

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2020년 10월 1일 (01.10.2020) **WIPO | PCT**



(10) 국제공개번호
WO 2020/197001 A1

(51) 국제특허분류:
H02P 21/00 (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2019/010318

(22) 국제출원일: 2019년 8월 13일 (13.08.2019)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:
10-2019-0034518 2019년 3월 26일 (26.03.2019) KR

(71) 출원인: 엘에스일렉트릭 주식회사 (**LS ELECTRIC CO., LTD.**) [KR/KR]; 14119 경기도 안양시 동안구 엘에스로 127 (호계동), Gyeonggi-do (KR).

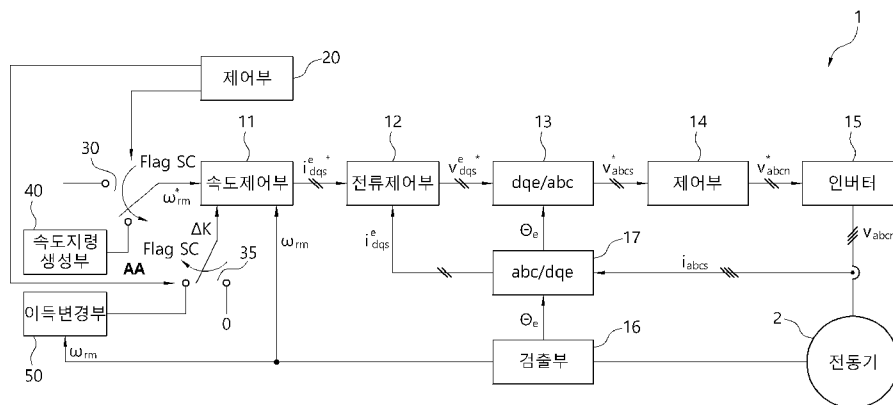
(72) 발명자: 이학준 (**LEE, Hak Jun**); 14118 경기도 안양시 동안구 엘에스로116번길 40 LSIS R&D 캠퍼스, Gyeonggi-do (KR).

(74) 대리인: 특허법인 이룸리온 (**ERUUM & LEEON INTELLECTUAL PROPERTY LAW FIRM**); 06575 서울시 서초구 사평대로 108, 3층 (반포동), Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,

(54) Title: ELECTRIC MOTOR DRIVING SYSTEM

(54) 발명의 명칭: 전동기 구동 시스템



2 ... Electric motor
11 ... Speed control unit
12 ... Current control unit
14, 20 ... Control unit
15 ... Inverter
16 ... Detection unit
40 ... Speed command generation unit
50 ... Gain changing unit
AA ... Flag SC

(57) Abstract: Disclosed is an electric motor driving system. A system according to an embodiment of the present invention includes: a speed control unit which outputs a current command from the difference between a speed command of an electric motor and a feedback speed of the electric motor, the current command being output through a proportional-integral control to which a proportional gain and a first integral gain are applied; a speed command generation unit which outputs the speed command by using a sine function in which the speed command is the amplitude and a speed control bandwidth is the frequency; and a gain changing unit which adjusts the proportional gain and the first integral gain so that the phase difference between the speed command and the feedback speed is substantially $\pi/4$.

SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

(57) 요약서: 전동기 구동 시스템이 개시된다. 본 발명의 일실시예의 시스템은, 전동기의 속도지령과 상기 전동기의 궤환속도의 차이로부터, 비례이득 및 제1 적분이득을 적용하는 비례적분제어를 통해 전류지령을 출력하는 속도제어부, 상기 속도지령의 진폭과 속도제어 대역폭이 주파수인 사인함수를 이용하여 상기 속도지령을 출력하는 속도지령 생성부, 및 상기 속도지령과 상기 궤환속도간 위상차가 실질적으로 $\pi/4$ 가 되도록, 상기 비례이득 및 상기 제1 적분이득을 조정하는 이득변경부를 포함한다.

명세서

발명의 명칭: 전동기 구동 시스템

기술분야

- [1] 본 발명은 전동기 구동 시스템에 대한 것이다.
[2]

배경기술

- [3] 전력용 반도체 기술의 발전으로 고속의 스위칭이 가능한 전력소자를 이용하여, 가변전압 가변주파수(variable voltage variable frequency, VVVF)의 전원을 비교적 쉽게 구현할 수 있게 되었다. VVVF는 주로 직류전압을 입력으로 하여 교류의 가변 전압원을 발생시키는 전압형 인버터에 사용된다. 이러한 전압형 인버터는 에너지 저장 시스템(ESS), 태양광 인버터(PV 인버터), 전동기 구동기술에 주로 사용되고 있다.
- [4] 전동기 구동시, 전동기의 회전속도는 부하토크에 의해 결정되므로, 전동기의 속도를 제어하고자 하는 경우 속도제어 시스템에서 전동기의 토크를 제어해야 한다.
- [5] 전압형 인버터를 이용한 전동기의 속도제어 시스템에서 속도 제어기는 보통 간단한 비례적분기로 구성되는데, 통상 비례적분기의 비례적분 이득은 전동기 구동시스템의 전체 관성정보가 필요하다.
- [6] 종래의 시스템에서 속도제어기의 이득은 기계적 상수인 관성에 의존하는데, 시스템 정수의 정보가 올바르지 않은 경우에는 속도제어기가 설계된 제어대역폭을 만족하지 못하게 되어 속도제어의 성능을 악화시킬 수 있다.
- [7] 보통, 인버터로 전동기를 구동하는 경우, 기계적인 상수인 관성은 얻기 힘든 정보이며, 이를 얻기 위해서는 사용자가 계측기를 통해 직접 속도와 토크를 측정하여 관성정보를 얻거나, 따로 관성추정을 위한 과정을 인버터 동작에 추가하는 등의 과정이 요구된다. 그러나 이를 위해서는 전동기가 안정적으로 동작하여야 하므로, 전동기의 동작 초기에는 정확한 관성정보를 얻기 어려운 문제점이 있다.

[8]

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [9] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 관성정보를 활용하지 않으면서 간단하게 비례적분 이득을 설정하는 전동기 구동 시스템을 제공하는 것이다.
[10]

과제 해결 수단

- [11] 상기와 같은 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명의 일실시예의 전동기 구동 시스템은, 전동기의 속도지령과 상기 전동기의 궤환속도의 차이로부터,

비레이득 및 제1적분이득을 적용하는 비례적분제어를 통해 전류지령을 출력하는 속도제어부; 상기 속도지령의 진폭과 속도제어 대역폭이 주파수인 사인함수를 이용하여 상기 속도지령을 출력하는 속도지령 생성부; 및 상기 속도지령과 상기 궤환속도간 위상차가 실질적으로 $\pi/4$ 가 되도록, 상기 비레이득 및 상기 제1적분이득을 조정하는 이득변경부를 포함할 수 있다.

[12] 본 발명의 일실시예에서, 상기 속도제어 대역폭은, 상기 속도제어부에 정현파인 속도지령이 인가되는 경우, 상기 궤환속도의 위상지연이 실질적으로 $\pi/4$ 가 되는 주파수일 수 있다.

[13] 본 발명의 일실시예에서, 상기 이득변경부는, 상기 궤환속도와 상기 속도제어 대역폭으로부터, 가상의 d축의 제1신호와, 상기 제1신호보다 $-\pi/2$ 의 위상지연을 가지고 직교성분인 가상의 q축의 제2신호를 출력하는 위상변경부; 상기 속도제어 대역폭으로부터 회전변환을 위한 위상각을 출력하는 제1적분부; 상기 위상각을 이용하여 상기 제1 및 제2신호를 각각 회전변환하여 직류인 제3 및 제4신호를 출력하는 회전변환부; 상기 제3 및 제4신호를 속도제어 이득조정을 위한 제2적분이득을 적용하여 적분제어하여, 속도제어 조정이득을 위한 변화량을 출력하는 적분제어부를 포함할 수 있다.

[14] 본 발명의 일실시예에서, 상기 위상변경부는, SOGI(Second Order Generalized Integrator)를 포함할 수 있다.

[15] 본 발명의 일실시예에서, 상기 적분제어부는, 상기 제3 및 제4신호의 오차를 결정하는 오차결정부; 상기 오차에 상기 제2적분이득을 적용하는 적분이득 적용부; 및 상기 적분이득 적용부의 출력을 적분하여 상기 변화량을 출력하는 제2적분부를 포함할 수 있다.

[16] 본 발명의 일실시예의 시스템은, 상기 속도제어부와 상기 속도지령 생성부를 스위칭하는 제1스위치부; 상기 속도제어부와 상기 이득변경부를 스위칭하는 제2스위치부; 및 상기 제1스위치부 및 상기 제2스위치부의 온 또는 오프를 제어하는 제어신호를 출력하는 제어부를 더 포함할 수 있다.

[17] 본 발명의 일실시예에서, 상기 비레이득은 $K_p = 3 \frac{T_{rated}}{\omega_{rm\_rated}} (K + \Delta K)$ 이고, 상기

제1적분이득은 $K_i = 0.2 K_p \omega_{sc} = 0.2 \cdot 3 \frac{T_{rated}}{\omega_{rm\_rated}} (K + \Delta K) \omega_{sc}$ 일 수 있고, 이때, T_{rated} 는 상기

전동기의 정격토크이고, ω_{rm_rated} 는 상기 전동기의 정격속도이며, K 는 상기 속도제어부의 조정이득이고, ΔK 는 상기 변화량으로, $\Delta K = \frac{K_{sc}}{s} (\omega_{rm}^{de} - \omega_{rm}^{qe})$ 일 수 있다.

