



(12) 등록특허공보(B1)

(24) 등록일자 2021년07월15일

- 오위환, 나성곤, 정기택

심사관 : 안정환

(52) CPC특허분류

*B60W 10/08* (2013.01)  
*B60W 10/18* (2013.01)  
*B60W 30/18072* (2013.01)  
*B60W 30/18127* (2013.01)  
*B60W 50/10* (2013.01)  
*B60L 2240/12* (2013.01)  
*B60L 2240/14* (2013.01)  
*B60L 2240/421* (2013.01)  
*B60L 2260/24* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	G032050213
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	에너지기술개발사업
연구과제명	[RCMS]배전 혼잡선로 해소를 위한 태양광/ESS 일체형 시스템 및 EMS 개발(3/4)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2019.01.01 ~ 2019.12.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

운전자의 요구 제동력( $\tau_d^*$ ) 및 모터의 속도 센서 출력 값( $\omega$ )을 입력으로 유압 제동력 지령( $\tau_{hyd}^*$ )을 출력하는 BCU(Brake Control unit);

운전자의 요구 제동력( $\tau_d^*$ )을 차량의 관성 모멘트( $\hat{J}$ )로 나눠 요구 가속도( $\alpha_d$ )를 계산하는 요구가속도 산출부;

모터의 속도 센서 출력 값( $\omega$ )을 필터링 후 미분하여 모터 가속도( $\alpha$ )를 출력하는 필터링부;

요구 제동력( $\tau_d^*$ )과 속도로 인해 결정된 유압 제동력 지령( $\tau_{hyd}^*$ )과 요구 가속도( $\alpha_d$ ), 모터 가속도( $\alpha$ )를 입력으로 받아 회생 제동력 지령( $\tau_{reg}^*$ )을 출력하는 감속도 제어기;를 포함하고,

$\tilde{\alpha} = \alpha - \alpha_d$  일 때, 이를 수식으로 표현하면,

$$\tau_{reg}^* = \tau_d^* - \tau_{hyd}^* - K_{sw} \text{sgn}(\tilde{\alpha}) \quad \text{이고,}$$

회생제동과 차량 가속도 사이의 관계를 나타낸 회생제동을 위한 차량 모델에서의 전류 제어기의 비례 이득과 적분 이득을,

$K_{pc} = L_a \omega_{cc}$ ,  $K_{ic} = R_a \omega_{cc}$  로 선정하면 회생 제동력의 지령 값과 실제 값 사이가

$\tau_{reg} = \frac{\omega_{cc}}{s + \omega_{cc}} \tau_{reg}^*$  와 같이  $\omega_{cc}$ 의 절점주파수를 갖는 LPF가 되어 슬라이딩 모드 제어로 인해 만들어진 회생 제동력 지령의 고주파수 성분들이 완화되고,

여기서,  $K_{sw}$ 는 감속도 제어기 이득,  $K_{pc}$ 는 전류 제어기 비례 이득,  $K_{ic}$ 는 전류 제어기 적분 이득,  $\omega_{cc}$ 는 전류 제어기 대역폭,  $L_a$ 는 모터 고정자 인덕턴스,  $R_a$ 는 모터 고정자 저항,  $s$ 는 라플라스 복소 변수인 것을 특징으로 하는 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서, 감속도 제어기의 안정성 검사를 위해  $V = \frac{1}{2} \tilde{\alpha}^2$  으로 리아푸노프 함수를 선정하면,

감속도 제어기의 출력에 의한 회생 제동력은

$\dot{\tau}_{reg} = \omega_{cc} (\tau_d^* - \tau_{hyd}^* - K_{sw} \text{sgn}(\tilde{\alpha}) - \tau_{reg})$  인 것을 특징으로 하는 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치.

