

|                                                                                   |                                    |                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|  | (19) 대한민국특허청(KR)<br>(12) 공개특허공보(A) | (11) 공개번호 10-2012-0122644<br>(43) 공개일자 2012년11월07일                    |
| (51) 국제특허분류(Int. Cl.)<br>G06F 19/00 (2011.01) G06F 17/10 (2006.01)                |                                    | (71) 출원인<br>고려대학교 산학협력단<br>서울 성북구 안암동5가 1                             |
| (21) 출원번호 10-2011-0040924                                                         |                                    | (72) 발명자<br>장길수<br>서울특별시 중랑구 신내로21길 16, 신내5단지대림<br>아파트 513동 503호 (목동) |
| (22) 출원일자 2011년04월29일<br>심사청구일자 2011년04월29일                                       |                                    | 이한상<br>대전광역시 서구 가수원로 72, 은아아파트 102동<br>905호 (가수원동)                    |
|                                                                                   |                                    | (74) 대리인<br>특허법인충현                                                    |

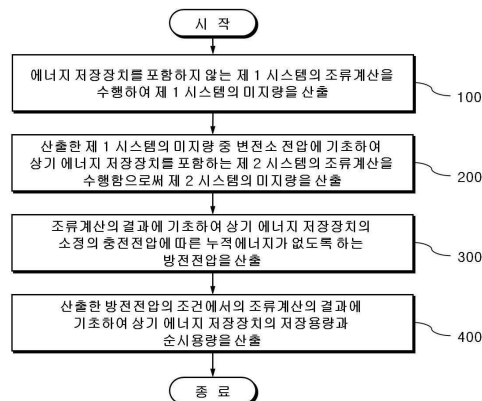
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 전기철도시스템을 위한 에너지 저장장치의 용량산출방법

### (57) 요약

본 발명은 전기철도시스템의 변전소에 설치되는 에너지 저장장치의 용량산출방법에 관한 것으로서 에너지 저장장치를 포함하지 않는 제 1 시스템의 조류계산을 수행하여 제 1 시스템의 미지량을 산출하는 단계, 산출한 제 1 시스템의 미지량 중 변전소 전압에 기초하여 에너지 저장장치를 포함하는 제 2 시스템의 조류계산을 수행함으로써 제 2 시스템의 미지량을 산출하는 단계, 조류계산의 결과에 기초하여 에너지 저장장치의 소정의 충전전압에 따른 누적에너지가 없도록 하는 방전전압을 산출하는 단계, 및 산출한 방전전압의 조건에서의 조류계산의 결과에 기초하여 에너지 저장장치의 저장용량과 순시용량을 산출하는 단계를 포함하며, 전기철도시스템의 효율을 높일 수 있는 최적의 에너지 저장장치의 용량을 산출할 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20100018462

부처명 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원\_도약연구

연구과제명 차세대 전력시스템 해석용 다중시간영역 하이브리드 시뮬레이션 알고리즘

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2010.06.01 ~ 2011.05.31

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

전기철도 시스템의 변전소에 설치되는 에너지 저장장치의 용량산출방법에 있어서,

에너지 저장장치를 포함하지 않는 제 1 시스템의 조류계산을 수행하여 제 1 시스템의 미지량을 산출하는 단계;

상기 산출한 제 1 시스템의 미지량 중 변전소 전압에 기초하여 상기 에너지 저장장치를 포함하는 제 2 시스템의 조류계산을 수행함으로써 제 2 시스템의 미지량을 산출하는 단계;

상기 조류계산의 결과에 기초하여 상기 에너지 저장장치의 소정의 충전전압에 따른 누적에너지가 없도록 하는 방전전압을 산출하는 단계; 및

상기 산출한 방전전압의 조건에서의 조류계산의 결과에 기초하여 상기 에너지 저장장치의 저장용량과 순시용량을 산출하는 단계를 포함하는 방법.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 충전전압은 무부하전압인 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 산출한 제 1 시스템의 미지량 중 변전소 전압과 미리 설정된 초기 변전소 전압의 차가 소정의 값 이하인지를 판단하는 단계를 포함하고,

상기 판단결과 상기 전압의 차가 상기 소정의 값 이하가 아닌 경우, 차량전류를 갱신하여 상기 갱신한 차량전류를 상기 제 1 시스템의 등가행렬방정식의 차량전류 값으로 설정하고,

상기 변전소 전압을 초기 변전소 전압으로 설정함으로써 제 1 시스템의 미지량을 산출하는 단계를 반복하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 산출한 제 1 시스템의 미지량 중 변전소 전압이 충전 임계치 이상 또는 방전 임계치 이하인 경우, 상기 에너지 저장장치를 포함하는 제 2 시스템의 등가행렬방정식의 변수를 교환한 변수교환 행렬방정식으로부터 제 2 시스템의 미지량을 산출하고,

상기 변수교환 행렬방정식은 상기 제 2 시스템의 미지량 중 변전소 전류를 변수로 하여 상기 산출한 제 1 시스템의 미지량 중 변전소 전압과 변수를 교환한 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 산출한 제 2 시스템의 미지량 중 변전소 전류와 미리 설정된 초기 변전소 전류의 차가 소정의 값 이하인지를 판단하는 단계를 포함하고,

상기 판단결과 상기 전류의 차가 상기 소정의 값 이하가 아닌 경우, 차량전류를 갱신하여 상기 갱신한 차량전류를 상기 변수교환 행렬방정식의 차량전류 값으로 설정하고,

상기 변전소 전류를 초기 변전소 전류로 설정함으로써 제 2 시스템의 미지량을 산출하는 단계를 반복하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 방전전압을 산출하는 단계는 상기 조류계산을 통해 상기 에너지 저장장치의 누적에너지가 없는지 판단하는 단계; 및

상기 판단결과 상기 누적에너지가 남아 있는 경우, 상기 누적에너지가 없도록 하는 방전전압을 산출할 때까지, 소정의 함수를 통해 방전전압을 갱신하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 방전전압을 산출하기 위하여 라그랑지 함수를 이용하는 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 변전소에 설치되는 에너지 저장장치의 용량에 기초하여 전체 전기철도시스템의 에너지 효율을 산출하고, 상기 에너지 저장장치를 포함하지 않을 때와 비교하여 에너지 절감률을 산출하는 단계를 더 포함하는 방법.

#### 청구항 9

제 1 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항의 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

### 명세서

#### 기술분야

[0001] 본 발명은 전기철도시스템의 변전소에 설치되는 에너지 저장장치의 용량계산방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 전기철도시스템의 에너지효율을 높일 수 있는 최적의 에너지 저장장치의 용량을 산출할 수 있는 전기철도시스템을 위한 에너지 저장장치의 용량산출방법 및 그 기록매체에 관한 것이다.

#### 배경기술

[0002] 보다 친환경적이고 효율적인 전기철도시스템을 구현하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 그 중 전기철도시스템의 효율을 높일 수 있는 에너지 저장장치 활용에 대한 연구가 진행되고 있다. 전기철도는 기동을 위해 많은 순시전력이 필요하지만 차량의 기계적 관성에 의하여 고속 운전 시에는 전력이 거의 소모되지 않고, 제동 시에는 오히려 회생전력이 발생하는 특성이 있다. 회생전력을 처리하는 종래기술은 가선의 전압을 크게 상승시키거나, 저항회로를 통하여 강제적으로 소비하고 있다. 상기 종래기술은 발생하는 전력을 이용하지 못하는바, 에너지의 경제적 소비에 반하는 문제점이 있다.

#### 발명의 내용

##### 해결하려는 과제

[0003] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 최적의 에너지 저장장치의 용량을 산출할 수 있는 전기철도시스템을 위한 에너지 저장장치의 용량산출방법을 제공하는 것이다.

[0004] 또한, 상기된 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체를 제공하는데 있다.