또한, K_{sc} 는 상기 제2적분이득이고, ω_{rm}^{de} 는 상기 제3신호이고, ω_{rm}^{qe} 는 상기 제4신호일 수 있다.

[18]

[19] 또한, 상기와 같은 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명의 일실시예의 전동기 구동 시스템은, 전동기의 속도지령과 상기 전동기의 궤환속도의 차이로부터,

비레이득 및 제1적분이득을 적용하는 비례적분제어를 통해 전류지령을 출력하는 속도제어부; 상기 속도지령의 진폭과 속도제어 대역폭이 주파수인 사인함수를 이용하여 상기 속도지령을 출력하는 속도지령 생성부; 및 상기 궤환속도의 크기가 상기 속도지령의 크기에 비해 실질적으로 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 이 되도록, 상기 비레이득 및 상기 제1적분이득을 조정하는 이득변경부를 포함할 수 있다.

[20] 본 발명의 일실시예에서, 상기 속도제어 대역폭은, 상기 속도제어부에 정현파인 속도지령이 인가되는 경우, 상기 궤환속도의 크기가 상기 속도지령에 비해 실질적으로 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 이 되는 주파수일 수 있다.

[21] 본 발명의 일실시예에서, 상기 이득변경부는, 상기 궤환속도와 상기 속도제어 대역폭으로부터, 가상의 d축의 제1신호와, 상기 제1신호보다 $-\pi/2$ 의 위상지연을 가지고 직교성분인 가상의 q축의 제2신호를 출력하는 위상변경부; 상기 속도제어 대역폭으로부터 회전변환을 위한 위상각을 출력하는 제1적분부; 상기 위상각을 이용하여 상기 제1 및 제2신호를 각각 회전변환하여 직류인 제3 및 제4신호를 출력하는 회전변환부; 상기 제3신호와 제3신호의 곱을 출력하기 위한 제1곱셈부; 상기 제4신호와 제4신호의 곱을 출력하기 위한 제2곱셈부; 상기 제1 및 제2곱셈부의 출력을 가산하기 위한 가산부; 상기 가산부의 출력과 $\omega_m/2$ (ω_m 은 상기 속도지령의 진폭임)을 속도제어 이득조정을 위한 제2적분이득을 적용하여 적분제어하여, 속도제어 조정이득을 위한 변화량을 출력하는 적분제어부를 포함할 수 있다.

[22] 본 발명의 일실시예에서, 상기 위상변경부는, SOGI를 포함할 수 있다.

[23] 본 발명의 일실시예에서, 상기 적분제어부는, 상기 가산부의 출력과 상기 $\omega_m/2$ 의 오차를 결정하는 오차결정부; 상기 오차에 상기 제2적분이득을 적용하는 적분이득 적용부; 및 상기 적분이득 적용부의 출력을 적분하여 상기 변화량을 출력하는 제2적분부를 포함할 수 있다.

[24] 본 발명의 일실시예의 시스템은, 상기 속도제어부와 상기 속도지령 생성부를 스위칭하는 제1스위치부; 상기 속도제어부와 상기 이득변경부를 스위칭하는 제2스위치부; 및 상기 제1스위치부 및 상기 제2스위치부의 온 또는 오프를 제어하는 제어신호를 출력하는 제어부를 더 포함할 수 있다.

[25] 본 발명의 일실시예에서, 상기 비레이득은 $K_p = 3 \frac{T_{rated}}{\omega_{rm\_rated}} (K + \Delta K)$ 이고, 상기

제1적분이득은 $K_i = 0.2 K_p \omega_{sc} = 0.2 \cdot 3 \frac{T_{rated}}{\omega_{rm\_rated}} (K + \Delta K) \omega_{sc}$ 일 수 있으며, 이때, T_{rated} 는 상기

전동기의 정격토크이고, ω_{rm_rated} 는 상기 전동기의 정격속도이며, K 는 상기 속도제어부의 조정이득이고, ΔK 는 상기 변화량으로,

$\Delta K = \frac{K_{sc}}{s} \left(\frac{\omega_m}{2} - (\omega_{rm}^{de} \cdot \omega_{rm}^{de} + \omega_{rm}^{qe} \cdot \omega_{rm}^{qe}) \right)$ 일 수 있다. 또한, K_{sc} 는 상기 제2적분이득이고,

$\omega_{rm}^{de} \cdot \omega_{rm}^{de} + \omega_{rm}^{qe} \cdot \omega_{rm}^{qe}$ 는 상기 가산부의 출력일 수 있다.

[26]

발명의 효과

[27]

상기와 같은 본 발명은, 별도의 계측 또는 추정과정을 통하지 않고 전동기의 명판값으로부터 간단히 속도제어 조정이득의 조정을 통해 속도제어 이득을 설정하여, 최적의 이득을 설정하게 하는 효과가 있다.

[28]

도면의 간단한 설명

[29]

도 1은 일반적인 전동기 속도제어 시스템의 구성도이다.

[30]

도 2는 도 1의 속도제어부의 상세 구성도이다.

[31]

도 3은 본 발명의 일실시예의 전동기 구동 시스템의 구성도이다.

[32]

도 4는 도 3의 속도지령 생성부의 상세 구성도이다.

[33]

도 5는 도 3의 이득변경부의 제1실시예의 상세 구성도이다.

[34]

도 6은 도 3의 이득변경부의 제2실시예의 상세 구성도이다.

[35]

발명의 실시를 위한 최선의 형태

[36]

본 발명의 구성 및 효과를 충분히 이해하기 위하여, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 설명한다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라, 여러가지 형태로 구현될 수 있고 다양한 변경을 가할 수 있다. 단지, 본 실시예에 대한 설명은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위하여 제공되는 것이다. 첨부된 도면에서 구성요소는 설명의 편의를 위하여 그 크기를 실제보다 확대하여 도시한 것이며, 각 구성요소의 비율은 과장되거나 축소될 수 있다.

[37]

'제1', '제2' 등의 용어는 다양한 구성요소를 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소는 위 용어에 의해 한정되어서는 안 된다. 위 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용될 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 권리범위를 벗어나지 않으면서 '제1구성요소'는 '제2구성요소'로 명명될 수 있고, 유사하게 '제2구성요소'도 '제1구성요소'로 명명될 수 있다. 또한, 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 표현하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 발명의 실시예에서 사용되는 용어는 다르게 정의되지 않는 한, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 통상적으로 알려진 의미로 해석될 수 있다.

[38]

이하에서는, 도 1 및 도 2를 참조로 종래의 전동기 구동 시스템을 설명하고, 도 3 내지 도 6을 참조하여 본 발명의 일실시예의 전동기 구동 시스템을 설명하기로 한다.

[39]

도 1은 일반적인 전동기 속도제어 시스템의 구성도이다.

[40]

속도제어부(110)는 전동기(200)의 속도지령 ω_{rm}^* 을 추종하기 위해 동기각 및

속도검출기(위치센서)(160) 또는 위치추정기로부터 속도 ω_{rm} 를 측정하여 제어에 사용하며, 속도지령과 측정속도의 차이로부터 동기좌표계 전류지령 i_{dqs}^{e*} 을 출력한다.

- [41] 전류제어부(120)는 속도제어부(110)의 출력인 동기좌표계 d, q축 전류지령 i_{dqs}^{e*} 을 추종하기 위해, 전동기(200)의 d, q축 전류 i_{dqs}^e 를 측정하여 제어에 사용하며, 전류지령과 측정전류의 차이로부터 동기좌표계 d, q축 전압지령 v_{dqs}^{e*} 을 출력한다.
- [42] 이때 전류지령은 $i_{dqs}^{e*} = \begin{bmatrix} i_{ds}^{e*} \\ i_{qs}^{e*} \end{bmatrix}$ 의 벡터로 표현가능하고, 측정전류는 $i_{dqs}^e = \begin{bmatrix} i_{ds}^e \\ i_{qs}^e \end{bmatrix}$ 의 벡터로

표현가능하다.

- [43] 좌표변환부(130)는 동기좌표계 d, q축 물리량을 abc 물리량으로 변환하고, 좌표변환부(170)는 abc 물리량을 동기좌표계 d, q축 물리량으로 변환한다.
- [44] 좌표변환부(130)의 입력인 v_{dqs}^{e*} 를 v_{abcs}^* 로 변경하기 위해 다음 수학적식을 이용한다.

아래에서, $v_{dqs}^{e*} = \begin{bmatrix} v_{ds}^{e*} \\ v_{qs}^{e*} \end{bmatrix}$ 이고, $v_{abcs}^* = \begin{bmatrix} v_{as}^* \\ v_{bs}^* \\ v_{cs}^* \end{bmatrix}$ 이다.

- [45] [수식1]

$$\begin{bmatrix} v_{as}^* \\ v_{bs}^* \\ v_{cs}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & \sqrt{3} \\ 2 & 2 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_e & -\sin\theta_e \\ \sin\theta_e & \cos\theta_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{ds}^{e*} \\ v_{qs}^{e*} \end{bmatrix}$$

- [46] 위 수학적식 1에서 사용한 각 θ_e 는 동기각 및 속도검출기(160)로부터 검출되는 전기각이다.

- [47] 또한, 좌표변환부(170)의 입력인

i_{abcs}

를

i_{dqs}^e

로 변경하기 위해 아래의 수학적식을 이용한다. 여기서

$$i_{dqs}^e = \begin{bmatrix} i_{ds}^e \\ i_{qs}^e \end{bmatrix}$$

이고,

$$i_{abcs} = \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix}$$

이다.