#### 청구항 4

제 3 항에 있어서, 시스템이 안정되기 위해선 리아푸노프 함수의 미분이 반드시 음수가 되어야 하므로,

$$\begin{aligned}\dot{V} &= \tilde{\alpha}\dot{\tilde{\alpha}} = \tilde{\alpha}\frac{1}{\hat{J}}(\dot{\tau}_{reg} - \dot{\tau}_{reg,d}) + \zeta \\ &= -\frac{\omega_{cc}K_{sw}}{\hat{J}}|\tilde{\alpha}| - \omega_{cc}\tilde{\alpha}^2 + \zeta < 0\end{aligned}$$

의 조건을 만족하는 것이고,

여기서,  $\zeta$  는 차량 센서의 외란인 것을 특징으로 하는 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치.

#### 청구항 5

제 4 항에 있어서, 제어 이득은,

$$K_{sw} > \frac{\hat{J}}{\omega_{cc}|\tilde{\alpha}|}(\zeta - \omega_{cc}\tilde{\alpha}^2)$$

으로 정의되는 것을 특징으로 하는 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치.

#### 청구항 6

모터의 속도 센서 출력 값( $\omega$ )을 필터링 후 미분하여 모터 가속도( $\alpha$ )를 얻는 단계;

운전자의 요구 제동력( $\tau_d^*$ )을 차량의 관성 모멘트( $\hat{J}$ )로 나눠 요구 가속도( $\alpha_d$ )를 계산하는 단계;

요구 제동력( $\tau_d^*$ )과 속도로 인해 결정된 유압 제동력 지령( $\tau_{hyd}^*$ )과 요구 가속도( $\alpha_d$ ), 모터 가속도( $\alpha$ )를 입력  
으로 받아 감속도 제어기에서 회생 제동력 지령( $\tau_{reg}^*$ )을 발생하는 단계;를 포함하고,

$\tilde{\alpha} = \alpha - \alpha_d$  일 때, 이를 수식으로 표현하면,

$$\tau_{reg}^* = \tau_d^* - \tau_{hyd}^* - K_{sw} \text{sgn}(\tilde{\alpha}) \text{ 이고,}$$

회생제동과 차량 가속도 사이의 관계를 나타낸 회생제동을 위한 차량 모델에서의 전류 제어기의 비례 이득과 적분 이득을,

$$K_{pc} = L_a \omega_{cc}, K_{ic} = R_a \omega_{cc}$$

로 선정하면 회생 제동력의 지령 값과 실제 값 사이가

$$\tau_{reg} = \frac{\omega_{cc}}{s + \omega_{cc}} \tau_{reg}^*$$

와 같이  $\omega_{cc}$ 의 절점주파수를 갖는 LPF가 되어 슬라이딩 모드 제어로 인해 만들어진 회생 제동력 지령의 고주파수 성분들이 완화되고,

여기서,  $K_{sw}$  는 감속도 제어기 이득,  $K_{pc}$  는 전류 제어기 비례 이득,  $K_{ic}$  는 전류 제어기 적분 이득,  $\omega_{cc}$  는 전류 제어기 대역폭,  $L_a$  는 모터 고정자 인덕턴스,  $R_a$  는 모터 고정자 저항,  $s$  는 라플라스 복소 변수인 것을 특징으로 하는 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 방법.

#### 발명의 설명

## 기술분야

[0001] 본 발명은 전기자동차의 제동 제어에 관한 것으로, 구체적으로 유압 제동의 지연과 차량의 관성 및 마찰력 변화에 무관하게 운전자가 요구하는 제동 성능을 유지시킬 수 있도록 한 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

## 배경기술

[0002] 세계적으로 환경오염과 에너지 자원 고갈이 심화됨에 따라 내연기관 자동차의 시대에서 배터리 전기차나 수소연료전지차와 같은 전기 자동차의 시대로 전환하기 위한 움직임이 일어나고 있다.