##### 과제의 해결 수단

[0005] 본 발명은 상기 과제를 해결하기 위하여, 전기철도시스템의 변전소에 설치되는 에너지 저장장치의 용량산출방법에 있어서, 상기 전기철도시스템의 조류계산을 수행하여 변전소 전압을 산출하는 단계, 상기 변전소 전압에 기초하여 상기 에너지 저장장치를 포함하는 전기철도시스템의 조류계산을 수행함으로써 변전소 전류를 산출하는 단계, 상기 조류계산의 결과에 기초하여 상기 에너지 저장장치의 소정의 충전전압에 따른 누적에너지가 없도록 하는 방전전압을 산출하는 단계, 및 상기 산출한 방전전압의 조건에서의 조류계산의 결과에 기초하여 상기 에너지

지 저장장치의 저장용량과 순시용량을 산출하는 단계를 포함하는 방법을 제공한다.

[0006] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 방전전압을 산출하는 단계는 상기 조류계산을 통해 상기 에너지 저장장치의 누적에너지가 없는지 판단하는 단계, 및 상기 판단결과 상기 충전에너지가 모두 방전되지 않은 경우, 상기 누적에너지가 없도록 하는 방전전압을 산출할 때까지, 소정의 함수를 통해 방전전압을 갱신하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법일 수 있다.

[0007] 상기 다른 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명은 상기된 전기철도시스템의 변전소에 설치되는 에너지 저장장치의 용량산출방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체를 제공한다.

### 발명의 효과

[0008] 본 발명에 따르면, 전기철도시스템의 조류계산을 빠르고 정확하게 할 수 있다. 또한, 본 발명에 따르면, 전기철도시스템의 효율을 높일 수 있는 최적의 에너지 저장장치의 용량을 산출할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0009] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전기철도시스템의 변전소에 설치되는 에너지 저장장치의 용량산출방법의 흐름도이다.

도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 에너지 저장장치를 포함하지 않는 전기철도시스템의 조류계산의 흐름도이다.

도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 전기철도시스템의 개략도이다.

도 4은 본 발명의 다른 실시예에 따른 도 3의 시스템의 등가회로도이다.

도 5은 본 발명의 다른 실시예에 따른 에너지 저장장치를 포함하는 전기철도시스템의 조류계산의 흐름도이다.

도 6는 본 발명의 다른 실시예에 따른 에너지 저장장치의 동작을 변전소 전압에 따라 어떻게 변화하는지를 예시한 도면이다.

도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 에너지 저장장치를 포함하는 전기철도시스템의 등가회로도이다.

도 8는 본 발명의 다른 실시예에 따른 에너지 저장장치의 방전전압을 산출하는 방법의 흐름도이다.

도 9은 본 발명의 다른 실시예에 따른 전기철도시스템이 주기적 시스템임을 보여주는 도면이다.

도 10은 본 발명의 다른 실시예에 따른 전기철도시스템의 방전전압을 산출하는 방법을 도시한 그래프이다.

도 11는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 전기철도시스템의 변전소에 설치되는 에너지 저장장치의 용량산출방법을 수식으로 나타낸 흐름도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 본 발명에 관한 구체적인 내용의 설명에 앞서 이해의 편의를 위해 본 발명이 해결하고자 하는 과제의 해결 방안의 개요 혹은 기술적 사상의 핵심을 우선 제시한다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 따른 전기철도시스템의 변전소에 설치되는 에너지 저장장치의 용량산출방법은 에너지 저장장치를 포함하지 않는 제 1 시스템의 조류계산을 수행하여 제 1 시스템의 미지량을 산출하는 단계, 상기 산출한 제 1 시스템의 미지량 중 변전소 전압에 기초하여 상기 에너지 저장장치를 포함하는 제 2 시스템의 조류계산을 수행함으로써 제 2 시스템의 미지량을 산출하는 단계, 상기 조류계산의 결과에 기초하여 상기 에너지 저장장치의 소정의 충전전압에 따른 누적에너지가 없도록 하는 방전전압을 산출하는 단계, 및 상기 산출한 방전전압의 조건에서의 조류계산의 결과에 기초하여 상기 에너지 저장장치의 저장용량과 순시용량을 산출하는 단계를 포함한다.

[0012] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있는 실시 예를 상세히 설명한다. 그러나 이들 실시예는 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이에 의하여 제한되지 않는다는 것은 당업계의 통상의 지식을 가진 자에게 자명할 것이다.

- [0013] 본 발명이 해결하고자 하는 과제의 해결 방안을 명확하게 하기 위한 발명의 구성을 본 발명의 바람직한 실시예에 근거하여 첨부 도면을 참조하여 상세히 설명하되, 도면의 구성요소들에 참조번호를 부여함에 있어서 동일 구성요소에 대해서는 비록 다른 도면상에 있더라도 동일 참조번호를 부여하였으며 당해 도면에 대한 설명시 필요한 경우 다른 도면의 구성요소를 인용할 수 있음을 미리 밝혀둔다. 아울러 본 발명의 바람직한 실시예에 대한 동작 원리를 상세하게 설명함에 있어 본 발명과 관련된 공지 기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명 그리고 그 이외의 제반 사항이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우, 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0014] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전기철도시스템의 변전소에 설치되는 에너지 저장장치의 용량산출방법의 흐름도이다.
- [0015] 100단계는 전기철도시스템의 조류계산을 수행하여 시스템의 미지량을 산출하는 단계이다.
- [0016] 보다 상세하게는, 에너지 저장장치의 용량을 산출하기 전에 전기철도시스템에 대한 조류계산을 우선 수행하여야 한다. 전기에너지를 소비하는 부하에서의 필요량을 바탕으로, 에너지의 공급과 전력계통을 통한 전력의 흐름을 해석하는 일련의 과정을 조류계산(전력조류해석)이라 정의된다. 전력조류해석을 통하여 시스템의 설계 단계에서부터 설비의 추가, 계통계획, 진단 등의 목적으로 수행된다. 특히 설비 추가 목적에서, 전력조류해석은 기존 계통에 대한 추가 설비의 효과를 검증하고, 추가 설비에 따른 계통의 영향을 해석하는 계통 관리 측면과, 설비의 용량 및 신뢰성을 고려하여 추가 설비의 사양을 검토하는 설비 사양 결정의 측면에서 유용하다.
- [0017] 전기철도시스템의 경우 직류급전을 사용하고 있고, 부하의 위치와 전력요구량이 변화한다. 또한, 운전조건이 반복되는 시간 동안 일정 시간 단위로 연속적으로 해석이 수행되어야 한다. 전기철도시스템을 위한 행렬방정식과 반복계산을 통해 조류계산을 수행하여 시스템의 미지량을 산출할 수 있다. 구체적인 산출방법은 도 2에서 설명하도록 한다.
- [0018] 200단계는 100단계에서 산출한 시스템의 미지량 중 변전소 전압에 기초하여 에너지 저장장치를 포함하는 전기철도시스템의 조류계산을 수행함으로써 시스템의 미지량을 산출하는 단계이다.
- [0019] 보다 상세하게는, 에너지 저장장치를 포함하는 전기철도시스템의 조류계산을 수행하기 위해서 에너지 저장장치를 포함하지 않는 전기철도시스템의 산출한 미지량 중 변전소 전압을 이용할 수 있다. 상기 변전소 전압을 고정하여 기지량으로 설정하여 에너지 저장장치를 포함하는 시스템의 미지량을 산출할 수 있다. 200단계 역시 100단계와 같이 행렬방정식과 반복계산을 통해 조류계산을 수행하여 시스템의 미지량을 산출할 수 있다. 상기 에너지 저장장치는 슈퍼커패시터, 플라이휠, 2차전지 등이 사용될 수 있다. 슈퍼커패시터는 충전전압과 방전전압에 따라 반응하는 속도가 빨라 안정적으로 에너지 저장장치를 구현할 수 있다. 구체적인 산출방법은 도 3에서 설명하도록 한다.
- [0020] 300단계는 100 내지 200단계의 조류계산의 결과에 기초하여 에너지 저장장치의 소정의 충전전압에 따른 누적에너지가 없도록 방전전압을 산출하는 단계이다.
- [0021] 보다 상세하게는, 에너지 저장장치는 변전소 전압이 충전전압 이상이 되는 경우 충전을 하고, 상기 변전소 전압이 방전전압 이하가 되는 경우 방전을 한다. 충전을 하는 경우 외부로부터 충전에너지가 누적되고, 방전을 하는 경우 누적된 에너지가 외부로 방전되어 소비된다. 전기철도시스템의 에너지 저장장치를 통해 효율을 높이기 위해선 시스템의 조건이 반복되는 한 주기 동안 누적에너지가 없어야 한다. 즉, 에너지 저장장치로 충전된 에너지가 모두 외부에서 사용되도록 하는 것이다.
- [0022] 충전전압은 무부하전압인 것이 바람직하다. 변전소 전압이 무부하전압 이상으로 나타나는 경우는 차량의 제동 등에 의해 발생하는 회생전력에 의한 것이다. 변전소 전압은 변전소 근처에서 운행하는 차량의 운전모드에 따라 매우 민감하게 변화한다. 따라서 변전소 전압을 모니터링함으로써 변전소의 전력을 계산할 수 있고, 변전소로 유입되는 회생전력의 유무와 전력량을 판단할 수 있다. 직류 전기철도 시스템은 다이오드 정류기가 적용되기 때문에, 무부하전압 이상의 변전소 전압이 나타나는 경우 교류전력계통으로 에너지가 역류할 수 없다. 따라서, 변전소 전압이 무부하전압보다 높은 경우, 회생전력이 해당 변전소에 유입됨을 의미하고, 회생전력에 대한 조치가 없다면 회생전력에 의한 전류는 다른 차량에서 소비되기 위하여 해당 변전소를 지나치게 된다. 이것은 회생전력의 발생 지점과 소비지점의 거리를 멀어지게 하기 때문에, 회생에너지가 소비가 되더라도 가선에서 발생하는 열 손실이 많아지게 된다는 단점이 있다. 또한, 경우에 따라서 차량의 전력소비량보다 회생전력 발생량이 더 많아질 수도 있는데, 이 경우 차량 내부에서 저항을 삽입하여 에너지를 열로 발산하는 경우도 있다.
- [0023] 충전전압을 변전소 무부하전압보다 높게 설정하게 되면, 해당 변전소로 유입되는 회생전력의 일부를 활용할 수