- [48] [수식2]

$$\begin{bmatrix} i_{ds}^e \\ i_{qs}^e \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta_e & \sin\theta_e \\ -\sin\theta_e & \cos\theta_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix}$$

- [49] 위 수학적식 2에서 사용한 각 θ_e 는 동기각 및 속도검출기(160)로부터 검출되는

전기각이다.

[50] PWM 제어부(140)는 abc상 전압지령

$$v_{abc}^*$$

를 적절한 극전압(pole voltage)지령

$$v_{abcn}^*$$

으로 변경하여 펄스폭변조(PWM)를 수행한다. 여기서

$$v_{abcn}^* = \begin{bmatrix} v_{an}^* \\ v_{bn}^* \\ v_{cn}^* \end{bmatrix}$$

이다.

[51] 인버터(150)는 PWM 제어부(140)에 의해 형성된 극전압지령

$$v_{abcn}^*$$

을 극전압으로 합성한다. 극전압지령

$$v_{abcn}^*$$

은 인버터(150)에 의해 실제의 극전압

$$v_{abcn}$$

으로 합성된다. 이때,

$$v_{abcn} = \begin{bmatrix} v_{an} \\ v_{bn} \\ v_{cn} \end{bmatrix}$$

이다.

[52] 동기각 및 속도검출기(160)는 엔코더 또는 레졸버 등의 위치센서/위치추정기로서, 동기각 및 속도를 검출하여 속도제어부(110)에서 사용하는 기계속도

$$\omega_{rm}$$

와 좌표변환부(130, 170)에서 사용하는 좌표변환을 위한 전기각 θ_e 를 검출한다.

[53] 도 2는 도 1의 속도제어부(110)의 상세 구성도이다.

[54] 전동기의 속도지령

$$\omega_{rm}^*$$

과 측정속도

$$\omega_{rm}$$

의 오차를 각각 비례이득이 K_p 인 비례제어기(111)와 적분이득이 K_i 인 적분제어기(112, 113)를 통과한 값의 합(114)이 토크지령

$$T_e^*$$

으로 출력되며, 변환부(115)에 의해 토크지령이 동기좌표계 d, q축 전류지령

$$i_{dqs}^*$$

으로 변환되어 출력된다.

[55] 이와 같은 속도제어부(110)의 구성에서, 비례적분이득은 다음과 같은 과정을

거쳐 설정된다.

- [56] 일반적인 관성계 기계방정식은 마찰력에 의한 영향을 무시한 경우 다음과 같이 나타낼 수 있다.

- [57] [수식3]

$$T_e = J \frac{d\omega_{rm}}{dt}$$

- [58] 여기서, T_e 는 전동기에 인가되는 토크이고, J 는 전동기의 관성을 의미한다.

- [59] 비례적분 속도제어기의 전달함수는 아래와 같이 표현할 수 있다.

- [60] [수식4]

$$G_{pi}(s) = K_p + \frac{K_i}{s}$$

- [61] 이때 K_p 는 비례이득이고, K_i 는 적분이득이다.

- [62] 속도제어부(110)에 비해 전류제어부(120)의 동특성이 충분히 빠르다고 가정하여 전류제어부(120)의 이득을 1로 근사화하고, 인버터(150)의 출력전류에 의해 결정되는 전동기(200)의 토크가 토크지령을 잘 추종하는 이상적인 상황($T_e^* = T_e$)을 가정하면, 아래 수학식으로 속도 제어 시스템을 나타낼 수 있다.

- [63] [수식5]

$$\left(K_p + \frac{K_i}{s}\right)(\omega_{rm}^* - \omega_{rm}) = T_e = Js\omega_{rm}$$

- [64] 위 수학식 5를 정리하면, 속도지령에 대한 속도응답을 다음과 같은 전달함수로 나타낼 수 있다.

- [65] [수식6]

$$\frac{\omega_{rm}}{\omega_{rm}^*} = \frac{sK_p + K_i}{Js^2 + sK_p + K_i}$$

- [66] 속도제어부(110)의 대역폭을 ω_{sc} 로 하고, 과감쇄로 설계할 경우, 비례이득과 적분이득은 아래 수학식 7과 같이 구할 수 있다.

- [67] [수식7]

$$K_p = J\omega_{sc}$$

- [68] $K_i = K_p \frac{\omega_{sc}}{5}$

- [69] 위와 같이, 속도제어부(110)의 이득은 전동기 구동 시스템의 기계적 상수인 관성에 의존함을 알 수 있다. 따라서, 시스템의 정보가 올바르지 않은 경우, 속도제어부(110)가 설계된 제어 대역폭을 만족시키지 못하여 속도제어의 성능이 악화되는 문제점이 있다.

- [70] 보통, 인버터로 전동기를 구동하는 경우, 기계적인 상수인 관성은 얻기 힘든 정보이다. 이를 얻기 위해, 사용자는 계측기를 통해 직접 속도 및 토크 등을 측정하거나, 따로 관성추정을 위한 과정을 인버터 동작에 추가하여야 한다. 그러나, 이러한 동작을 위해서는 어느 정도 전동기(200)가 안정적으로 운전하고

있어야 하며, 운전 초기의 경우에는 이러한 동작이 어렵다.

[71] 또한, 속도제어부의 이득은 관성정보가 없을 경우 사용자가 직접 수동으로 계측기를 통해 속도, 토크 등을 측정하면서 설정하여야 한다. 따라서, 속도제어에 있어 이득은 성능을 좌우할만큼 중요하지만, 쉽게 설정이 어려운 문제점이 있었다.

[72] 본 발명은 이러한 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 제어 정착시간(settling time)을 이용하여 구한 관성을 바탕으로 한 이득설정을 제안하며, 별도의 관성정보 없이 사용자가 용이하게 속도제어의 이득을 설정할 수 있게 한다. 또한, 이러한 이득설정을 바탕으로 속도제어 이득을 자동으로 조정하는 방법을 제안한다. 본 발명은 이에 의해 전동기를 안정적으로 구동하기 위한 것이다.

[73]

[74] 먼저, 본 발명에서 제안하는 속도제어 이득을 설정하는 방법을 설명하기로 한다.

[75] 부하의 관성이 일정하다는 가정하에, 토크는 아래 수학적식과 같이 결정할 수 있다.

[76] [수식8]

$$T = J \frac{d\omega}{dt}$$

[77] 정격토크 T_{rated} 인가시에 정격속도 ω_{rm_rated} 까지 도달하는 시간을 정착시간 t_s 로 정의하면, 시스템의 관성을 수학적식 9와 같이 결정할 수 있다.

[78] [수식9]

$$J = \frac{T}{\frac{d\omega}{dt}} = \frac{T_{rated}}{\frac{\omega_{rm\_rated}}{t_s}} = \frac{T_{rated}}{\omega_{rm\_rated}} t_s$$

[79] 위 수학적식 6의 전달함수를 고려하여, 정착시간 t_s 를 다음과 같이 정의하기로 한다.

[80] [수식10]

$$t_s = \frac{3K}{\omega_{sc}}$$

[81] 위 수학적식 10에서 K는 속도제어부의 조정이득을 의미하고, ω_{sc} 는 속도제어부의 대역폭을 의미한다. 본 발명의 일실시예에 의하면, 사용자는 속도제어부의 조정이득 K를 조절하여 속도제어부의 이득을 간단히 변경할 수 있다.

[82] 한편, 수학적식 10의 정착시간을 수학적식 9에 대입하여 관성을 구하면 아래 수학적식과 같다.

[83] [수식11]

$$T = \frac{T_{rated}}{\omega_{rm\_rated}} t_s = \frac{T_{rated}}{\omega_{rm\_rated}} \frac{3K}{\omega_{sc}}$$

[84] 위 수학적식 11의 관성을 수학적식 7의 속도제어부의 이득에 대입하면, 아래와 같이 속도제어부의 이득을 정의할 수 있다.

[85] [수식12]

$$K_p = J \omega_{sc} = \frac{T_{rated}}{\omega_{rm\_rated}} \frac{3K}{\omega_{sc}} \omega_{sc} = \frac{T_{rated} \cdot 3 \cdot K}{\omega_{rm\_rated}}$$

[86] $K_i = 0.2 \cdot K_p \cdot \omega_{sc}$

[87] 위 수학적식 12에서, K_p 는 비례이득을, K_i 는 적분이득을 의미한다.

[88] 속도제어부의 대역폭은 보통 전류제어부의 대역폭에 의해 주어지는 값이며, 속도제어부의 조정이득인 K 의 초기값은 시스템의 감쇄율을 고려하여 구할 수 있다. 따라서, 사용자는 주어진 속도제어부의 대역폭에서 K 를 변경함으로써 간단히 전동기 구동 시스템을 구성할 수 있다.

[89]

[90] 도 3은 본 발명의 일실시예의 전동기 구동 시스템의 구성도이다.

[91] 도면에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일실시예의 전동기 구동 시스템(1)은, 속도제어부(11), 전류제어부(12), 제1변환부(13), PWM 제어부(14), 인버터(15), 검출부(16), 제2변환부(17), 제어부(20), 제1 및 제2스위치부(30, 35), 속도지령 생성부(40) 및 이득변경부(50)를 포함할 수 있다.

[92] 속도제어부(11), 전류제어부(12), 제1변환부(13), PWM 제어부(14), 인버터(15), 검출부(16), 제2변환부(17)의 동작은 도 1을 참조로 설명한 바와 같다.