[0003] 이러한 전환을 사용자들이 수용하기 위해선 단순히 전기 자동차가 가지는 단점만 보완하는 것뿐만 아니라 승차감과 같이 기존 자동차 분야에서 요구하는 성능들에 대해서도 높은 완성도를 갖춰야한다.

[0004] 전기 자동차는 모터를 사용하기 때문에 제동을 위해 유압식 브레이크의 마찰력뿐만 아니라 모터의 회생 제동력을 이용하여 운동에너지를 전기에너지로 다시 회수할 수 있다.

[0005] 이 회생제동 기술은 차량의 연비를 향상시킬 수 있는 핵심 분야이기 때문에 전기 자동차에 필수적이다.

[0006] 현재 적용되는 차량에서 순수한 회생제동은 오히려 효율이 더 떨어질 수 있기 때문에 보통 유압식 브레이크와 함께 사용하는 기능(Cross Blending)을 사용한다.

[0007] 따라서, 회생제동과 유압제동 간의 긴밀한 협조 제어를 통해 제동의 안정성과 에너지 회생 비율을 향상시키는 것이 중요하다.

[0008] 그러나 두 제동의 응답 속도의 차이로 인해 회생제동과 유압제동이 변하는 천이구간에서 두 제동력의 합이 요구하는 제동력보다 크거나 작아지게 되는 현상이 일어나게 된다. 이는 차량의 감속도에 영향을 끼쳐 제동시간을 증가시키고 승차감 측면에서 제동 시 운전자에게 이질감(jerk)을 주게 된다.

[0009] 도 1은 종래 기술의 전기자동차의 협조제어를 나타낸 구성도이다.

[0010] 종래 기술의 협조제어에서는 운전자의 요구 제동력을 브레이크 페달로 입력 받으면 BCU(Brake Control unit)에서 제동의 안정성과 에너지의 회생 비율을 고려하여 속도에 따라 유압제동과 회생제동의 비율을 선정하여 분배한다.

[0011] 그러나 유압제동의 상대적으로 느린 응답속도와 부정확한 신뢰성으로 인해 제동 시 차가 흔들리는 이질감을 유발한다.

[0012] 이를 해결하기 위한 방법으로 차량의 가속도를 일정하게 유지하기 위해 회생 제동력을 제어하는 방법이 제안되었다.(공개특허 제 10-2017-0119088호 및 공개특허 제10-2014-0085137호)

[0013] 그러나 이 방법은 PID 제어기를 사용하기 때문에 안정성을 위해선 차량의 정확한 모델링이 중요하다. 따라서 차량의 가속도를 측정하는 차량 가속도 센서와 도로의 경사를 측정하는 도로 구배도 센서 등이 추가로 필요하며 외란에 매우 취약하다는 단점이 있어 실용화가 어렵다.

[0014] 또 다른 방법으로 가속도를 측정하여 하향 학습을 통해 유압 제동력의 비율을 조정하는 방법이 제안되었다.(공개특허 제10-2019-0065618호)

[0015] 그러나 저속에서 정지 직전 상태에서만 고려된 방법이라는 점과 BCU의 속도-토크 map 자체를 수정한다는 점에 이 역시 실제 적용에 제한이 많다.

[0016] 따라서, 추가적인 센서 사용없이 운전자 이질감 방지를 위한 가속도의 빠른 추종이 가능하고, 외란에 대한 강인성을 갖는 새로운 전기자동차 제동 성능 향상을 위한 기술의 개발이 요구되고 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0017] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제10-2014-0085137호