없게 된다. 회생전력이 유입되더라도 충전전압이하 인 경우 에너지 저장장치가 충전을 하지 않는바, 회생전력이 낭비되는 것이다. 따라서 충전전압은 무부하전압보다 작거나 같게 설정되어야 한다. 그러나 충전전압을 무부하전압보다 낮게 설정하는 경우, 불필요한 충전동작이 발생하게 된다. 예를 들어, 철도시스템이 가압되어 있고, 모든 차량의 운전이 멈춰있는 경우, 회생전력의 발생이 전혀 없음에도 불구하고 변전소 전압이 무부하전압과 같은 상태이므로 에너지 저장장치는 충전을 하게 된다. 다시 말하면, 무부하전압 이하로 충전전압을 설정하는 경우, 회생전력이 없음에도 불필요한 충전이 발생하기 때문에 에너지 저장장치의 저장용량이 더 커야하는 문제가 있다. 따라서 에너지 저장장치의 충전전압을 무부하 전압으로 설정하는 것이 회생전력을 최대한 활용할 수 있으며, 최적의 에너지 저장장치의 저장용량을 산출할 수 있다.

[0024] 충전전압에 의해 충전된 에너지는 외부에서 모두 소비될 수 있도록 방전할 수 있는 방전전압을 산출해야 한다. 방전전압을 산출하는 방법에 대해서는 도 4에서 설명하도록 한다.

[0025] 400단계는 300단계에서 산출한 누적에너지 없도록 하는 방전전압의 조건에서의 조류계산의 결과에 기초하여 에너지 저장장치의 저장용량과 순시용량을 산출하는 단계이다.

[0026] 보다 상세하게는, 100 내지 300 단계에서 전기철도시스템의 효율을 높일 수 있는 조건을 산출한 결과에 따라 상기 조건에 필요한 에너지 저장장치의 용량을 구하는 단계이다. 에너지 저장장치의 저장용량은 누적에너지의 최대값 또는 누적에너지가 음수일 때가 포함되는 경우에는 누적에너지의 최대값과 최소값의 차로 산출된다. 또한, 에너지 저장장치의 출력전압을 유지하여야하므로 전체 저장가능 용량의 75%까지 사용하는 것을 전제로 하여 상기 산출된 저장용량의 4/3배의 용량을 실제 용량으로 할 수 있다. 에너지 저장장치는 순간적인 용량의 상승에도 견뎌야하기 때문에 순시용량의 계산이 필요하다. 최대순시용량은 변전소 전류의 최대전류로부터 구할 수 있다. 따라서, 에너지 저장장치는 상기 최대순시용량을 견딜 수 있는 것으로 선정되어야 한다.

[0027] 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 전기철도시스템의 조류계산의 흐름도이다.

[0028] 110단계는 전기철도시스템을 등가화한 행렬방정식으로부터 조류계산을 수행하여 시스템의 미지량을 산출하는 단계이다.

[0029] 보다 상세하게는, 시스템을 등가화한 행렬방정식을 이용하여 조류계산을 수행한다. 변전소는 노턴등가해석법을 이용하여 전류원으로 등가화하고, 차량은 부하인바 컨덕턴스로 표현할 수 있다. 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 전기철도시스템의 개략도로서 두 개의 변전소와 한 대의 차량을 도시한 것이고, 도 4는 도 3의 시스템의 등가회로도이다. 변전소는 노턴등가해석법을 이용하여 전류원으로 등가화하였다. 상기 도 4의 각 노드별로 노드 방정식을 이용하여 수학식 1과 같은 등가행렬방정식을 산출할 수 있다.

### 수학식 1

$$\begin{bmatrix} g_{sub1} + g_{fd1} & 0 & -g_{fd1} & 0 \\ 0 & g_{sub2} + g_{fd2} & -g_{fd2} & 0 \\ -g_{fd1} & -g_{fd2} & g_{fd1} + g_{fd2} + g_{veh} & -g_{veh} \\ 0 & 0 & -g_{veh} & g_{veh} + g_{ra1} + g_{ra2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sub1} \\ V_{sub2} \\ V_{feeder} \\ V_{rail} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{sub1} \\ I_{sub2} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

[0030]

[0031] 상기 수학식의  $I_{sub1}$ 과  $I_{sub2}$ 는 각 변전소의 노턴 등가 전류로서, 무부하전압이 고정되어 있다는 가정하에서 수학식 1의 노드방정식이 산출되었는바 기지량이며, 따라서 반복계산법을 이용하여 각 노드의 전압에 대한 해를 구할 수 있다. 반복계산 과정에서  $g_{veh}$ 를 갱신하기 위하여 사용되는 수학식 2는 다음과 같다.

### 수학식 2

$$g_{veh} = \frac{P_{veh}}{(V_{feeder} - V_{rail})^2}$$

[0032]

[0033] 상기 수학적 식 2는 차량전압의 제곱에 관계된 식이기 때문에, 수렴속도가 늦고 반복계산이 많아지게 하는 단점이 있다.

[0034] 반복계산을 줄이기 위하여 철도차량을 전류원으로 등가화하여 컨덕턴스 행렬과 전압 및 전류 행렬의 형태를 수정할 필요가 있다. 상기 등가행렬을 수정하기 위하여 수학적 식 3을 이용한다.

### 수학적 식 3

$$I_{veh} = g_{veh} \cdot (V_{feeder} - V_{rail})$$

[0035]

[0036] 상기 수학적 식 3의 관계식을 이용하여 수학적 식 1의 노드방정식은 수학적 식 4로 재구성할 수 있으며, 차량전압과 차량 소비전력의 관계는 수학적 식 5와 같이 정의된다.

