(S)를 개방한 후(S140), 시간 영역 해석을 수행하여 해석 결과를 바탕으로 과도적으로 안정한지 여부를 판정한다(S150). 이와 같은 과정에서 발전기 과도안정도 마진 산출 장치의 제어부에 의해 제어되고 판정될 수 있다. 예를 들어, 발전기 과도안정도 마진 산출 장치의 제어부는 고장이 제거된 송전선 등에서의 전압이나 전류에 대한 시간 영역 해석을 통하여 발산되는지 여부나 임계치 이상의 과도 상태가 발생하는 지 여부 등에 따라 과도적으로 안정한지 여부를 판정할 수 있다.
- [0023] 만약, 과도적으로 안정하다면, 발전기 과도안정도 마진 산출 장치의 제어부는 가상부하(LOAD)를 일정 증가분(ΔL) 더 증가시켜서(S160) (이전 발전력 P_{VL} 과 부하 ΔL 에서의 발전력 증가 변동 $P_{VL} = P_{VL} + \Delta P_{VL}$), S120~S150의 과정이 반복되도록 한다.
- [0024] 만약, 과도적으로 불안정하면, 발전기 과도안정도 마진 산출 장치의 제어부는 이전 가상부하(LOAD)의 증가분(ΔL)을 반으로 줄이고(S170) (이전 발전력 P_{VL} 과 부하 $\Delta L/2$ 에서의 발전력 감소 변동 $P_{VL} = P_{VL} - \Delta P_{VL}/2$) 가상부하(LOAD)의 증가분(ΔP_{VL})이 감소하여 미리정한 기준치 이하로 될 때까지(S171), S120~S150의 과정이 반복되도록 한다.
- [0025] 이와 같은 과정을 가상부하(LOAD)의 증가분(ΔL)이 미리정한 기준치(ϵ) 이하로 줄 때까지 반복하여, 발전기 과도안정도 마진 산출 장치의 제어부는 과도적으로 안정되게 추가적으로 더 보낼 수 있는 최대전력(P_{VL})인 발전기 과도안정도 마진을 비교적 정확하게 최종적으로 산출하여 출력할 수 있다(S172). 상기 제어부는 가상부하(LOAD)의 증가분(ΔL)이 미리정한 기준치 이하로 될 때, 또는 발전기(G) 발전력의 증가분(ΔP_{VL})이 미리정한 기준치(ϵ) 이하로 될 때, 가상부하(LOAD)가 없는 경우의 해당 발전기(G) 발전력에 대한 발전력 증가분(ΔP_{VL})을 발전기 과도안정도 마진으로 출력할 수 있다.
- [0026] 참고로, 전력계통 운영자 입장에서는 항상 송전선 고장에 대비할 필요가 있기 때문에 각종 모의 도구를 이용하여 송전선 고장을 모의하고 고장 제거 후에도 발전기가 안정적으로 전력을 공급할 수 있는지 여부를 파악하는 것은 매우 중요하다. 이때 모의를 통하여 발전기가 과도적으로 안정하게 전력을 공급할 수 있다 하더라도 추가적으로 더 보낼 수 있는 전력량을 알 수 있다면 현재의 운전상태에 대한 마진을 알 수 있어서 매우 유용할 것이다. 하지만 현재의 계산 도구는 이러한 간단한 물리량(과도적으로 전송할 수 있는 최대전력량)보다는 의미 파악이 어려운 수학적 마진(가속력과 감속력의 차이 등)을 사용함으로써 실사용을 어렵게 만들고 있다.

[0027]

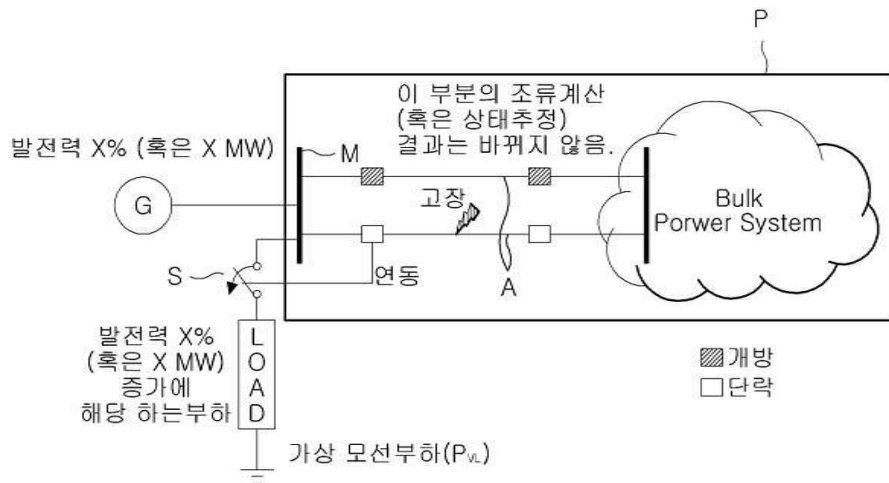
즉, 위에서 제안하는 바와 같은 계산이 가능하면 다음과 같은 발전기 설정이 가능하다. 송전선을 A, 발전단지는 B로 표현하고 발전기 1대 정격은 500MW 라고 가정한다. 예를 들어, 이와 같은 전력 상황에서 A 송전선로에 고장이 발생하면 B 발전단지는 발전기 1대분 500MW정도를 과도적으로 더 보낼 수 있도록 할 수 있다. 지금 운전상태를 유지해도 과도안정도 마진이 충분하다. 또 다른 방법으로는, 현재 상태에서 A 송전선로에 고장이 발생하면 B 발전단지는 100MW의 여유분(발전기 0.2대분) 밖에 없을 때, 각종 모델 파라미터의 불확정성을 감안하여 대비하려면 지금 출력을 50% 정도 감발하여 250MW 이상(발전기 0.5대분)의 과도안정도 마진을 확보하는 것이 좋다.

[0028]

이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

도면1



도면2