(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허 제10-2019-0065618호

(특허문헌 0003) 대한민국 공개특허 제10-2017-0119088호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0018] 본 발명은 종래 기술의 전기자동차의 제동 제어 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 회생제동과 유압제동을 함께 사용하는 전기자동차에서 모터의 속도 센서만으로 운전자 이질감 방지를 위한 가속도의 빠른 추종이 가능하고, 외란에 대한 강인성을 갖는 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0019] 본 발명은 유압 제동의 지연과 차량의 관성 및 마찰력 변화에 무관하게 운전자가 요구하는 제동 성능을 유지시킬 수 있도록 한 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0020] 본 발명은 회생 제동력이 유압제동의 변동분을 보상하여 가속도의 변화가 현저하게 감소되도록 하여 승차감 측면에서 제동 시 운전자에게 이질감(jerk)을 주는 문제를 해결할 수 있도록 한 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0021] 본 발명은 주행 시 토크제어를 위해 필요했던 속도센서를 그대로 이용하여 센서의 제작 및 유지 비용과 부피 및 무게를 절감할 수 있고, 슬라이딩 모드 제어를 적용함으로써 모델 파라미터의 부정확성에 따른 시스템의 강인성을 보장할 수 있도록 한 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0022] 본 발명의 다른 목적들은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

### 과제의 해결 수단

- [0023] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치는 운전자의 요구 제동력( $\tau_d^*$ ) 및 모터의 속도 센서 출력 값( $\omega$ )을 입력으로 유압 제동력 지령( $\tau_{hyd}^*$ )을 출력하는 BCU(Brake Control unit); 운전자의 요구 제동력( $\tau_d^*$ )을 차량의 관성 모멘트( $\hat{J}$ )로 나눠 요구 가속도( $\alpha_d$ )를 계산하는 요구가속도 산출부; 모터의 속도 센서 출력 값( $\omega$ )을 필터링 후 미분하여 모터 가속도( $\alpha$ )를 출력하는 필터링부; 요구 제동력( $\tau_d^*$ )과 속도로 인해 결정된 유압 제동력 지령( $\tau_{hyd}^*$ )과 요구 가속도( $\alpha_d$ ), 모터 가속도( $\alpha$ )를 입력으로 받아 회생 제동력 지령( $\tau_{reg}^*$ )을 출력하는 감속도 제어기;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0024] 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 방법은 모터의 속도 센서 출력 값( $\omega$ )을 필터링 후 미분하여 모터 가속도( $\alpha$ )를 얻는 단계; 운전자의 요구 제동력( $\tau_d^*$ )을 차량의 관성 모멘트( $\hat{J}$ )로 나눠 요구 가속도( $\alpha_d$ )를 계산하는 단계; 요구 제동력( $\tau_d^*$ )과 속도로 인해 결정된 유압 제동력 지령( $\tau_{hyd}^*$ )과 요구 가속도( $\alpha_d$ ), 모터 가속도( $\alpha$ )를 입력으로 받아 감속도 제어기에서 회생 제동력 지령( $\tau_{reg}^*$ )을 발생하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

### 발명의 효과

- [0025] 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치 및 방법은 다음과 같은 효과가 있다.

- [0026] 첫째, 회생제동과 유압제동을 함께 사용하는 전기자동차에서 모터의 속도 센서만으로 운전자 이질감 방지를 위한 가속도의 빠른 추종이 가능하고, 외란에 대한 강인성을 갖는 제동 방법을 제공한다.
- [0027] 둘째, 유압 제동의 지연과 차량의 관성 및 마찰력 변화에 무관하게 운전자가 요구하는 제동 성능을 유지시킬 수 있도록 한다.
- [0028] 셋째, 회생 제동력이 유압제동의 변동분을 보상하여 가속도의 변화가 현저하게 감소되도록 하여 승차감 측면에서 제동 시 운전자에게 이질감(jerk)을 주는 문제를 해결할 수 있다.
- [0029] 넷째, 주행 시 토크제어를 위해 필요했던 속도센서를 그대로 이용하여 센서의 제작 및 유지 비용과 부피 및 무게를 절감할 수 있고, 슬라이딩 모드 제어를 적용함으로써 모델 파라미터의 부정확성에 따른 시스템의 강인성을 보장할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0030] 도 1은 종래 기술의 전기자동차의 협조제어를 나타낸 구성도
- 도 2는 본 발명에 따른 전기자동차의 협조제어를 나타낸 구성도
- 도 3은 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치의 구성도
- 도 4는 회생제동을 위한 차량 모델 구성도
- 도 5는 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 방법을 나타낸 플로 우 차트
- 도 6은 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치 및 방법의 시뮬 레이션 결과 그래프