### 수학적 식 4

$$\begin{bmatrix} g_{sub1} + g_{fd1} & 0 & -g_{fd2} & 0 \\ 0 & g_{sub2} + g_{fd2} & -g_{fd2} & 0 \\ -g_{fd1} & -g_{fd2} & g_{fd1} + g_{fd2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & g_{rail} + g_{ra2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sub1} \\ V_{sub2} \\ V_{feeder} \\ V_{rail} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{sub1} \\ I_{sub2} \\ -I_{veh} \\ I_{veh} \end{bmatrix}$$

[0037]

### 수학적 식 5

$$I_{veh} = \frac{P_{veh}}{(V_{feeder} - V_{rail})}$$

[0038]

[0039] 수학적 식 4의 등가행렬은 수학적 식 1의 등가행렬보다, 반복계산 과정에서  $I_{veh}$ 를 갱신할 때, 소비전력과 전압의 관계가 1차적인 관계이므로, 계산 초기과정에서 전압의 오차에 대하여 덜 민감하다. 따라서, 반복계산의 수렴속도 증가와 반복계산 횟수 저감으로 인하여 계산량이 감소하는 효과로 나타난다. 또한 가선에 위치한 노드와 레일에 위치한 노드에 대한 행렬 구분이 가능하기 때문에 매 계산 시 전압행렬의 값을 구하는 계산량도 감소한다.

[0040] 수학적 식 4와 수학적 식 5를 바탕으로 실제 철도 계통에 대한 전력조류해석할 때, 전체 노선에 대하여 상행차량과 하행차량을 모두 고려하는 경우, 컨덕턴스 행렬의 크기는 (변전소 수 + 4 x 차량 수)<sup>2</sup>가 된다. 예를 들어, 국내에서 운전하고 있는 여러 노선에 대한 해석을 수행함에 있어서 가장 많은 변전소가 설치된 7호선의 경우 컨덕턴스 행렬의 크기는 112 x 112인바, 컴퓨터를 통하여 해석함에 있어 계산량이 많지 않다.

[0041] 상기 수학적 식 4의 등가행렬방정식으로부터 조류계산을 통해 제 1 시스템의 미지량을 산출할 수 있다.

[0042] 130단계는 상기 110단계에서 산출한 제 1 시스템의 미지량 중 변전소 전압과 미리 설정된 초기 변전소 전압의 차가 소정의 값 이하인지를 판단하는 단계이다.

[0043] 보다 상세하게는, 상기 조류계산의 해는 반복계산을 통해 해가 수렴하는 지를 판단하여 해가 수렴할 때 값을 찾아내는 방법으로 산출된다. 상기 해가 수렴하였는지를 판단하기 위하여, 상기 110단계에서 산출한 미지량 중 변전소 전압과 미리 설정된 초기 변전소 전압의 차가 수렴되었다고 판단할 수 있는 값 이하인지를 판단한다. 상기 전압의 차가 수렴되었다고 판단할 수 있는 값 이하인 경우, 제 1 시스템의 등가행렬방정식의 해가 산출된 것으로, 반복계산을 중단함으로써 제 1 시스템의 미지량을 산출하는 단계를 마친다.



- [0044] 150단계는 상기 전압의 차가 소정의 값 이하가 아닌 경우, 차량전류  $I_{veh}$ 를 갱신하고 갱신한 차량전류를 제 1 시스템의 등가행렬방정식의 차량전류 값으로 설정하고, 변전소 전압을 초기 변전소 전압으로 설정하는 단계이다.
- [0045] 보다 상세하게는, 상기 전압의 차가 수렴되었다고 판단할 수 있는 값 이하가 아닌 경우, 반복계산을 위하여 차량전류  $I_{veh}$ 를 갱신하고 갱신한 차량전류를 제 1 시스템의 등가행렬방정식의 차량전류 값으로 설정하고, 변전소 전압을 초기 변전소 전압으로 설정함으로써 제 1 시스템의 미지량을 산출하는 단계를 반복한다. 새로 산출된 변전소 전압과 차를 비교할 수 있도록 상기 변전소 전압을 초기 변전소 전압으로 설정한다. 반복계산을 통해 상기 전압의 차가 수렴되었다고 판단할 수 있는 값 이하로 수렴하는 경우 반복계산을 중단함으로써 제 1 시스템의 미지량을 산출하는 단계를 마친다.
- [0046] 도 5은 본 발명의 다른 실시예에 따른 에너지 저장장치를 포함하는 전기철도시스템의 조류계산의 흐름도이다.
- [0047] 210단계는 제 1 시스템의 조류계산을 통해 산출한 제 1 시스템의 미지량 중 변전소 전압이 충전 임계치 이상 또는 방전 임계치 이하인지를 판단하는 단계이다.
- [0048] 보다 상세하게는, 에너지 저장장치를 포함하는 전기철도시스템의 미지량을 산출하기 위해서, 우선 어느 경우에 에너지 저장장치를 충전하거나 방전하는 지를 판단하여야 한다. 도 6에서 충전 임계치를 213으로 하고, 방전 임계치를 215로 하는 경우, 에너지 저장장치는 변전소 전압이 충전 임계치(213)과 방전 임계치(215) 사이 구간(218)에서는 충전이나 방전없이 아무런 작업을 수행하지 않고, 충전 임계치(213) 이상인 구간(217)에서는 에너지를 충전하고, 방전 임계치(215) 이하 구간(219)에서는 충전된 에너지를 방전한다. 상기 충전 임계치는 충전전압일 수 있고, 상기 방전 임계치는 방전전압일 수 있다. 에너지 저장장치의 충전 임계치는 도 1에서 설명한 바와 같이 무부하전압으로 설정할 수 있다. 방전 임계치는 초기에 특정의 값으로 정할 수 있다.
- [0049] 230단계는 상기 210단계 판단결과, 산출한 제 1 시스템의 미지량 중 변전소 전압이 충전 임계치 이상 또는 방전 임계치 이하인 경우 에너지 저장장치를 포함하는 전기철도시스템인 제 2 시스템의 등가행렬방정식의 변수를 교환한 변수교환 행렬방정식으로부터 조류계산을 수행하여 제 2 시스템의 미지량을 산출하는 단계이다.
- [0050] 보다 상세하게는, 상기 변전소 전압이 충전 임계치 이상 또는 방전 임계치 이하인 경우 에너지 저장장치가 충전 또는 방전을 하기 때문에, 조류계산을 하기 위해서 에너지 저장장치를 포함하는 전기철도 시스템을 고려하여야 한다. 에너지 저장장치를 포함하는 시스템의 등가회로는 도 7과 같다. 도 4의 에너지 저장장치를 포함하지 않는 시스템의 등가회로에 에너지 저장장치(211 내지 212)를 전류원으로 등가화하여 등가회로를 산출한다.
- [0051] 도 7의 각 노드별로 노드방정식을 이용하여 수학식 6과 같은 등가행렬방정식을 산출할 수 있다.

### 수학식 6

$$\begin{bmatrix} g_{sub1} + g_{fd1} + g_{es1} & 0 & -g_{fd2} & 0 \\ 0 & g_{sub2} + g_{fd2} + g_{es2} & -g_{fd2} & 0 \\ -g_{fd1} & -g_{fd2} & g_{fd1} + g_{fd2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & g_{ra1} + g_{ra2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sub1} \\ V_{sub2} \\ V_{feeder} \\ V_{rail} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{sub1} + I_{es1} \\ I_{sub2} + I_{es2} \\ -I_{veh} \\ I_{veh} \end{bmatrix}$$

- [0053] 에너지 저장장치의 내부저항을 나타내는 수학식 6의  $g_{es1}$ ,  $g_{es2}$ 를 에너지 저장장치의 전류원에 반영하여 나타낼 수 있다. 에너지 저장장치의 내부저항은 충전 또는 방전 시 손실의 주된 원인이므로, 에너지 저장장치인 슈퍼커패시터의 내부저항의 효율인 95% 적용할 수 있다. 상기 내부저항이 고려된 에너지 저장장치의 전류원을 이용하여 수학식 6을 수정하면 수학식 7과 같다.

