



УКРАЇНА

(19) UA (11) 46432 (13) A

(51) B H02P7/68

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ

(54) ЕЛЕКТРОПРИВІД ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

1

(21) 2001074985

(22) 15 10 2001

(24) 15 05 2002

(46) 15 05 2002, Бюл. № 5, 2002 р

(72) Тітєвський Володимир Маркович, Литвинов Віктор Іванович, Жукова Наталя Вікторівна, Кузьменко Віктор Миколайович, Підгорний Ігор Вікторович, Казаков Вадим Олександрович

(73) ВІДКРИТЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "ЗАВОД "УНІВЕРСАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ"

(57) Електропривід постійного струму, що містить задатчик і регулятор активної потужності на валу двигуна, з'єднаний з перемножником, входи якого з'єднані з датчиком струму якоря і датчиком кутової швидкості вала двигуна, який відрізняється тим, що він обладнаний комутатором струмового входу перемножника, інформаційні входи якого з'єднані з датчиком струму якоря і віртуальною уставкою струму якоря, рівною $I_B = P / \omega_{\text{хх}}$, де $\omega_{\text{хх}}$ -

2

електромагнітна постійна двигуна, $\omega_{\text{хх}}$ - задана заправна кутова швидкість холостого ходу двигуна, P - задана потужність електроприводу, і тригером стану електроприводу "потужність - швидкість", вихід якого з'єднаний з керуючим входом комутатора струмового входу перемножника, а вхід тригера підключений до виходу комбінаційного логічного пристрою, що реалізує логічну функцію $Y = K_{\omega} \overline{K_I} X + K_{\omega} K_I \overline{X}$ де K_{ω} - вихід компаратора швидкості, K_I - вихід компаратора струму, X - вихід тригера стану, Y - вихід комбінаційного логічного пристрою, а також опорою компаратора швидкості, підключеною через нормуючий підсилювач з коефіцієнтом, рівним $1/C_B$, до задатчика потужності, і опорою компаратора струму, підключеною до віртуальної уставки струму якоря

Винахід відноситься до електротехніки і може бути використаний у безупинних багатодвигунових технологічних лініях обробки металу тиском (ОМТ), електропривід яких керується за завданням потужності

Відомий електропривід постійного струму, який забезпечує задану електромагнітну потужність на валу двигуна за допомогою замкнутого контуру регулювання зі зворотним зв'язком у виді перемножника сигналів, пропорційних струму якоря і кутової швидкості вала двигуна (Башарин А В, Новиков В А, Соколовський Г Г. Керування електроприводами. Навчальний посібник для вузів — Л. Энергоиздат. Ленінградське відділення, 1982 р. — 392 с., іл., див стор 278 - 293)

Недоліком зазначеного електропривода є неможливість його роботи при зникненні навантаження, тому що двигун зі зворотним зв'язком по потужності прискорюється до досягнення максимально можливої швидкості, що відповідає максимальній напрузі регульованого джерела живлення

Відомий багатодвигуновий електропривід, застосовуваний у безупинній технологічній лінії ОМТ,

у якому всі локальні електроприводи керуються тільки по активній потужності на валу двигуна (див. Спосіб керування електроприводом безупинної технологічної лінії обробки металу тиском. ОАО "Завод "Універсальне устаткування", Деклараційний патент України № 36424 А прототип винаходу)

Зазначений електропривід має істотний недолік. Даний багатодвигуновий електропривід, локально керований тільки по потужностях, не забезпечує в автоматичному режимі важливий елемент безупинної технології ОМТ — послідовне заправлення деформуємого металу в робочі кліти. У процесі цього заправлення в тих клітках, де метал ще відсутній, відповідні локальні електроприводи не навантажені. Керування локального електропривода по потужності припускає наявність навантаження, що відповідає локальній технологічній операції. Тому в режимі заправлення, де відсутнє навантаження, система керування по потужності змушує двигун прискорюватися до максимально можливої швидкості

Тобто, існує протиріччя з одного боку — у ро-

(13) A

(11) 46432

(19) UA

бочому режимі локальний електропривід повинен керуватися по заданій потужності, а з іншого боку – у процесі заправлення двигун повинен забезпечувати лінійну швидкість частини калібру робочих валків, що повинна трохи перевищувати лінійну швидкість металу, що заходить у вогнище деформації, тим самим забезпечуючи режим заправлення і захоплення металу валками.