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] 이하, 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치 및 방법의 바람 직한 실시 예에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0032] 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치 및 방법의 특징 및 이 점들은 이하에서의 각 실시 예에 대한 상세한 설명을 통해 명백해질 것이다.
- [0033] 도 2는 본 발명에 따른 전기자동차의 협조제어를 나타낸 구성도이고, 도 3은 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제 어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치의 구성도이다.
- [0034] 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치 및 방법은 회생제동과 유압제동을 함께 사용하는 전기자동차에서 모터의 속도 센서만으로 운전자 이질감 방지를 위한 가속도의 빠른 추종이 가능하고, 외란에 대한 강인성을 갖는 제동 방법을 제공하기 위한 것으로, 유압 제동의 지연과 차량의 관성 및 마찰력 변화에 무관하게 운전자가 요구하는 제동 성능을 유지시킬 수 있도록 한 것이다.
- [0035] 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치는 운전자의 요구 제동 력( $\tau_d^*$ ) 및 모터의 속도 센서 출력 값( $\omega$ )을 입력으로 유압 제동력 지령( $\tau_{hyd}^*$ )을 출력하는 BCU(Brake Control unit)(21)와, 운전자의 요구 제동력( $\tau_d^*$ )을 차량의 관성 모멘트( $\hat{J}$ )로 나눠 요구 가속도( $\alpha_d$ )를 계산하는 요구 가속도 산출부(22)와, 모터의 속도 센서 출력 값( $\omega$ )을 필터링 후 미분하여 모터 가속도( $\alpha$ )를 출력하는 필터 링부(23)와, 요구 제동력( $\tau_d^*$ )과 속도로 인해 결정된 유압 제동력 지령( $\tau_{hyd}^*$ )과 요구 가속도( $\alpha_d$ ), 모터 가속 도( $\alpha$ )를 입력으로 받아 회생 제동력 지령( $\tau_{reg}^*$ )을 출력하는 감속도 제어기(24)를 포함한다.
- [0036] 유압제동의 경우 유압 제동력 지령을 전달한 후 실제 유압 제동력이 발생하기까지 상대적으로 긴 지연을 갖는다. 반면 회생 제동력은 지령 전달 후 거의 즉각적으로 발생시킬 수 있다.
- [0037] 이러한 두 제동력 간의 응답속도 차이는 유압제동과 회생제동의 비율이 달라지는 천이 구간에서 두 제동력의 합



이 운전자가 요구하는 제동력보다 크거나 작아지는 현상으로 일어난다.

[0038] 또한, 유압제동의 문제점인 베이퍼 록(Vapor Lock)현상과 페이드(Brake Fade) 현상으로 인해 유압 제동력 지령과 실제 유압 제동력 간의 차이가 발생할 수 있다. 이러한 현상은 차량이 순간적으로 흔들리게 만들어 운전자에게 이질감을 제공한다.

[0039] 또한 도로의 경사도(구배도)나 노면 재질에 따라 차량에 가해지는 마찰력 또한 운전자의 요구 제동력과 실제 제동력 간의 차이를 발생시키는 주요한 요인으로 존재한다.

[0040] 본 발명에 따른 감속도 제어기는 이러한 현상을 발생시키는 유압 제동력의 오차와, 도로 및 차량 무게에 의한 마찰력 등을 외란( $\zeta$ )으로 간주하고 슬라이딩 모드 제어를 적용함으로써 응답속도가 빠른 회생제동으로 외란을 보상하여 차량의 가속도가 운전자가 요구하는 가속도를 추종하도록 한다.

[0041] 도 3은 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치의 구성도이다.