### 수학식 7

$$\begin{bmatrix} g_{sub1} + g_{fd1} & 0 & -g_{fd2} & 0 \\ 0 & g_{sub2} + g_{fd2} & -g_{fd1} & 0 \\ -g_{fd1} & -g_{fd2} & g_{fd1} + g_{fd2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & g_{ra1} + g_{ra2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sub1} \\ V_{sub2} \\ V_{feeder} \\ V_{rail} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{sub1} + \alpha \cdot I_{ESI} \\ I_{sub2} + \alpha \cdot I_{ESI} \\ -I_{veh} \\ I_{veh} \end{bmatrix}$$

[0054]

[0055]

에너지 저장장치를 포함하는 전기철도시스템은 에너지 저장장치의 충전 또는 방전을 통해 변전소 전압이 일정하게 유지된다. 반면, 변전소 전류는 에너지 저장장치가 충전 또는 방전하는 경우 계속 변화하므로 상기 변전소 전류를 변수로 하여야 한다. 따라서 변전소 전류를 변수로 하여 변전소 전압과 변수교환을 하여야 한다.

[0056]

기존에 변수로 계산되던  $x_i$ 에 대하여,  $x_i$ 를 특정한 값으로 고정하고  $y_i$ 를 변수화해야 한다면, 두 성분의 위치를 바꾸어야 한다. 두 성분의 위치가 바뀔에 따라, 기존의 방정식을 만족시키기 위하여  $n \times n$  행렬의 성분은 어떤 규칙에 의하여 재구성되어야 한다.  $i$ 번째 성분을 교환하는 경우,  $a_{ii}$ 를 기준으로 행렬을 수학식 8과 같이 행렬을 분해하고, 수학식 9와 같이 재구성한다. 상기 변수변환 과정을 전압제한치를 벗어나는 변전소에 대하여 차례로 수행하여, 모든 변전소에 대하여 변수 교환이 완료된 후에 새로운 조류계산을 수행할 수 있다.

### 수학식 8

$$\begin{bmatrix} G_{11} & G_{1i} & G_{12} \\ G_{i1} & g_{ii} & G_{i2} \\ G_{21} & G_{2i} & G_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ x_i \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ y_i \\ Y_2 \end{bmatrix}$$

[0057]

### 수학식 9

$$\begin{bmatrix} G_{11} - \frac{G_{1i} \cdot G_{i1}}{g_{ii}} & \frac{G_{1i}}{g_{ii}} & G_{12} - \frac{G_{1i} \cdot G_{i2}}{g_{ii}} \\ -\frac{G_{i1}}{g_{ii}} & \frac{1}{g_{ii}} & -\frac{G_{i2}}{g_{ii}} \\ G_{21} - \frac{G_{2i} \cdot G_{i1}}{g_{ii}} & \frac{G_{2i}}{g_{ii}} & G_{22} - \frac{G_{2i} \cdot G_{i2}}{g_{ii}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ y_i \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ x_i \\ Y_2 \end{bmatrix}$$

[0058]

[0059]

상기 변수변환 방법을 이용하여 에너지 저장장치를 포함하는 제 2 시스템의 등가행렬방정식의 변수를 교환한 변수교환 행렬방정식으로부터 조류계산을 수행하여 제 2 시스템의 미지량을 산출할 수 있다.

[0060]

250단계는 230단계에서 산출한 제 2 시스템의 미지량 중 변전소 전류와 미리 설정된 초기 변전소 전류의 차가 소정의 값 이하인지를 판단하는 단계이다.

[0061]

보다 상세하게는, 제 2 시스템의 조류계산의 해는 도 2의 130 단계와 같이 반복계산을 통해 해가 수렴하는 지를 판단하여 해가 수렴할 때 값을 찾아내는 방법으로 산출된다. 상기 해가 수렴하였는지를 판단하기 위하여, 상기 230단계에서 산출한 미지량 중 변전소 전류와 미리 설정된 초기 변전소 전류의 차가 수렴되었다고 판단할 수 있는 값 이하인지를 판단한다. 상기 전류의 차가 수렴되었다고 판단할 수 있는 값 이하인 경우, 제 2 시스템의 변수교환 행렬방정식의 해가 산출된 것으로, 반복계산을 중단함으로써 제 2 시스템의 미지량을 산출하는 단계를 마친다.

- [0062] 270단계는 상기 전압의 차가 소정의 값 이하가 아닌 경우, 차량전류  $I_{veh}$ 를 갱신하고 갱신한 차량전류를 제 2 시스템의 변수교환 행렬방정식의 차량전류 값으로 설정하고, 변전소 전류를 초기 변전소 전류로 설정하는 단계이다.
- [0063] 보다 상세하게는, 상기 전압의 차가 수렴되었다고 판단할 수 있는 값 이하가 아닌 경우, 반복계산을 위하여 차량전류  $I_{veh}$ 를 갱신하고 갱신한 차량전류를 제 2 시스템의 변수교환 행렬방정식의 차량전류 값으로 설정하고, 변전소 전류를 초기 변전소 전류로 설정함으로써 제 2 시스템의 미지량을 산출하는 단계를 반복한다. 새로 산출된 변전소 전류와 차를 비교할 수 있도록 상기 변전소 전류를 초기 변전소 전류로 설정한다. 반복계산을 통해 상기 전류의 차가 수렴되었다고 판단할 수 있는 값 이하로 수렴하는 경우 반복계산을 중단함으로써 제 2 시스템의 미지량을 산출하는 단계를 마친다.
- [0064] 도 8는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 에너지 저장장치의 방전전압을 산출하는 방법의 흐름도이다.
- [0065] 310단계는 전기철도시스템의 조류계산을 수행하여 시스템의 미지량을 산출하는 단계이다.
- [0066] 보다 상세하게는 도 2와 도 5의 방법을 하나의 단계로 나타낸 것으로 상기 단계들에 대한 설명은 도 2와 도 5에 대한 설명에 대응하는바 도 2와 도 5의 상세한 설명으로 대신한다.
- [0067] 330단계는 조류계산을 통해 에너지 저장장치의 누적에너지가 없는지를 판단하는 단계이다.
- [0068] 보다 상세하게는, 에너지 저장장치를 포함하여 전기철도 시스템의 효율을 높이기 위해서는 에너지 저장장치의 누적에너지가 없어야 한다. 상기 누적에너지가 없도록 하는 특정의 방전전압은 전기철도시스템이 주기적인 시스템인 특성에 의해서 산출될 수 있다. 시스템이 주기적이지 않은 경우 상황에 따라 누적에너지가 없도록 하는 방전전압은 일정하지 않고 변동적인바 특정의 방전전압을 구할 수 없다. 하지만 전기철도시스템은 도 9에서 알 수 있는 바와 같이 주기적인 시스템이다. 도 9는 180초 주기에서의 전기철도시스템의 차량 다이어이다. 이것은 두 주기에 해당하는 360초에 대한 차량의 위치에 대한 시간을 나타낸 것이다. 도 9에서 보면, 두 번째 주기 동안의  $n-1$  번째 차량의 다이어와 첫 번째 주기 동안의  $n$  번째 차량의 다이어가 정확히 일치함을 볼 수 있다. 다시 말하면, 철도시스템은 주기마다 차량의 위치와 소비전력이 일치하므로, 주기마다 반복되는 시스템이라고 할 수 있다. 이러한 시스템의 반복성을 고려하여, 한 주기 동안 충전된 에너지를 모두 방전할 수 있는 전압을 방전전압으로 설정해야한다.
- [0069] 에너지 저장장치의 한 주기 동안 누적에너지가 없도록 하는 방전전압을 구하기 위해서 라그랑지 함수를 이용할 수 있다. 라그랑지 함수를 구하기 위해  $j$ 번째 시간에서 변전소에서 공급하는 전체 전력과 에너지에 관한 식은 수학적식 10과 11과 같다.