[93] 속도제어부(11)는 전동기(2)의 속도지령

$$\omega_{rm}^*$$

과 검출부(16)에 의해 검출된 전동기(2)의 실제 속도

$$\omega_{rm}$$

의 차이로부터 동기좌표계 d, q축 전류지령

$$i_{dqs}^{e*}$$

을 출력할 수 있다.

[94] 전류제어부(12)는 동기좌표계 d, q축 전류지령

$$i_{dqs}^{e*}$$

과 전동기(2)의 동기좌표계 d, q축 측정전류

$$i_{dqs}^u$$

의 차이로부터 동기좌표계 d, q축 전압지령

$$v_{dqs}^{a*}$$

을 출력할 수 있다.

[95] 제1변환부(13)는 수학적식 1을 이용하여

$$v_{dqs}^{e*}$$

를

$$v_{abcs}^*$$

로 변환할 수 있다. 또한, 제2변환부(17)는 수학적식 2를 이용하여

$$i_{abcs}$$

를

i_{dqs}^u

로 변환할 수 있다.

[96] PWM 제어부(14)는 abc상 전압지령

 v_{abc}^*

를 적절한 극전압지령

 v_{abcn}^*

으로 변경하여 펄스폭변조(PWM)를 수행하고, 인버터(15)는 PWM 제어부(14)에 의해 형성된 극전압지령

 v_{abcn}^*

을 극전압으로 합성할 수 있다.

[97] 검출부(16)는 전동기(2)의 동기각 및 속도를 검출하여, 속도제어부(11), 제1 및 제2변환부(13, 17) 및 이득변경부(50)에 제공할 수 있다.

[98] 속도지령 생성부(40)는 속도제어부(11)의 이득을 조정하기 위한 속도지령을 생성할 수 있다.

[99] 이득변경부(50)는 검출부(16)에 의해 검출된 속도를 수신하여, 속도제어부(10)의 조정이득인 K를 변경할 수 있다.

[100] 제1 및 제2스위치부(30, 35)는 제어부(20)의 제어 플래그 FlagSC에 의해 온 또는 오프되며, 제1 및 제2스위치부(30, 35)가 온인 경우 속도제어부(10)의 이득을 조정하여 출력하고, 제1 및 제2스위치부(30, 35)가 오프인 경우 속도제어부(10)의 이득이 도 1의 종래의 방식과 동일하게 출력될 수 있다.

[101] 구체적으로, FlagSC가 오프인 경우 속도제어부(11)에는 전동기 구동을 위한 속도지령이 입력되고, FlagSC가 온인 경우 속도제어부(11)에는 속도지령 생성부(40)로부터 생성된 속도지령이 입력된다.

[102] 또한, FlagSC가 오프인 경우 속도제어부(11)의 이득을 조절하는 ΔK 가 0이 되어 속도제어부(11)의 이득은 변경되지 않으나, FlagSC가 온인 경우 ΔK 가 이득변경부(50)로부터 출력되어 속도제어부(11)의 이득이 변경될 수 있다.

[103] 즉, 제어부(20)가 제공하는 제어신호인 FlagSC가 온인 경우, 속도제어부(11)의 이득을 조정하기 위한 속도지령을 속도지령 생성부(40)로부터 생성하고, 해당 속도지령은 속도제어부(11)에 인가될 수 있다. 또한, 검출부(16)로부터 피드백되는 전동기(2)의 속도(궤환속도)를 이용하여 속도제어부(11)의 조정이득 변화량 ΔK 를 구하게 되며, ΔK 는 속도제어부(11)의 이득을 변경하는데 사용될 수 있다.

[104]

[105] 도 4는 도 3의 속도지령 생성부의 상세 구성도이다.

[106] 본 발명의 일실시예의 속도지령 생성부에서, 속도지령의 진폭 ω_m 과 사인함수 $-\sin\omega_{sc}t$ 가 곱셈부(41)에 의해 곱하여져 속도지령으로서 출력될 수 있다.

[107] 이때 사인함수 $\sin\omega_{sc}t$ 는 속도지령의 크기 ω_m 이 사인함수로 흔들리게 되도록 곱해지는 것으로서, 사인함수의 주파수는 속도제어부(11)의 설정된 제어

대역폭인 ω_{sc} 일 수 있다. 속도지령은 다음 수학적식과 같이 나타낼 수 있다.

[108] [수식13]

$$\omega_{rm}^* = -\omega_m \sin \omega_{sc} t$$

[109] 즉, 속도지령은 ω_m 의 진폭을 가지는 정현파의 형태로 생성될 수 있다.

[110] 한편, 속도제어부(11)의 속도제어 대역폭은, 정현파 지령이 인가되는 경우, 궤환속도의 위상지연이 $\pi/4$ 가 되는 주파수로 정의할 수 있다. 따라서, 수학적식 13의 정현파 지령이 인가되는 경우, 궤환속도는 수학적식 14와 같이 정의할 수 있다.

[111] [수식14]

$$\omega_{rm} = -\omega_b \sin \left(\omega_{sc} t - \frac{\pi}{4} \right)$$

[112] 이때 ω_b 는 궤환속도의 진폭을 의미한다.

[113] 이득변경부(50)는 수학적식 14와 같이 속도지령과 궤환속도간 위상차가 $\pi/4$ 가 되는 속도제어부(11)의 조정이득 K를 구하도록 할 수 있다.

[114] 도 5는 도 3의 이득변경부의 제1실시예에 의한 상세 구성도이다.

[115] 도면에 도시된 바와 같이, 본 발명의 제1실시예의 이득변경부(50)는, 위상변경부(51), 제1적분부(52), 회전변환부(53), 오차결정부(54), 적분이득 적용부(55) 및 제2적분부(56)를 포함할 수 있다.

[116] 위상변경부(51)는, 궤환속도와 설정된 제어 대역폭을 수신하여, 가상의 d축의 제1신호

$$\omega_{rm}^{ds}$$

와, 제1신호보다의 $-\pi/2$ 위상지연을 가지고 직교성분인 가상의 q축의 제2신호

$$\omega_{rm}^{qs}$$

를 출력할 수 있다. 이때 위상변경부(51)는 예를 들어 SOGI(Second Order Generalized Integrator)일 수 있다. SOGI는 정현파가 인가되는 경우 $-\pi/2$ 의 위상지연을 가지고 직교성분인 신호를 출력하는 것이다.

[117] 위상변경부(51)가 출력하는 신호는 아래 수학적식과 같다.

[118] [수식15]

$$\omega_{rm}^{ds} = -\omega_b \sin \left(\omega_{sc} t - \frac{\pi}{4} \right)$$

[119] $\omega_{rm}^{qs} = \omega_b \cos \left(\omega_{sc} t - \frac{\pi}{4} \right)$

[120] 다만, 본 발명의 일실시예에서는 위상변경부(51)의 구성을 예를 들어 SOGI를 설명하고 있으나, 위 수학적식 15의 출력신호를 얻기 위해서 다양한 회로를 사용할 수도 있을 것이다.

[121] 위와 같이 정현파의 교류신호인 가상의 d, q축 신호는 회전변환을 거쳐 직류성분으로 변환될 수 있다.

[122] 정현파의 교류신호인 가상의 d, q축의 제1 및 제2신호는 회전변환을 거쳐 직류성분으로 변환될 수 있으며, 수학적식 15을 각으로 나타내면 다음과 같다.

[123] [수식16]

$$\omega_{rm}^{ds} = -\omega_{fb} \sin\left(\theta_{sc} - \frac{\pi}{4}\right) = -\frac{\omega_{fb}}{\sqrt{2}} (\sin\theta_{sc} - \cos\theta_{sc})$$

[124]

$$\omega_{rm}^{qs} = \omega_{fb} \cos\left(\theta_{sc} - \frac{\pi}{4}\right) = \frac{\omega_{fb}}{\sqrt{2}} (\sin\theta_{sc} + \cos\theta_{sc})$$

[125] 제1적분부(52)는 제어 대역폭을 적분하여, 정현파 지령의 회전각을 출력할 수 있다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

[126] [수식17]

$$\theta_{sc} = \int \omega_{sc} dt = \omega_{sc} t$$

[127] 회전변환을 수학식 18과 같이 정의하고, 수학식 16의 교류신호에 회전변환을 적용하면, 아래의 수학식 19와 같이 직류신호로 변환될 수 있으며, 위상변환부(53)의 출력과 같다. 즉, 위상변환부(51)의 출력신호인

$$\begin{bmatrix} \omega_{rm}^{ds} \\ \omega_{rm}^{qs} \end{bmatrix}$$

는 회전변환부(53)에 의해

$$\begin{bmatrix} \omega_{rm}^{de} \\ \omega_{rm}^{qe} \end{bmatrix}$$

으로 변환될 수 있다.

[128] [수식18]

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

[129] [수식19]

$$\begin{bmatrix} \omega_{rm}^{de} \\ \omega_{rm}^{qe} \end{bmatrix} = R(\theta_{sc}) \begin{bmatrix} \omega_{rm}^{ds} \\ \omega_{rm}^{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{sc} & \sin\theta_{sc} \\ -\sin\theta_{sc} & \cos\theta_{sc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\frac{\omega_{fb}}{\sqrt{2}} (\sin\theta_{sc} - \cos\theta_{sc}) \\ \frac{\omega_{fb}}{\sqrt{2}} (\sin\theta_{sc} + \cos\theta_{sc}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\omega_{fb}}{\sqrt{2}} \\ \frac{\omega_{fb}}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

[130] 위 수학식 19를 참조로 하면, 위상지연이 $\pi/4$ 인 경우 변환된 직류신호

$$\begin{bmatrix} \omega_{rm}^{de} \\ \omega_{rm}^{qe} \end{bmatrix}$$

는 동일한 값을 가지는 것을 알 수 있다. 바꾸어 말하면, 위상변환부(53)의 출력신호인

$$\begin{bmatrix} \omega_{rm}^{de} \\ \omega_{rm}^{qe} \end{bmatrix}$$

가 동일한 값이면, 궤환속도는 지령속도와 위상지연이 $\pi/4$ 가 되는 것을 의미한다. 따라서,

$$\begin{bmatrix} \omega_{rm}^{de} \\ \omega_{rm}^{qe} \end{bmatrix}$$

가 동일한 속도를 가지도록 속도제어부(11)의 이득을 조정하면 속도제어부(11)는 주어진 속도제어 대역폭을 만족하게 되어 자동조정이

수행된다.