[0042] 도 3의 (30)은 감속도 제어기의 상세 구성이고, (31)은 차량에 구성되는 부분이다.

[0043]  $\tilde{\alpha} = \alpha - \alpha_d$  일 때, 이를 수식으로 표현하면 수학식 1에서와 같다.

### 수학식 1

[0044] 
$$\tau_{reg}^* = \tau_d^* - \tau_{hyd}^* - K_{sw} \text{sgn}(\tilde{\alpha})$$

[0045] 도 4는 회생제동을 위한 차량 모델 구성도이다.

[0046] 회생제동과 차량 가속도 사이의 관계를 표현한 도 4에서 전류 제어기의 비례 이득과 적분 이득을 각각 수학식 2에서와 같이 선정하면 회생 제동력의 지령 값과 실제 값 사이가 수학식 3과 같이  $\omega_{cc}$ 의 절점주파수를 갖는 LPF가 됨을 알 수 있다.

### 수학식 2

[0047] 
$$K_{pc} = L_a \omega_{cc}, K_{ic} = R_a \omega_{cc}$$

여기서,  $K_{pc}$ 는 전류 제어기 비례 이득,  $K_{ic}$ 는 전류 제어기 적분 이득,  $\omega_{cc}$ 는 전류 제어기 대역폭,  $L_a$ 는 모터 고정자 인덕턴스,  $R_a$ 는 모터 고정자 저항이다.

### 수학식 3

[0048] 
$$\tau_{reg} = \frac{\omega_{cc}}{s + \omega_{cc}} \tau_{reg}^*$$

[0049] 즉, 슬라이딩 모드 제어로 인해 만들어진 회생 제동력 지령의 고주파수 성분들이 완화시킬 수 있음을 의미한다.

[0050] 본 발명에 따른 감속도 제어기의 안정성 검사를 위해 수학식 4와 같은 리아푸노프 함수를 선정한다.



## 수학식 4

$$V = \frac{1}{2} \tilde{\alpha}^2$$

[0051]

[0052] 요구 제동력에 의한 회생 제동력과 제어기의 출력에 의한 회생 제동력은 각각 다음과 같이 표현된다.

## 수학식 5

$$\dot{\tau}_{reg,d} = \omega_{cc} (\tau_d^* - \tau_{hyd}^* - \tau_{reg,d})$$

[0053]

## 수학식 6

$$\dot{\tau}_{reg} = \omega_{cc} (\tau_d^* - \tau_{hyd}^* - K_{sw} \operatorname{sgn}(\tilde{\alpha}) - \tau_{reg})$$

[0054]

여기서,  $K_{sw}$  는 감속도 제어기 이득이다.

[0055] 시스템이 안정되기 위해선 리아푸노프 함수의 미분이 반드시 음수가 되어야 하므로 다음 조건을 만족한다.

## 수학식 7

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \tilde{\alpha} \dot{\tilde{\alpha}} = \tilde{\alpha} \frac{1}{\hat{J}} (\dot{\tau}_{reg} - \dot{\tau}_{reg,d}) + \zeta \\ &= -\frac{\omega_{cc} K_{sw}}{\hat{J}} |\tilde{\alpha}| - \omega_{cc} \tilde{\alpha}^2 + \zeta < 0 \end{aligned}$$

[0056]

[0057] 즉, 제어 이득을 수학식 8과 같이 선정함으로써 설계한 제어기의 안정성을 보장할 수 있다.

## 수학식 8

$$K_{sw} > \frac{\hat{J}}{\omega_{cc} |\tilde{\alpha}|} (\zeta - \omega_{cc} \tilde{\alpha}^2)$$

[0058]

[0059] 도 5는 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 방법을 나타낸 플로 우 차트이다.