### 수학적식 10

$$P_j = \sum_i P_{ij}$$

[0070]

### 수학적식 11

$$E_j = \frac{T_{interval}}{3600} P_j$$

[0071]

[0072] ( $P_j$  : 모든 변전소의 총 공급용량

[0073]  $P_{ij}$  :  $i$ 번째 변전소의 공급용량

[0074]  $E_j$  : 모든 변전소의 총 공급에너지

[0075]  $T_{interval}$  : time step)

[0076] j번째 시간에서 철도시스템의 전력평형방정식(power balance equation)은 수학적식 12와 같다.

### 수학적식 12

$$\sum_i P_{ij} - P_{L_j} - P_{loss\_j} - \sum_i P_{ES\_ij} = 0$$

[0077]

[0078] ( $P_{L_j}$  : 모든 차량에서 소비되는 전력의 합

[0079]  $P_{loss\_j}$  : 시스템 손실의 합

[0080]  $E_{ES\_ij}$  : i번째 변전소에 설치된 슈퍼커패시터의 순시용량)

[0081] 주기 전체에 걸쳐 에너지 저장장치에 누적에너지가 없어야 한다는 제약조건은 다음의 수학적식 13과 같다.

### 수학적식 13

$$\sum_j P_{ES\_ij} = 0$$

[0082]

[0083] 수학적식 10부터 13을 이용하여 방전전압 결정을 위한 라그랑지 최적화 함수는 다음의 수학적식 14와 같다.

### 수학적식 14

$$L = \sum_j \left( \frac{T_{interval}}{3600} \left( P_j - \lambda_j \left( \sum_i P_{ij} - P_{L_j} - P_{loss\_j} - \sum_i P_{ES\_ij} \right) \right) \right) + \sum_i \left( \lambda_{ES\_i} \sum_j P_{ES\_ij} \right)$$

[0084]

[0085] ( $\lambda$  : Lagrange multiplier)

[0086] 수학적식 14의 해를 구함으로써 각 에너지 저장장치의 방전전압을 결정할 수 있다. 그러나 특정변전소에 대하여 변전소 전압과 에너지의 관계식을 찾는 것이 불가능하다. 이것은 철도변전소가 다이오드 정류기를 사용하여, 변전소 전압이 무부하전압보다 높아지는 경우, 그 변전소를 철도계통에서 교류계통으로 전류가 흐를 수 없는 개회로로 동일한 특성을 갖기 때문이다. 따라서 에너지 저장장치에 누적에너지가 없도록 하는 방전전압을 산출할 때까지 반복계산을 하여야 한다. 따라서 330단계에서 초기 방전전압에 의해 누적에너지가 없는지를 판단한다. 누적에너지가 특정 범위 이내인 경우 누적에너지가 없다고 판단한다. 누적에너지가 없는지를 판단하는 수학적식은 수학적식 15와 같다.

### 수학적식 15

$$\sum_i |E_{i\_n}| \leq \epsilon$$

[0087]

- [0088] 상기 판단결과, 누적에너지가 없는 경우 에너지 저장장치의 방전전압이 산출된 것으로, 반복계산을 중단함으로써 누적에너지가 없도록 하는 방전전압을 산출하는 단계를 마친다.
- [0089] 350단계는 330단계의 판단결과, 누적에너지가 남아있는 경우 상기 누적에너지가 없도록 하는 방전전압을 산출할 때까지, 소정의 함수를 통해 방전전압을 갱신하는 단계이다.
- [0090] 보다 상세하게는, 누적에너지가 없도록 하는 방전전압은 누적에너지가 없도록 하는 방전전압을 산출할 때까지 방전전압을 갱신하여 반복계산함으로써 산출할 수 있다. 상기 방전전압을 산출하기 위하여, 도 10과 같이 구배법(gradient search method)을 이용하여 에너지 누적이 발생하지 않도록 하는 방전전압(311)을 결정할 수 있다. 목적함수를 최소화하는 방전전압의 해는 초기조건 두 개를 설정하고 310단계의 조류계산 결과를 이용하여, 새로운 방전전압을 갱신하고, 상기 수학적식 15과 같이 모든 에너지 저장장치의 누적에너지 합이 특정 범위 이내로 되었을 때, 반복계산을 멈추게 된다. 방전전압을 갱신하는 식은 다음 수학적식 16과 같다.

### 수학적식 16

$$V_{i-n+1} = V_{i-n-1} - E_{i-n-1} \left( \frac{V_{i-n-1} - V_{i-n}}{E_{i-n-1} - E_{i-n}} \right)$$

- [0091]
- [0092] 누적에너지가 남아있는 경우 누적에너지가 없도록 하는 방전전압을 산출할 때까지 상기 수학적식 16을 통해 방전전압을 갱신하여 반복계산한다. 반복계산 결과 에너지 저장장치의 누적에너지가 없도록 하는 방전전압을 산출하면 반복계산을 중단함으로써 누적에너지가 없도록 하는 방전전압을 산출하는 단계를 마친다.
- [0093] 도 11는 본 발명의 일 실시예에 따른 전기철도시스템의 변전소에 설치되는 에너지 저장장치의 용량산출을 위한 방전전압을 산출하는 방법을 수식으로 나타낸 흐름도이다.
- [0094] 상기 방전전압을 산출하는 방법은 에너지 저장장치를 포함하지 않는 제 1 시스템의 조류계산을 수행하여 제 1 시스템의 미지량을 산출하는 단계(100), 상기 산출한 제 1 시스템의 미지량 중 변전소 전압에 기초하여 상기 에너지 저장장치를 포함하는 제 2 시스템의 조류계산을 수행함으로써 제 2 시스템의 미지량을 산출하는 단계(200), 및 상기 조류계산의 결과에 기초하여 상기 에너지 저장장치의 소정의 충전전압에 따른 누적에너지가 없도록 하는 방전전압을 산출하는 단계(300)를 포함한다. 도 11은 상기 단계들을 전체적으로 판단할 수 있는 수식으로 표현한 흐름도이다.
- [0095] 상기 각 단계는 도 2, 도 5, 도 8에 대한 설명에 대응하는바 도 2, 도 5, 도 8에 대한 설명으로 대신한다.
- [0096] 본 발명의 실시예들은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0097] 본 발명에 따른 전기철도 시스템의 변전소에 설치되는 에너지 저장장치의 용량산출방법의 효과는 다음과 같다.
- [0098] 본 발명의 일 실시예에 따른 전기철도 시스템의 변전소에 설치되는 에너지 저장장치의 용량산출방법을 이용하여 총 42개 역과 16개 변전소로 구성되어 있고, 180초의 주기를 가정한 서울 지하철 7호선에 대한 전력조류계산 및 저장장치 관련한 제반의 해석을 수행하였다. 에너지 저장장치인 슈퍼커패시터의 설치 효과와, 전압제어범위 최적화 알고리즘을 검증하기 위하여 각각 다른 충전전압에 대한 방전전압을 결정하여, 에너지 효율 개선 여부를 판정하였다. 상기 해석결과 슈퍼커패시터가 설치된 경우 설치하지 않은 경우에 비해 70%이상 최대 90.8%까지 에

너지효율이 개선되었다. 또한 충전전압을 무부하전압보다 높게 설정한 경우에 비해 충전전압을 무부하전압으로 설정한 경우가 현저히 에너지 효율이 개선되었다. 또한 충전전압을 무부하전압보다 낮게 설정한 경우보다 충전전압을 무부하전압으로 설정한 경우가 슈퍼커패시터의 저장용량이 적게 필요하였다.