- [131] 본 발명의 일실시예에서는, 적분제어를 이용하여 속도제어 이득을 조정할 수 있다. 이를 수학적식 20과 같이 나타낼 수 있다.

- [132] [수식20]

$$\Delta K = \frac{K_{sc}}{s} (\omega_{rm}^{de} - \omega_{rm}^{ge})$$

- [133] 이때 K_{sc} 는 속도제어 이득조정을 위한 적분이득을 의미한다. 위 수학적식 20과 같이 적분제어를 통해

$$\begin{bmatrix} \omega_{rm}^{de} \\ \omega_{rm}^{ge} \end{bmatrix}$$

가 동일한 값을 가지도록 속도제어 조정이득 변화량 ΔK 를 생성할 수 있다. 이는 오차결정부(54), 적분이득 적용부(55) 및 적분부(56)에 의해 이루어질 수 있을 것이다.

- [134] 즉, 오차결정부(54)는 회전변환부(53)의 두 직류신호

$$\omega_{rm}^{de}$$

및

$$\omega_{rm}^{ge}$$

의 오차를 결정하고, 적분이득 적용부(55)는 해당 오차에 적분이득 K_{sc} 를 적용하며, 제2적분부(56)가 이를 적분하여 속도제어 조정이득의 변화량 ΔK 를 출력할 수 있다.

- [135] 다시, 도 3의 속도제어부(11)는, 이와 같이 생성된 속도제어 조정이득의 변화량 ΔK 를 수신하여, 비례적분이득을 수학적식 21과 같이 변경할 수 있다.

- [136] [수식21]

$$K_p = 3 \frac{T_{rated}}{\omega_{rm\_rated}} (K + \Delta K)$$

- [137] $K_i = 0.2 K_p \omega_{sc} = 0.2 \cdot 3 \frac{T_{rated}}{\omega_{rm\_rated}} (K + \Delta K) \omega_{sc}$

- [138]

- [139] 한편, 본 발명의 일실시예에서는, 속도제어 대역폭을 정현파 지령이 인가되는 경우 궤환속도의 크기가 지령에 비해

$$\frac{1}{\sqrt{2}}$$

이 되는 주파수로 정의할 수도 있다. 따라서 수학적식 13의 정현파 지령이 인가되는 경우, 궤환속도를 수학적식 22와 같이 정의할 수 있다.

- [140] [수식22]

$$\omega_{rm} = \omega_{fb} \sin(\omega_{sc} t - \phi_{fb})$$

- [141] 수학적식 22에서, ϕ_{fb} 는 궤환되는 속도의 위상지연을 의미하고, 궤환속도의 크기인 ω_{fb} 는 속도제어 대역폭을 만족할 때 지령에 비해

$$\frac{1}{\sqrt{2}}$$

이 되는 크기인

$$\omega_m/\sqrt{2}$$

가 된다.

- [142] 수학식 22의 궤환속도를 가상의 d축 신호로 하고, 해당 속도보다 $-\pi/2$ 의 위상지연을 갖는 직교성분을 가상의 q축 신호로 하면, 수학식 23으로 나타낼 수도 있다.

- [143] [수식23]

$$\omega_{rm}^{ds} = -\omega_{fb} \sin(\omega_{sc}t - \phi_{fb})$$

- [144] $\omega_{rm}^{qs} = \omega_{fb} \cos(\omega_{sc}t - \phi_{fb})$

- [145] 정현파의 교류신호인 가상의 d축 및 q축 신호는, 회전변환을 거쳐 직류성분으로 변환될 수 있다. 수학식 23을 각으로 나타내면 다음과 같다.

- [146] [수식24]

$$\omega_{rm}^{ds} = -\omega_{fb} \sin(\omega_{sc} - \phi_{fb})$$

- [147] $\omega_{rm}^{qs} = \omega_{fb} \cos(\omega_{sc} - \phi_{fb})$

- [148] 위 수학식 24의 교류신호에 회전변환을 적용하면, 수학식 25와 같이 직류신호로 변환될 수 있다.

- [149] [수식25]

$$\begin{bmatrix} \omega_{rm}^{de} \\ \omega_{rm}^{qe} \end{bmatrix} = R(\theta_{sc}) \begin{bmatrix} \omega_{rm}^{ds} \\ \omega_{rm}^{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{sc} & \sin\theta_{sc} \\ -\sin\theta_{sc} & \cos\theta_{sc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\omega_{fb} \sin(\theta_{sc} - \phi_{fb}) \\ \omega_{fb} \cos(\theta_{sc} - \phi_{fb}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_{fb} \sin\phi_{fb} \\ \omega_{fb} \cos\phi_{fb} \end{bmatrix}$$

- [150] 위 수학식 25로부터, ω_{fb} 는 수학식 26과 같이 구할 수 있다.

- [151] [수식26]

$$\omega_{fb} = \sqrt{\omega_{rm}^{de} \cdot \omega_{rm}^{de} + \omega_{rm}^{qe} \cdot \omega_{rm}^{qe}}$$

- [152] 즉, 속도제어 대역폭을 만족시키는 ΔK 에서 ω_{fb} 는

$$\omega_m/\sqrt{2}$$

가 되므로, 해당 조건에서, 수학식 27과 같이 쓸 수 있다.

- [153] [수식27]

$$\omega_{rm}^{de} \cdot \omega_{rm}^{de} + \omega_{rm}^{qe} \cdot \omega_{rm}^{qe} = \frac{\omega_m^2}{2}$$

- [154] 즉, $\omega_m/2$ 와

$$\omega_{rm}^{de} \cdot \omega_{rm}^{de} + \omega_{rm}^{qe} \cdot \omega_{rm}^{qe}$$

가 동일한 값을 가지도록 속도제어부(11)의 이득을 조정하면 속도제어부(11)는 주어진 속도제어 대역폭을 만족하게 되어 자동조정이 수행될 수 있다.

마찬가지로, 본 발명의 일실시예에서는, 적분제어를 이용하여 속도제어 이득을 조정할 수 있으며, 이를 수학식 28과 같이 나타낼 수 있다.

- [155] [수식28]

$$\Delta K = \frac{K_{sc}}{s} \left(\frac{\omega_m}{2} - (\omega_{rm}^{de} \cdot \omega_{rm}^{de} + \omega_{rm}^{qe} \cdot \omega_{rm}^{qe}) \right)$$

[156] 위 과정을 도 6을 통해 나타내었다. 도 6은 도 3의 이득변경부의 제2실시예의 상세 구성도이다.

[157] 도면에 도시된 바와 같이, 본 발명의 제2실시예의 이득변경부(50)는, 위상변경부(61), 제1적분부(62), 회전변환부(63), 제1 및 제2곱셈부(64, 65), 가산부(66), 오차결정부(67), 적분이득 적용부(68) 및 제2적분부(69)를 포함할 수 있다.

[158] 도 6의 일실시예에서,

$$\omega_{rm}$$

은 전동기의 궤환속도이고, ω_{sc} 는 미리 설정된 속도제어 대역폭이다.

[159] 위상변경부(61)는 전동기(2)의 궤환속도

$$\omega_{rm}$$

과 속도제어 대역폭 ω_{sc} 을 입력으로 하고, 정현파가 인가되는 경우 $-\pi/2$ 의 위상지연을 가지는 신호를 출력할 수 있다. 즉, 본 발명의 제2실시예에서, 속도제어 대역폭을 정현파 지령이 인가되는 경우 궤환속도의 크기가 지령에 비해

$$\frac{1}{\sqrt{2}}$$

이 되는 주파수로 정의하는 경우, 위상변경부(61)는 수학식 24와 같이 위상을 변경하여 출력할 수 있다.

[160] 회전변환부(63)는 속도제어 대역폭을 제1적분부(62)가 적분한 위상각 θ_{sc} 를 수신하여, 위상변경부(61)의 출력을 위상각 θ_{sc} 에 의해 회전변환할 수 있다. 회전변환부(63)의 출력은 수학식 25와 같으며, 위상변경부(1)의 출력신호인

$$\begin{bmatrix} ds_{rm} \\ qs_{rm} \end{bmatrix}$$

는 회전변환부(63)에 의해

$$\begin{bmatrix} de_{rm} \\ qe_{rm} \end{bmatrix}$$

로 변환될 수 있다.

[161] 제1곱셈부(64)와 제2곱셈부(65)는 각각

$$\omega_{rm}^{de} \cdot \omega_{rm}^{de}$$

와

$$\omega_{rm}^{qe} \cdot \omega_{rm}^{qe}$$

를 출력하고, 가산부(66)는 제1곱셈부(64)와 제2곱셈부(65)의 합인

$$\omega_{rm}^{de} \cdot \omega_{rm}^{de} + \omega_{rm}^{qe} \cdot \omega_{rm}^{qe}$$

을 출력할 수 있다.