[0060] 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 방법은 모터의 속도 센서 출력 값( $\omega$ )을 필터링 후 미분하여 모터 가속도( $\alpha$ )를 얻는 단계(S501)와, 운전자의 요구 제동력( $\tau_d^*$ )을 차량의 관성 모멘트( $\hat{J}$ )로 나눠 요구 가속도( $\alpha_d$ )를 계산하는 단계(S502)와, 요구 제동력( $\tau_d^*$ )과 속도로 인해 결정된 유압 제동력 지령( $\tau_{hyd}^*$ )과 요구 가속도( $\alpha_d$ ), 모터 가속도( $\alpha$ )를 입력으로 받아 감속도 제어기에서 회생 제동

력 지령( $\tau_{reg}^*$ )을 발생하는 단계(S503)를 포함한다.

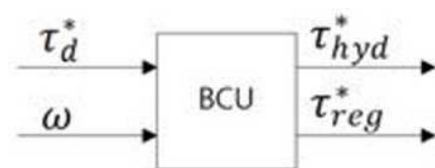
- [0061] 도 6은 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치 및 방법의 시뮬레이션 결과 그래프이다.
- [0062] 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치 및 방법을 검증하기 위해 초기 350 rad/s의 속도에서 운전자가 20Nm의 총 제동력을 요구하는 상황을 가정하여 BCU에서 회생제동과 유압제동의 비율을 바로 결정하는 기존의 방법과 제안한 방법을 비교하였다.
- [0063] 두 제동력 변동에 따른 가속도 변화를 확인하기 위해 처음은 회생제동만으로 제동을 하다가, 2.7초 후 회생 제동력과 유압 제동력 지령을 모두 10Nm로 바꾸었다.
- [0064] 도 6의 (a)를 보면 유압제동은 지령과 실제 값 사이에 지연이 존재한다.
- [0065] 그러나 도6 (b)의 기존 회생 제동력을 보면 유압제동과 비교했을 때 거의 즉각적으로 반응한다. 이러한 차이로 인해 도 6(c)의 가속도는 크게 출렁임을 확인할 수 있었다.
- [0066] 이에 비하여, 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치 및 방법에서는 도 6(b)에서 회생 제동력이 유압제동의 변동분을 보상하여 변함을 확인할 수 있다. 따라서 도 6(c)에서 보듯 가속도의 변화가 현저하게 감소함을 알 수 있다.
- [0067] 이상에서 설명한 본 발명에 따른 슬라이딩 모드 제어를 이용한 전기자동차의 제동 성능 향상을 위한 장치 및 방법은 회생 제동력이 유압제동의 변동분을 보상하여 가속도의 변화가 현저하게 감소되도록 하여 승차감 측면에서 제동 시 운전자에게 이질감(jerk)을 주는 문제를 해결할 수 있도록 한 것이다.
- [0068] 주행 시 토크제어를 위해 필요했던 속도센서를 그대로 이용하여 센서의 제작 및 유지 비용과 부피 및 무게를 절감할 수 있고, 슬라이딩 모드 제어를 적용함으로써 모델 파라미터의 부정확성에 따른 시스템의 강인성을 보장할 수 있도록 한다.
- [0069] 이상에서의 설명에서와 같이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 본 발명이 구현되어 있음을 이해할 수 있을 것이다.
- [0070] 그러므로 명시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 하고, 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구 범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

## 부호의 설명

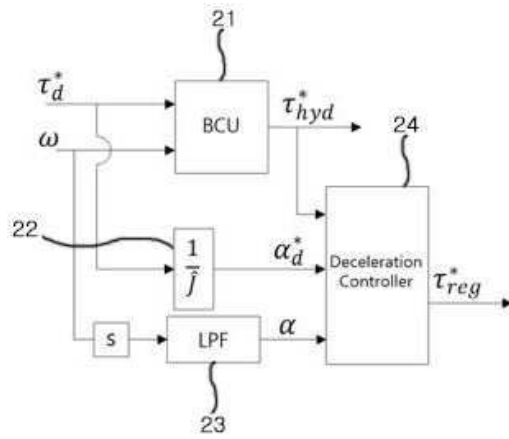
- [0071] 21. BCU
22. 요구가속도 산출부
23. 필터링부
24. 감속도 제어기