[0099] 이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

[0100] 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

## 부호의 설명

[0101] 111, 113, 211, 212 : 에너지 저장장치

115 : 철도 차량

213 : 충전전압

215 : 방전전압

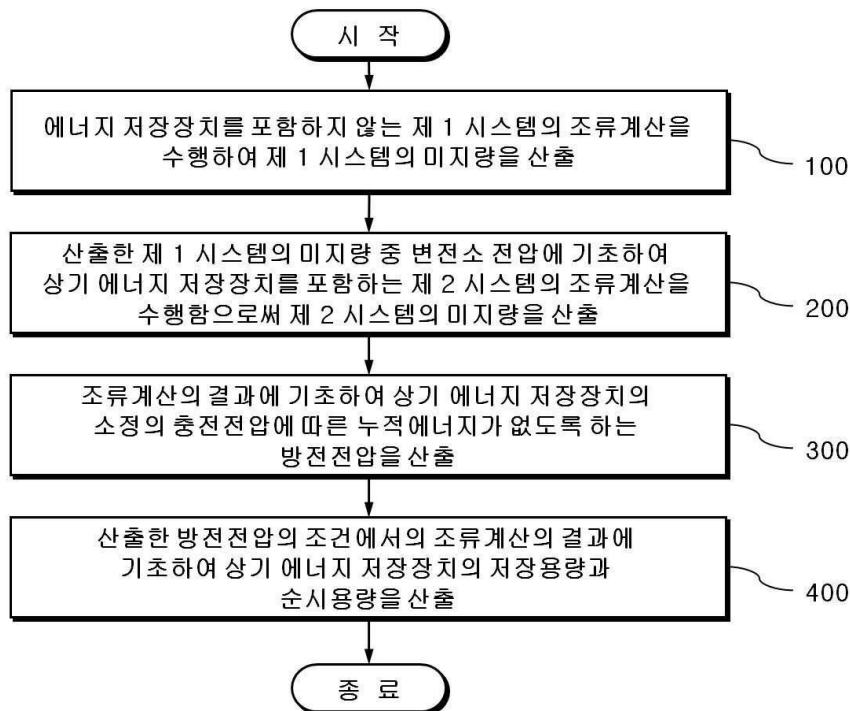
217 : 충전구간

218 : 홀딩구간

219 : 방전구간

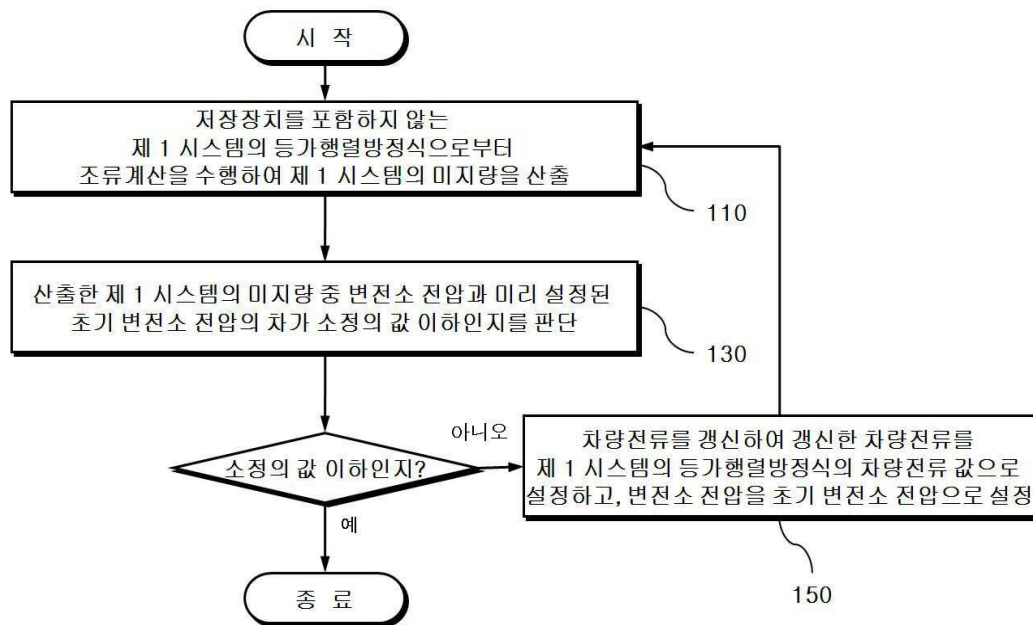
## 도면

### 도면1

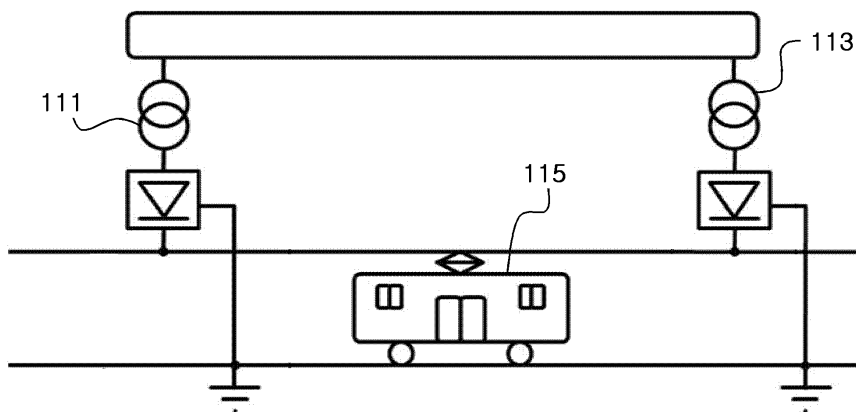