В основу винаходу поставлена задача удосконалити електропривід, регульований по потужності, шляхом оснащення приводу елементами, завдяки яким забезпечується в автоматичному режимі необхідна заправна швидкість інструмента чи холостого ходу двигуна при відсутності навантаження.

Сутність винаходу полягає в тому, що електропривід постійного струму, що містить задатчик і регулятор активної потужності на валу двигуна, з'єднаний з перемножником, входи якого з'єднані з датчиком струму якоря і датчиком кутової швидкості вала двигуна, що відрізняється тим, що він постачений комутатором струмового входу перемножника, інформаційні входи якого з'єднані з датчиком струму якоря і віртуальною уставкою струму якоря, рівної $I_B = P / c\omega_{xx}$, де c – електромагнітна постійна двигуна, ω_{xx} – задана заправна кутова швидкість холостого ходу двигуна, P – задана потужність електропривода, і тригером стану електропривода "потужність - швидкість", вихід якого з'єднаний з керуючим входом комутатора токового входу перемножника, а вхід тригера підключений до виходу комбінаційного логічного пристрою, що реалізує логічну функцію $Y = K\omega \bar{K}_I X + K\omega K_I \bar{X}$, де $K\omega$ – вихід компаратора швидкості, K_I – вихід компаратора струму, X – вихід тригера стану, Y – вихід комбінаційного логічного пристрою, а також опорою компаратора швидкості, підключеною через нормуючий підсилювач з коефіцієнтом, рівним $1/cl_B$, до задатчика потужності, і опорою компаратора струму, підключеною до віртуальної уставки струму якоря.

Виходячи із сутності винаходу при відсутності навантаження до струмового входу перемножника двох сигналів, пропорційних струму якоря і кутовій швидкості ротора двигуна, підключається віртуальна уставка струму якоря, рівна заданій робочій потужності двигуна P , ділений на необхідну заправну кутову швидкість холостого ходу двигуна $I_B = P / \omega_{xx}$, а з появою навантаження до згаданого струмового входу перемножника підключається сигнал, пропорційний струму якоря двигуна.

Ознакою переходу від приводу потужності до приводу швидкості при відсутності навантаження є переоберти двигуна стосовно названої швидкості його холостого ходу, що задається в 1,2 рази більше робочої швидкості $\omega_{xx} = 1,2\omega$. У зв'язку з тим, що привід швидкості підтримує швидкість на заданому рівні з появою навантаження, то зворотний перехід від приводу швидкості до приводу потужності здійснюється по ознаці збільшення електромагнітного моменту, тобто струму якоря, стосовно названої віртуальної уставки струму якоря.

Загальними з прототипом істотними ознаками винаходу є

- задатчик потужності,

- регулятор потужності, з'єднаний з перемножником, входи якого з'єднані з датчиком струму якоря і датчиком кутової швидкості вала двигуна.

Відмітними від прототипу істотними ознаками є

- наявність комутатора струмового входу перемножника, інформаційні входи якого з'єднані з датчиком струму якоря і віртуальною уставкою струму якоря, рівною $I_B = P / c\omega_{xx}$, де c – електромагнітна постійна двигуна, ω_{xx} – задана заправна кутова швидкість холостого ходу двигуна, P – задана потужність електропривода.

- наявність тригера стану електропривода "потужність - швидкість", вихід якого з'єднаний з керуючим входом комутатора струмового входу перемножника, а вхід цього тригера підключений до виходу комбінаційного логічного пристрою, що реалізує логічну функцію $Y = K\omega \bar{K}_I X + K\omega K_I \bar{X}$, де $K\omega$ – вихід компаратора швидкості, K_I – вихід компаратора струму, X – вихід тригера стану, Y – вихід комбінаційного логічного пристрою.

- опора компаратора швидкості підключена через нормуючий підсилювач з коефіцієнтом, рівним $1/cl_B$, до задатчика потужності, а опора компаратора струму підключена до віртуальної уставки струму якоря.

Перераховані істотні ознаки є необхідними і достатніми для усіх випадків, на які поширюється область використання винаходу.