## 도면

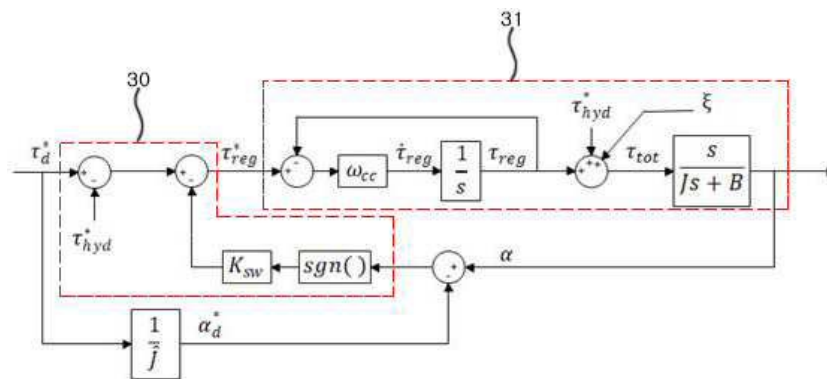
### 도면1



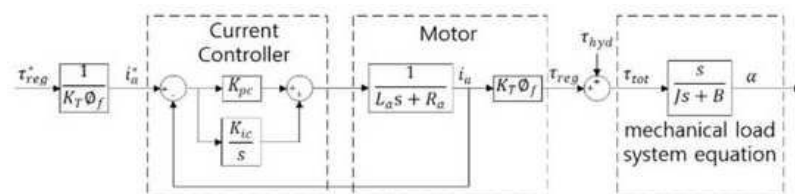
도면2



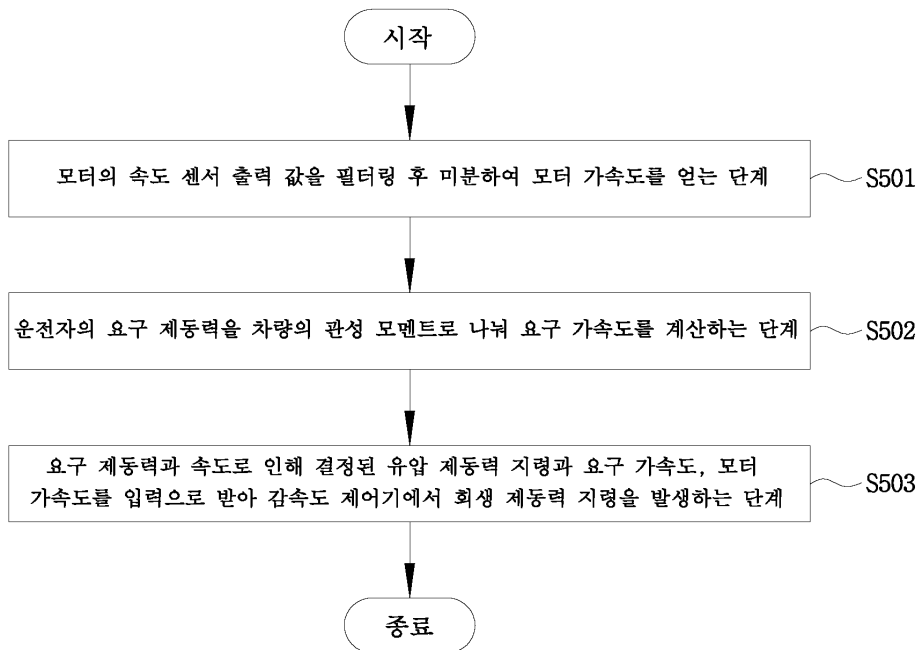
도면3



도면4



도면5



도면6