[162] 이후, 오차결정부(67)는 가산부(66)의 출력과 $\omega_m/2$ 의 오차를 결정하고, 적분이득 적용부(68)가 해당 오차에 적분이득 K_{sc} 를 적용하고, 제2적분부(69)가 이를 적분하여, 속도제어 조정이득의 변화량인 ΔK 를 출력할 수 있다.

- [163] 속도제어부(11)는 속도제어의 조정이득의 변화량인 ΔK 를 수신하여, 비례적분이득을 수학적식 21과 같이 변경시킬 수 있을 것이다.
- [164]
- [165] 종래의 경우, 속도제어부의 이득이 계측기를 통한 속도와 토크의 계측을 통하여 설정되거나 또는 별도의 관성추정을 통해 어렵게 이루어진 것과 달리, 본 발명의 일실시예에 의하면, 별도의 계측 또는 추정과정을 통하지 않고 전동기의 명판값으로부터 간단히 속도제어 조정이득의 조정을 통해 속도제어 이득을 설정할 수 있다.
- [166] 즉, 본 발명은 제어 정착시간을 이용하여 구한 이득을 사용함으로써, 사용자가 전동기를 초기구동하는 경우 용이하게 속도제어 이득을 설정할 수 있다. 또한, 본 발명은 별도의 관성추정 또는 계측 없이 속도제어 이득을 자동으로 조정함으로써 최적의 속도제어 이득을 설정할 수 있다.
- [167] 이상에서 본 발명에 따른 실시예들이 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 범위의 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 다음의 청구범위에 의해서 정해져야 할 것이다.

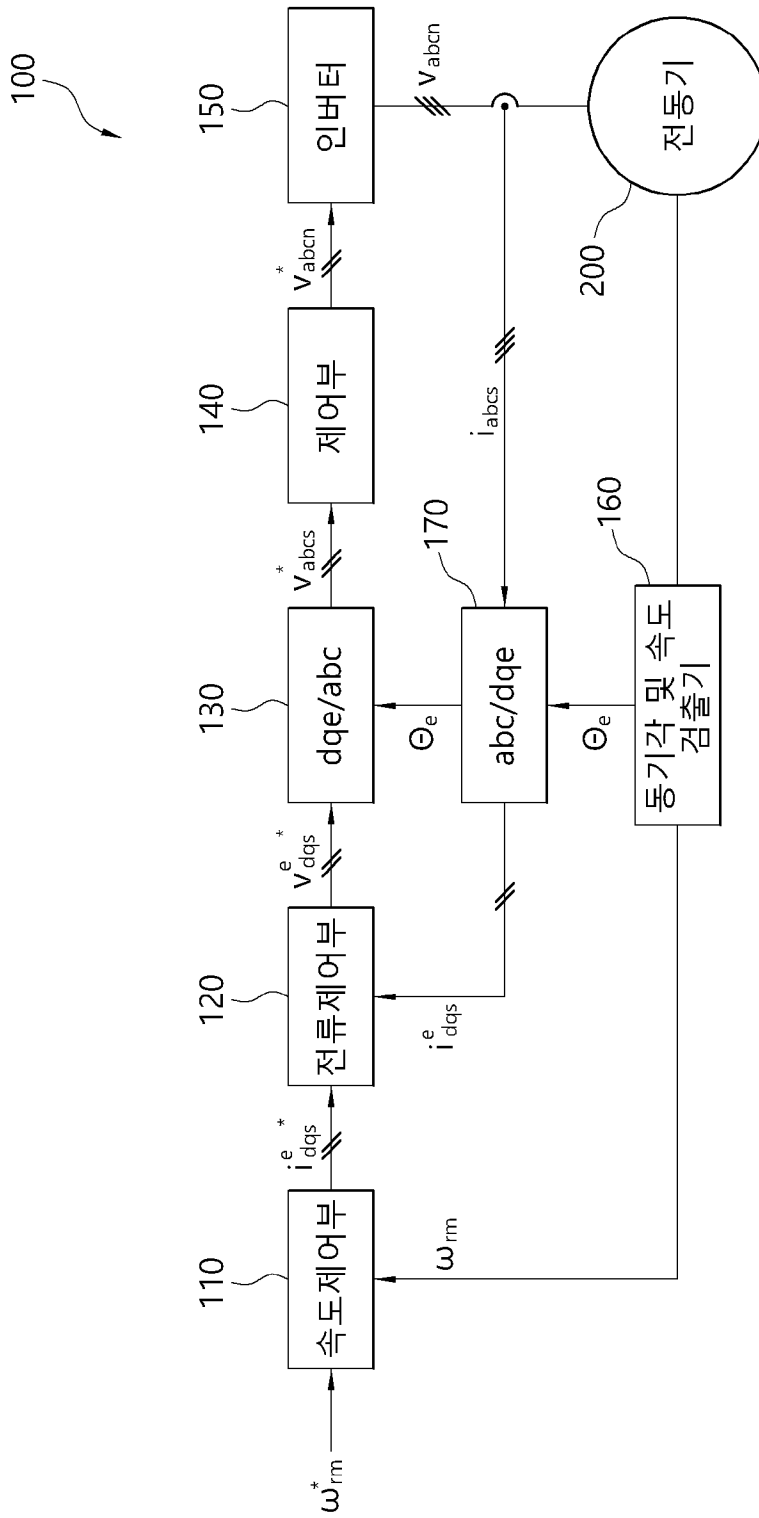
청구범위

- [청구항 1] 전동기의 속도지령과 상기 전동기의 궤환속도의 차이로부터, 비례이득 및 제1적분이득을 적용하는 비례적분제어를 통해 전류지령을 출력하는 속도제어부;
상기 속도지령의 진폭과 속도제어 대역폭이 주파수인 사인함수를 이용하여 상기 속도지령을 출력하는 속도지령 생성부; 및
상기 속도지령과 상기 궤환속도간 위상차가 실질적으로 $\pi/4$ 가 되도록, 상기 비례이득 및 상기 제1적분이득을 조정하는 이득변경부를 포함하는 전동기 구동 시스템.
- [청구항 2] 제1항에 있어서, 상기 속도제어 대역폭은,
상기 속도제어부에 정현파인 속도지령이 인가되는 경우, 상기 궤환속도의 위상지연이 실질적으로 $\pi/4$ 가 되는 주파수인 전동기 구동 시스템.
- [청구항 3] 제1항에 있어서, 상기 이득변경부는,
상기 궤환속도와 상기 속도제어 대역폭으로부터, 가상의 d축의 제1신호와, 상기 제1신호보다 $-\pi/2$ 의 위상지연을 가지고 직교성분인 가상의 q축의 제2신호를 출력하는 위상변경부;
상기 속도제어 대역폭으로부터 회전변환을 위한 위상각을 출력하는 제1적분부;
상기 위상각을 이용하여 상기 제1 및 제2신호를 각각 회전변환하여 직류인 제3 및 제4신호를 출력하는 회전변환부;
상기 제3 및 제4신호를 속도제어 이득조정을 위한 제2적분이득을 적용하여 적분제어하여, 속도제어 조정이득을 위한 변화량을 출력하는 적분제어부를 포함하는 전동기 구동 시스템.
- [청구항 4] 제3항에 있어서, 상기 위상변경부는,
SOGI(Second Order Generalized Integrator)를 포함하는 전동기 구동 시스템.
- [청구항 5] 제3항에 있어서, 상기 적분제어부는,
상기 제3 및 제4신호의 오차를 결정하는 오차결정부;
상기 오차에 상기 제2적분이득을 적용하는 적분이득 적용부; 및
상기 적분이득 적용부의 출력을 적분하여 상기 변화량을 출력하는 제2적분부를 포함하는 전동기 구동 시스템.
- [청구항 6] 제1항에 있어서,
상기 속도제어부와 상기 속도지령 생성부를 스위칭하는 제1스위치부;
상기 속도제어부와 상기 이득변경부를 스위칭하는 제2스위치부; 및
상기 제1스위치부 및 상기 제2스위치부의 온 또는 오프를 제어하는 제어신호를 출력하는 제어부를 더 포함하는 전동기 구동 시스템.