Між істотними ознаками винаходу і технічним результатом забезпеченням режиму заправлення робочого тіла в безупинну багатодвигуну технологічну лінію ОМТ, електропривід якої керується за завданням потужності – існує причинно-спієдний зв'язок, що пояснюється наступними доводами. Регульований електропривід за завданням активної потужності на валу двигуна, рівної $P = cI\omega$, побудований зі зворотним зв'язком, пропорційним цьому добутку. Отже, якщо зникає навантаження на двигун, електропривід по потужності трансформується в регульований привід по швидкості при заміні в зворотному зв'язку реального сигналу від датчика струму на віртуальну уставку струму якоря, що дорівнює $I_B = P / c\omega_{xx}$. Це можна зробити завдяки тому, що, як показує практика, електромагнітна потужність, вкладена в технологічний процес ОМТ, пропорційна швидкості $P \sim \omega$, тому що навантаження практично не залежить від швидкості. А тому що заправна швидкість ω_{xx} повинна бути більше робочої $\omega_{xx} = 1,2\omega$, то відношення двох змінних величин P і $c\omega_{xx}$ практично не буде змінюватися при зміні продуктивності безупинного технологічного процесу. Отже, названу віртуальну уставку струму якоря, рівну $I_B = P / c\omega_{xx}$, з достатньою точністю можна прийняти за постійну, що необхідно для побудови електропривода по швидкості, що починає виконувати свою функцію з появою віртуальної уставки струму якоря на струмовому вході перемножника зворотного зв'язку. Причому привід швидкості, завдяки такій віртуальній уставці, забезпечує необхідну швидкість заправлення ω_{xx} при тій же заданій потужності, тому що рівність вираження $P = cI\omega = c(P / cl\omega_{xx})\omega$ може бути тільки при $\omega = \omega_{xx}$.

Зворотний перехід від швидкості до потужності, з появою навантаження, здійснюється зворотним переключенням струмового входу перемножника з віртуальної струмової уставки на реальний сигнал струму якоря. Причому, що дуже важливо, у момент захоплення робочого тіла валками, швидкість у привода по швидкості під час появи навантаження природно упаде, чим забезпечується вже робочий режим привода по потужності. Тому при заміні струмової галузі в зворотному зв'язку вихід перемножника практично не міняється, тому що сигнали, що перемножуються, під час цього перехідного процесу поведуться обернено – пропорційним образом. Отже регулятор не випробує ударний вплив зворотного зв'язку при заміні її елементів. Тому не потрібно спеціальних заходів для динамічного демпфірування такого складного перехідного процесу.

У зв'язку з тим, що електропривід має всього два стани "швидкість" чи "потужність", для його ідентифікації необхідний тільки один тригер, наприклад тригер з рахунковим входом Y, вихід якого X з'єднаний з керуючим входом комутатора токового входу перемножника зворотного зв'язку.

Логічний перехід від "потужності" до "швидкості", при зникненні навантаження, здійснюється при збільшенні швидкості і появи на виході компаратора швидкості K_{ω} логічної одиниці (1), а також при зменшенні струму якоря і появи на виході компаратора струму K_I логічного нуля (0). Це забезпечується відповідними опорами компараторів, що з'єднані з задатчиком потужності P через нормуючий підсилювач з коефіцієнтом підсилення рівним $1/c_{I_B}$ і віртуальної уставкою струму якоря I_B . Після переходу привід швидкості підтримує швидкість ротора двигуна, рівної $\omega_{\text{жк}}$.

Логічний перехід від "швидкості" до "потужності" з появою навантаження здійснюється з появою на виході компаратора струму K_I логічної одиниці (1) і збереженні логічної одиниці (1) на виході компаратора швидкості $\omega_{\text{жк}}$.

Такий простий автомат з пам'яттю отриманий за допомогою комбінаційного пристрою, що реалізує структурну формулу $Y = K_{\omega} \bar{K}_I X + K_{\omega} K_I \bar{X}$ (граф – схема автомата і його таблиця істинності тут не показані) і тригера стану "швидкість-потужність".

Сутність винаходу пояснюється функціональною схемою електропривода, що складається з електропривода, керованого по потужності, і логічного пристрою керування переходом привода "потужності" до привода "швидкості" і навпаки.

Електропривід потужності складається з послідовно з'єднаних між собою елементів задатчика 1 і регулятора 2 потужності, керуючого органа (КО) 3, системи імпульсно-фазового керування (СІФК) 4, керованого силового тиристорного випрямляча 5, датчика струму (ДС) 6, тахогенератора (ТГ) чи датчика швидкості 7, нормуючих підсилювачів 8 і 9 названих датчиків і перемножника 10 сигналів від датчиків струму якоря 6 і датчика швидкості двигуна 7.