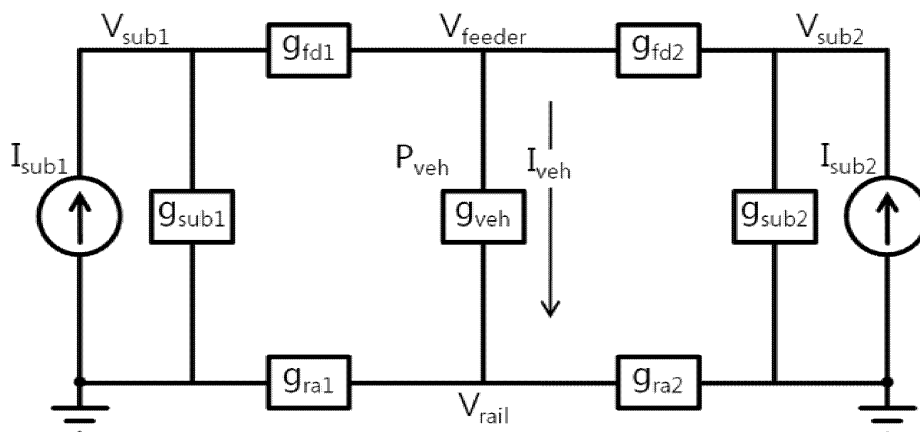
도면2



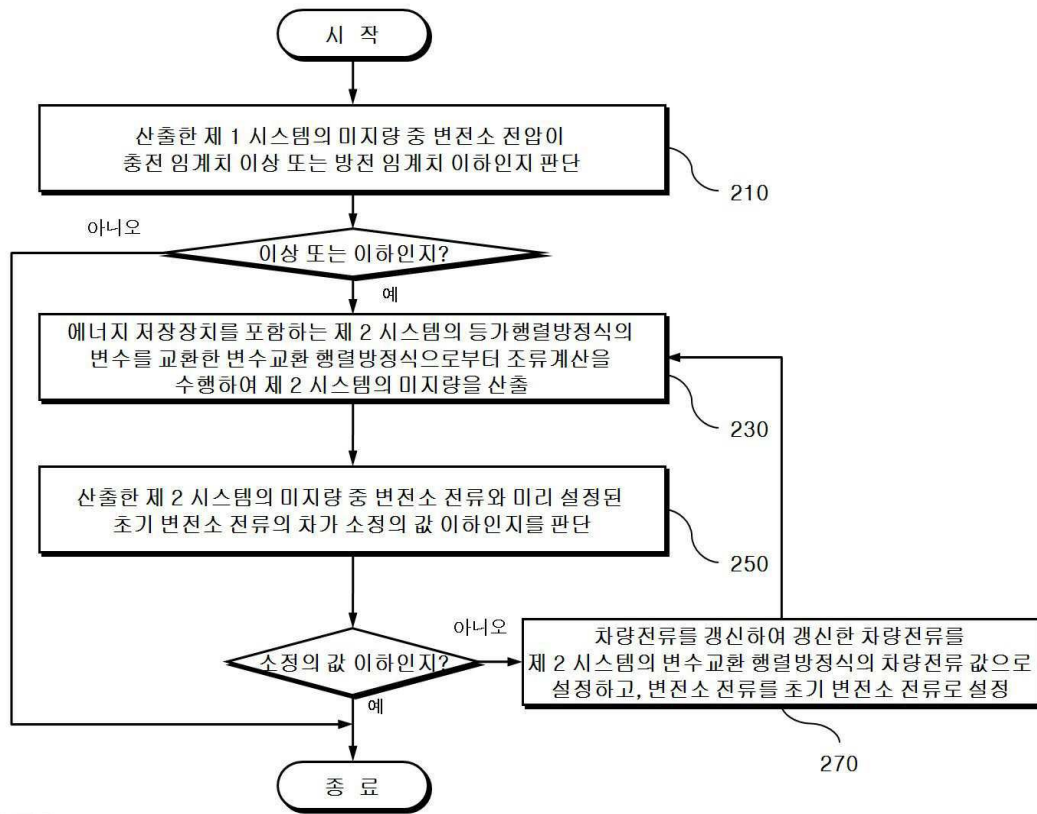
도면3



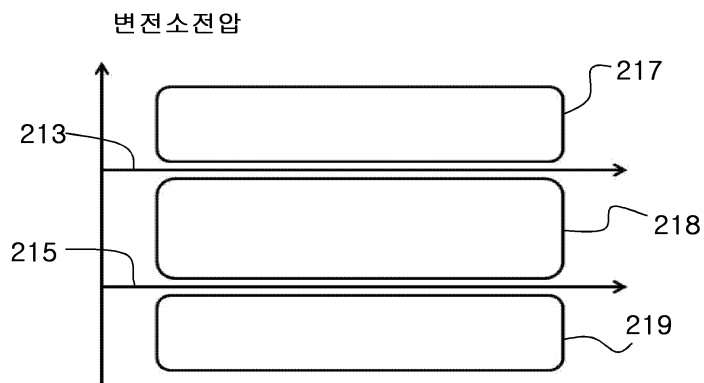
도면4



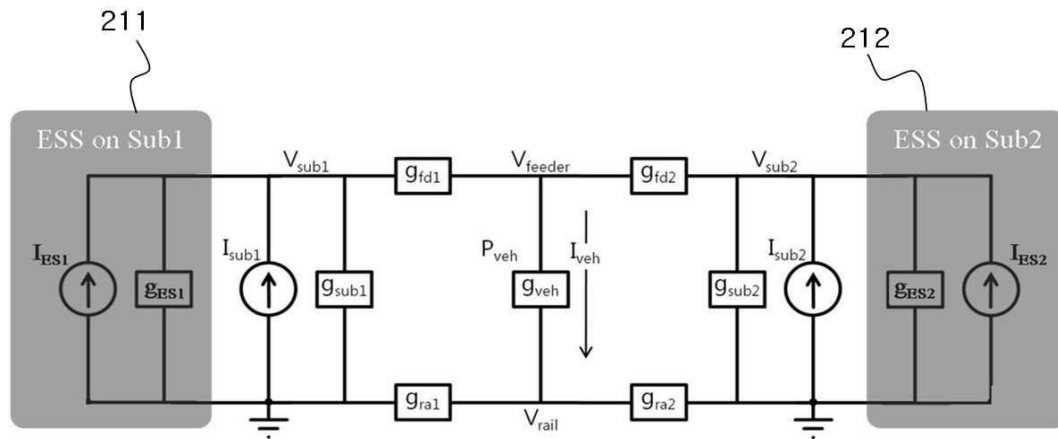
도면5



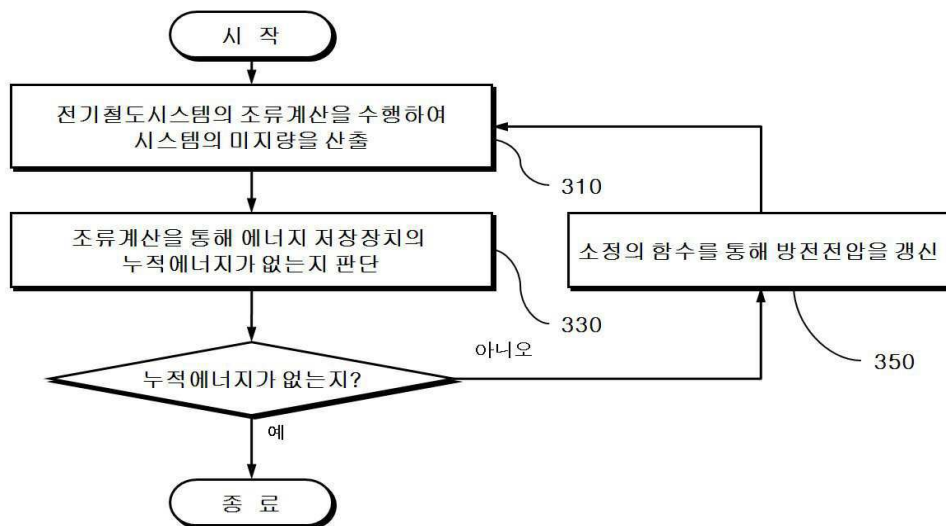
도면6



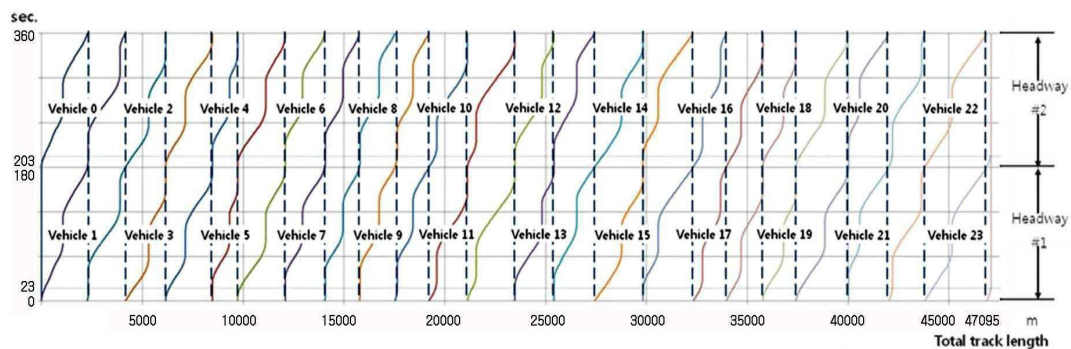
도면7



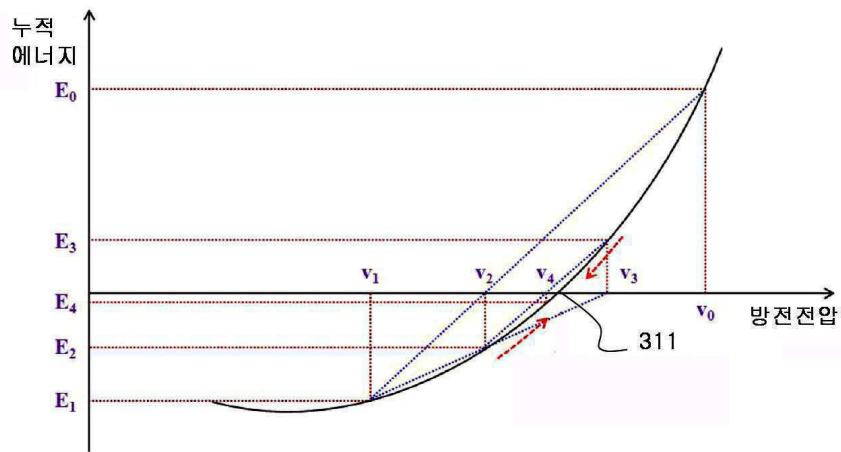
도면8



도면9



도면10



도면11