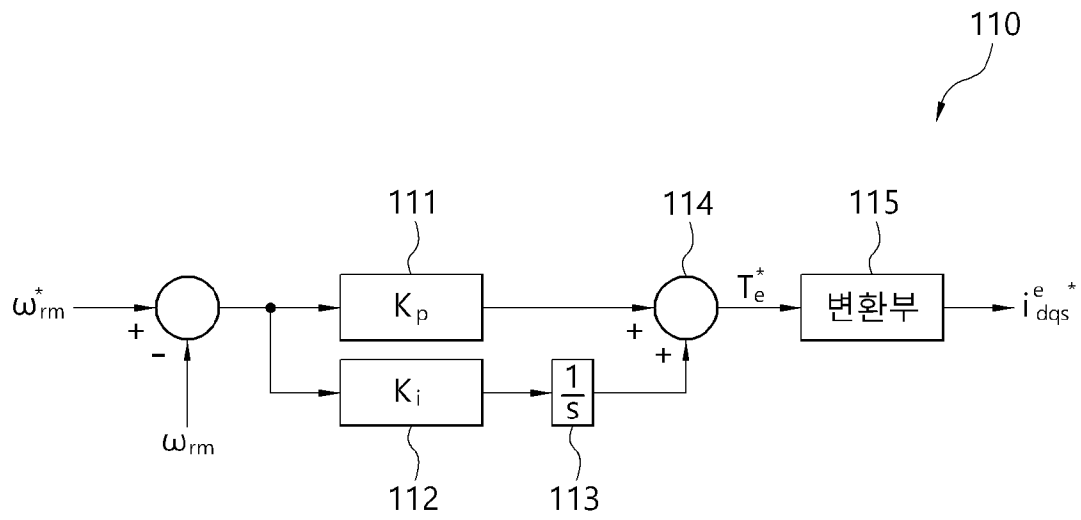
- [청구항 7] 제3항에 있어서, 상기 비례이득은 $K_p = 3 \frac{T_{rated}}{\omega_{rm\_rated}} (K + \Delta K)$ 이고, 상기 제1적분이득은 $K_i = 0.2 K_p \omega_{sc} = 0.2 \cdot 3 \frac{T_{rated}}{\omega_{rm\_rated}} (K + \Delta K) \omega_{sc}$ 인 전동기 구동 시스템.
(이때, T_{rated} 는 상기 전동기의 정격토크이고, ω_{rm_rated} 는 상기 전동기의 정격속도이며, K 는 상기 속도제어부의 조정이득이고, ΔK 는 상기 변화량으로, $\Delta K = \frac{K_{sc}}{s} (\omega_{rm}^{de} - \omega_{rm}^{qe})$ 임. 또한, K_{sc} 는 상기 제2적분이득이고, ω_{rm}^{de} 는 상기 제3신호이고, ω_{rm}^{qe} 는 상기 제4신호임)
- [청구항 8] 전동기의 속도지령과 상기 전동기의 궤환속도의 차이로부터, 비례이득 및 제1적분이득을 적용하는 비례적분제어를 통해 전류지령을 출력하는 속도제어부;
상기 속도지령의 진폭과 속도제어 대역폭이 주파수인 사인함수를 이용하여 상기 속도지령을 출력하는 속도지령 생성부; 및
상기 궤환속도의 크기가 상기 속도지령의 크기에 비해 실질적으로 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 이 되도록, 상기 비례이득 및 상기 제1적분이득을 조정하는 이득변경부를 포함하는 전동기 구동 시스템.
- [청구항 9] 제8항에 있어서, 상기 속도제어 대역폭은,
상기 속도제어부에 정현파인 속도지령이 인가되는 경우, 상기 궤환속도의 크기가 상기 속도지령에 비해 실질적으로 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 이 되는 주파수인 전동기 구동 시스템.
- [청구항 10] 제8항에 있어서, 상기 이득변경부는,
상기 궤환속도와 상기 속도제어 대역폭으로부터, 가상의 d축의 제1신호와, 상기 제1신호보다 $-\pi/2$ 의 위상지연을 가지고 직교성분인 가상의 q축의 제2신호를 출력하는 위상변경부;
상기 속도제어 대역폭으로부터 회전변환을 위한 위상각을 출력하는 제1적분부;
상기 위상각을 이용하여 상기 제1 및 제2신호를 각각 회전변환하여 직류인 제3 및 제4신호를 출력하는 회전변환부;
상기 제3신호와 제3신호의 곱을 출력하기 위한 제1곱셈부;
상기 제4신호와 제4신호의 곱을 출력하기 위한 제2곱셈부;
상기 제1 및 제2곱셈부의 출력을 가산하기 위한 가산부;
상기 가산부의 출력과 $\omega_m/2$ (ω_m 은 상기 속도지령의 진폭임)을 속도제어 이득조정을 위한 제2적분이득을 적용하여 적분제어하여, 속도제어 조정이득을 위한 변화량을 출력하는 적분제어부를 포함하는 전동기 구동 시스템.
- [청구항 11] 제10항에 있어서, 상기 위상변경부는, SOGI를 포함하는 전동기 구동 시스템.

- [청구항 12] 제10항에 있어서, 상기 적분제어부는,
상기 가산부의 출력과 상기 $\omega_m/2$ 의 오차를 결정하는 오차결정부;
상기 오차에 상기 제2적분이득을 적용하는 적분이득 적용부; 및
상기 적분이득 적용부의 출력을 적분하여 상기 변화량을 출력하는
제2적분부를 포함하는 전동기 구동 시스템.
- [청구항 13] 제8항에 있어서,
상기 속도제어부와 상기 속도지령 생성부를 스위칭하는 제1스위치부;
상기 속도제어부와 상기 이득변경부를 스위칭하는 제2스위치부; 및
상기 제1스위치부 및 상기 제2스위치부의 온 또는 오프를 제어하는
제어신호를 출력하는 제어부를 더 포함하는 전동기 구동 시스템.
- [청구항 14] 제10항에 있어서,
상기 비례이득은 $K_p = 3 \frac{T_{rated}}{\omega_{rm\_rated}} (K + \Delta K)$ 이고, 상기 제1적분이득은
 $K_i = 0.2 K_p \omega_{sc} = 0.2 \cdot 3 \frac{T_{rated}}{\omega_{rm\_rated}} (K + \Delta K) \omega_{sc}$ 인 전동기 구동 시스템.
(이때, T_{rated} 는 상기 전동기의 정격토크이고, ω_{rm_rated} 는 상기 전동기의
정격속도이며, K 는 상기 속도제어부의 조정이득이고, ΔK 는 상기
변화량으로, $\Delta K = \frac{K_{sc}}{s} \left(\frac{\omega_m}{2} - (\omega_{rm}^{de} \cdot \omega_{rm}^{de} + \omega_{rm}^{qe} \cdot \omega_{rm}^{qe}) \right)$ 임. 또한, K_{sc} 는 상기
제2적분이득이고, $\omega_{rm}^{de} \cdot \omega_{rm}^{de} + \omega_{rm}^{qe} \cdot \omega_{rm}^{qe}$ 는 상기 가산부의 출력임)

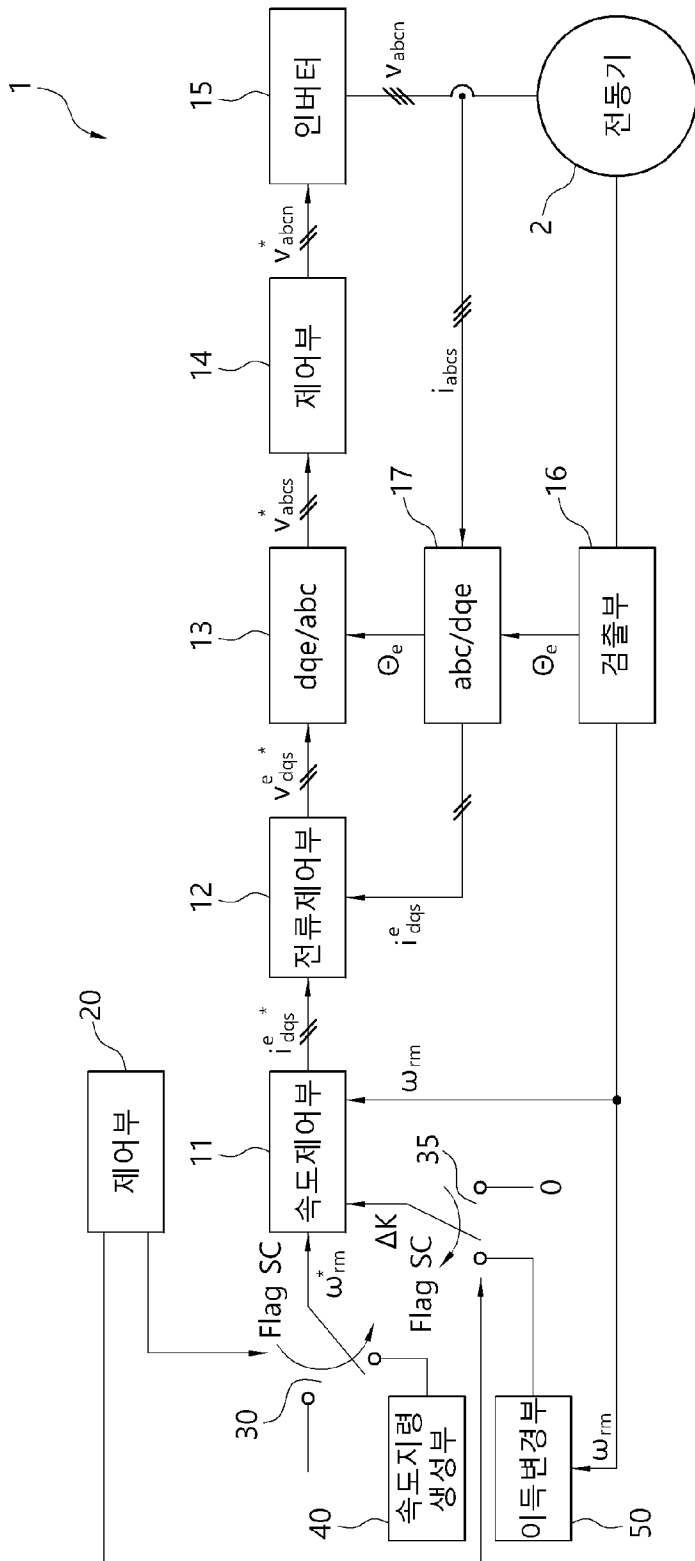
[도 1]



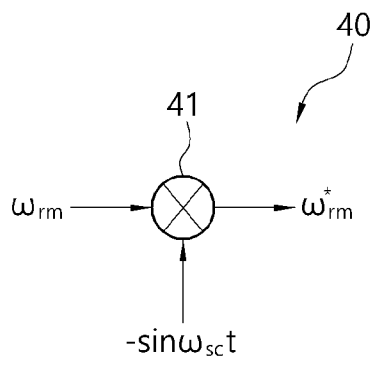
[도2]