Названий логічний пристрій складається з віртуальної токової уставки 11, комутатора 12 токового входу перемножника 10, нормуючого підсилювача 13, з'єднаного з задатчиком потужності 1,

компараторів струму 14 і швидкості 15, з'єднаних через нормуючі підсилювачі 8 і 9 з датчиком струму 6 і датчиком швидкості 7 і відповідними опорами – віртуальною струмовою уставкою 11 і задатчиком потужності 1. Компаратори струму 14 і швидкості 15 з'єднані з комбінаційним логічним пристроєм 16, що складається з двох елементів "І", одного елемента "ЧИ" і одного елемента "НІ". Логічний пристрій 16 реалізує логічну функцію $Y = K_{\omega} \bar{K}_I X + K_{\omega} K_I \bar{X}$, вихід Y пристрою 16 з'єднаний із тригером 17 з рахунковим входом, що визначає стан електропривода "потужність-швидкість". Вихід X тригера 17 з'єднаний з керуючим входом комутатора 12 токового входу перемножника 10.

Електропривід працює в такий спосіб:

Розглянемо комплектний електропривід, що містить ЕПУ 12 – 40 – 27М, 100А, 230В, коефіцієнт передачі датчика струму КДС = 0,06В/А та електродвигун 4 ПНМ 160LT з номінальними (н) параметрами $P_n = 11\text{кВт}$, $I_n = 57\text{А}$, $U_n = 220\text{В}$, $N_n = 1400\text{об/хв}$, коефіцієнт передачі тахогенератора $K_T = 20 \cdot 10^{-3} \text{В} \cdot \text{хв/об} = 0,191 \text{В} \cdot \text{с/рад}$. Електромагнітна постійна двигуна визначається з вираження його потужності $P_n = c I_n \omega_n$, $c = P_n / (I_n \cdot 2\pi N_n) = 11000 / (60 / 57 \cdot 1400 \cdot 2\pi) = 1,316 \text{В} \cdot \text{с/рад}$, $\omega_n = 2\pi N_n / 60 = 146,6 \text{рад/с}$.

Задатчик потужності 1 задає на регулятор 2 напругу 0 – 10В, що відповідає 0 – 11000Вт. Отже режим рівноваги системи заданої й отриманий на двигуні потужності забезпечується вибором коефіцієнтів підсилення C_I і C_{ω} нормуючих підсилювачів 8 і 9, з'єднаних з датчиком струму 6 і оборотів 7. При внутрішньому коефіцієнті $K_n = 0,1$ перемножника 10, зазначений баланс потужностей виходить з відповідності $P_n = 11\text{кВт} \rightarrow U_y = 10\text{В}$ при нерівності розмірностей

$$c I_n \omega_n \Rightarrow c (I_n K_{\text{ДС}} C_I) \left(\frac{2\pi N_n}{60} \cdot K_T \cdot \frac{60}{2\pi} \cdot C_{\omega} \right) \cdot K_n = U_y, \text{ тоді}$$

$$C_I C_{\omega} = \frac{U_y}{c I_n N_n K_n K_{\text{ДС}} K_T} = \frac{10 \cdot 10^3}{1,316 \cdot 57 \cdot 1400 \cdot 0,1 \cdot 0,06 \cdot 20} = 0,794.$$

При $C_{\omega} = 1/3 = 0,333$, $C_I = 0,794 \cdot 3 \approx 2,38$

Для потужності $P = 6300\text{Вт}$, споживаної на технологічну операцію при її продуктивності, що відповідає кутовій швидкості вала двигуна $\omega = 92\text{рад/с}$, його заправна швидкість $\omega_{\text{жк}} = 1,2 \cdot 92 = 110,4\text{рад/с}$. Тоді віртуальний струмовий уставці $I_B = P / c \omega_{\text{жк}} = 6300 / (1,316 \cdot 110,4) = 43,4\text{А}$ відповідає напруга $U_{\text{опв}} = I_B \cdot K_{\text{ДС}} \cdot C_I = 43,4 \cdot 0,06 \cdot 2,38 = 6,2\text{В}$, що є опором компаратора струму 14. Опора компаратора кутової швидкості прямо пропорційно залежить від заданої потужності P і дорівнює заправній швидкості холостого ходу двигуна ($\omega_{\text{жк}} = P / c I_B$). Тому нормуючий підсилювач 13, вхід якого з'єднаний із задатчиком потужності 1 має коефіцієнт підсилення C_P , що задовольняє вираженню $P \cdot C_P = \omega_{\text{жк}}$ тоді

$$C_P = \frac{\omega_{\text{жк}}}{P} \Rightarrow \frac{\omega_{\text{жк}} \cdot K_T \cdot C_{\omega}}{(P/P_n) \cdot U_y} = \frac{110,4 \cdot 0,191 \cdot 0,333}{(6,3/11) \cdot 10} \approx 1,23 \text{ чи}$$

$$C_P = \frac{1}{c I_B} \Rightarrow \frac{1}{c I_B K_{\text{жк}} C_I K_n} = \frac{1}{1,316 \cdot 43,4 \cdot 0,06 \cdot 2,38 \cdot 0,1} \approx 1,23$$

Отже, замкнута система електропривода в

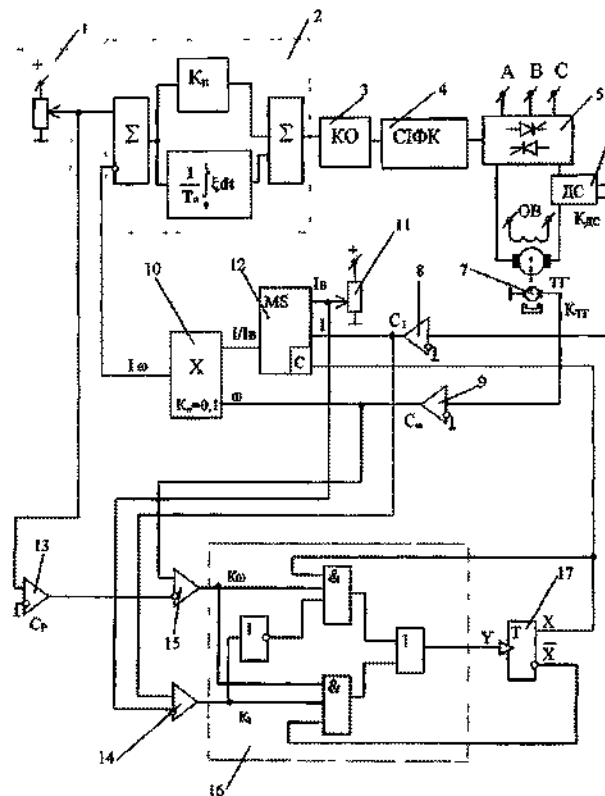
присутності навантаження, що відповідає технологічній операції, і споживанні 6300Вт при відповідній робочій кутовій швидкості $\omega = 92\text{рад/с}$ і обраних вищезгаданих параметрах пропонованого логічного пристрою підтримується в стані регулятора потужності $P = C\omega$. При цьому комутатор 12 подає на токовий вхід перемножника 10 сигнал від датчика струму 6, завдяки тому, що на керуючий вхід комутатора 12 подається логічна одиниця (1) за допомогою тригера стану 17 "швидкість - потужність". Причому, вихід $K\omega$ компаратора швидкості 15 відповідає логічному нулю (0), тому що на його вході напруга $U_{вх\omega} = \omega \cdot K_{ТГ} \cdot C_{\omega} = 92 \cdot 0,191 \cdot 0,333 = 5,858\text{В}$ менше напруги на його опорі (ОП) $U_{оп\omega} = (P/P_H) \cdot U_y \cdot C_P = (6300/11000) \cdot 10 \cdot 1,23 = 7,04\text{В}$. А вихід компаратора струму 14 відповідає логічній одиниці (1), тому що на його вході напруга $U_{вхI} = (P/C\omega) \cdot K_{ДС} \cdot C_I = 52,04 \cdot 0,06 \cdot 2,38 = 7,4\text{В}$ більше напруги на його опорі $U_{опI} = 6,2\text{В}$.

При зникненні навантаження, тобто при збіль-

шенні швидкості більш $\omega_{\text{н}} = 110,4\text{рад/с}$ і зменшенні струму якоря нижче $I_B = 43,4\text{А}$, відбувається зміна стану компараторів 14 і 15 і відповідно тригера стану 17 за допомогою логічного пристрою 16. Як наслідок, на керуючий вхід комутатора 12 подається логічний нуль (0) і на токовий вхід перемножника 10 подається віртуальна струмова уставка I_B з напругою $U_{опI} = 6,2\text{В}$. Завдяки цьому привід з регулятора потужності перетворюється в регулятор швидкості.

З появою навантаження входи K_I і K_{ω} компараторів 14 і 15 будуть відповідати двом логічним одиницям і відбудеться перехід за допомогою названих елементів від приводу швидкості до приводу потужності.

Таким автоматичним образом забезпечується режим управління при безупинній технології.



Фиг.

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)

вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна

(044) 456 - 20 - 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»

вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна

(044) 216 - 32 - 71