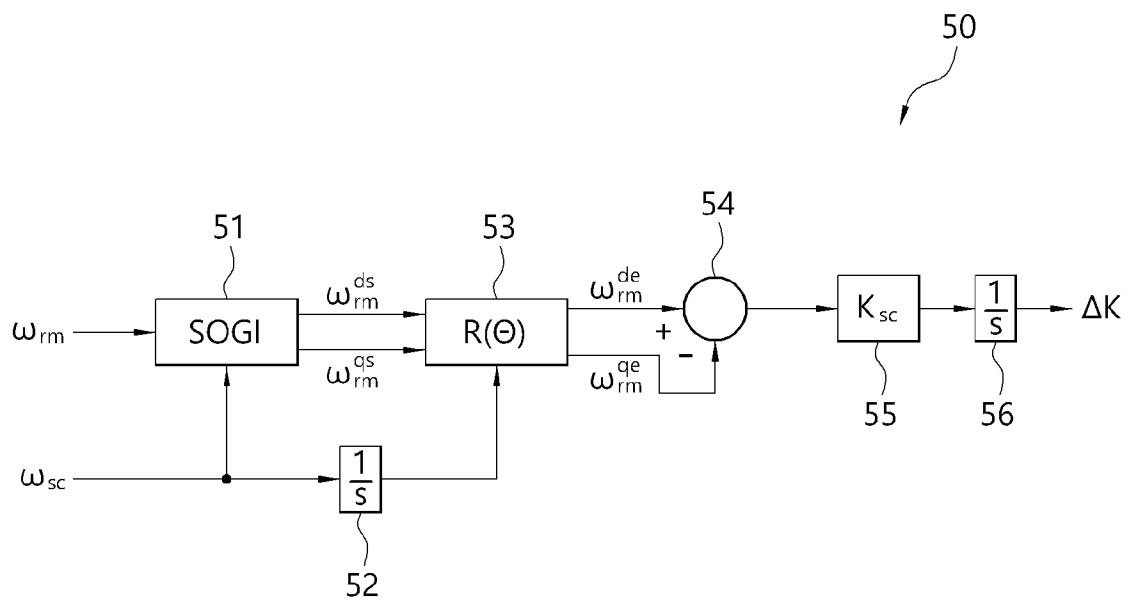
[도3]



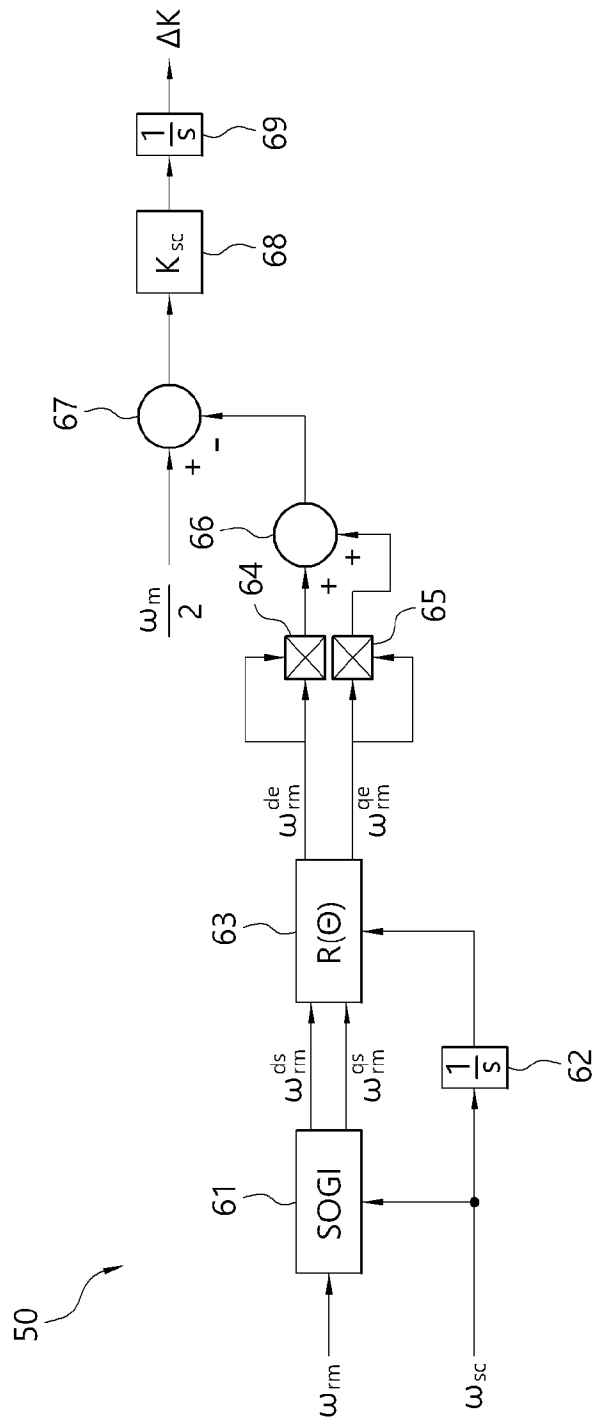
[도4]



[도5]



[도6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2019/010318**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER*****H02P 21/00(2006.01)i***

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02P 21/00; B65H 5/02; G03G 15/00; G05B 11/38; G05D 16/20; H02P 21/14; H02P 29/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models: IPC as above

Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: electric motor, velocity, amplitude, bandwidth, phase

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-0967665 B1 (PUSAN NATIONAL UNIVERSITY INDUSTRY-UNIVERSITY COOPERATION FOUNDATION) 07 July 2010 See paragraphs [0070]-[0075], claims 1-3 and figures 9-10.	1-14
A	JP 4429895 B2 (RICOH CO., LTD.) 10 March 2010 See paragraphs [0048]-[0060], claim 1 and figure 5.	1-14
A	JP 2011-061929 A (RICOH CO., LTD.) 24 March 2011 See paragraphs [0035]-[0050], claims 1-3 and figure 1.	1-14
A	KR 10-1914756 B1 (ENGINEERING AND TECHNOLOGY CORE CO., LTD.) 28 December 2018 See paragraphs [0054]-[0077] and figure 4.	1-14
A	US 2008-0180054 A1 (KINPARA, Yoshihiko et al.) 31 July 2008 See paragraphs [0035]-[0066] and figure 1.	1-14



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

31 JANUARY 2020 (31.01.2020)

Date of mailing of the international search report

31 JANUARY 2020 (31.01.2020)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex Daejeon Building 4, 189, Cheongsu-ro, Seo-gu,
Daejeon, 35208, Republic of Korea

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2019/010318

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-0967665 B1	07/07/2010	KR 10-2009-0105065 A	07/10/2009
JP 4429895 B2	10/03/2010	JP 2006-160512 A	22/06/2006
JP 2011-061929 A	24/03/2011	None	
KR 10-1914756 B1	28/12/2018	None	
US 2008-0180054 A1	31/07/2008	CN 101237213 A	06/08/2008
		CN 101237213 B	03/11/2010
		JP 2008-187797 A	14/08/2008
		JP 4519864 B2	04/08/2010
		KR 10-1046802 B1	05/07/2011
		KR 10-2008-0071055 A	01/08/2008
		US 7800337 B2	21/09/2010

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))**H02P 21/00(2006.01)i****B. 조사된 분야**

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

H02P 21/00; B65H 5/02; G03G 15/00; G05B 11/38; G05D 16/20; H02P 21/14; H02P 29/00

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 전동기(motor), 속도(velocity), 진폭(amplitude), 대역폭(bandwidth), 위상(phase)

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	KR 10-0967665 B1 (부산대학교 산학협력단) 2010.07.07 단락 [0070]-[0075], 청구항 1-3 및 도면 9-10	1-14
A	JP 4429895 B2 (RICOH CO., LTD.) 2010.03.10 단락 [0048]-[0060], 청구항 1 및 도면 5	1-14
A	JP 2011-061929 A (RICOH CO., LTD.) 2011.03.24 단락 [0035]-[0050], 청구항 1-3 및 도면 1	1-14
A	KR 10-1914756 B1 ((주) 엔텍코아) 2018.12.28 단락 [0054]-[0077] 및 도면 4	1-14
A	US 2008-0180054 A1 (YOSHIHIKO KINPARA 등) 2008.07.31 단락 [0035]-[0066] 및 도면 1	1-14

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

“A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

“D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌

“E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후 “X”에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

“L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

“O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

“P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

“T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

“X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

“Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

“&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

국제조사의 실제 완료일

2020년 01월 31일 (31.01.2020)

국제조사보고서 발송일

2020년 01월 31일 (31.01.2020)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소



대한민국 특허청

(35208) 대전광역시 서구 청사로 189,

4동 (둔산동, 정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관

장기정

전화번호 +82-42-481-8364



국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-0967665 B1	2010/07/07	KR 10-2009-0105065 A	2009/10/07
JP 4429895 B2	2010/03/10	JP 2006-160512 A	2006/06/22
JP 2011-061929 A	2011/03/24	없음	
KR 10-1914756 B1	2018/12/28	없음	
US 2008-0180054 A1	2008/07/31	CN 101237213 A	2008/08/06
		CN 101237213 B	2010/11/03
		JP 2008-187797 A	2008/08/14
		JP 4519864 B2	2010/08/04
		KR 10-1046802 B1	2011/07/05
		KR 10-2008-0071055 A	2008/08/01
		US 7800337 B2	2010/09/21