



УКРАЇНА

(19) UA (11) 36424 (13) A

(51) 6 H02P7/68

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту(54) СПОСІБ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ НЕПЕРЕРВНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ОБРОБКИ
МЕТАЛУ ТИСКОМ

(21) 99126860

(22) 16.12.1999

(24) 16.04.2001

(33) UA

(46) 16.04.2001, Бюл. № 3, 2001 р.

(72) Тітєвський Володимир Маркович, Литвинов Віктор Іванович, Горовий Олександр Борисович, Жукова Наталя Вікторівна, Рипало Дмитро Анатолієвич, Підгорний Ігор Вікторович

(73) Відкрите акціонерне товариство "Завод "Універсальне обладнання"

(57) Спосіб управління електроприводами неперервної технологічної лінії обробки металу тиском, що включає взаємозалежне управління приводами клітей по лінійній швидкості робочого тіла, **відрізняється** тим, що управління кожним приводом здійснюють по потужності, сумарну електричну потужність приводів задають регулятором лінійної швидкості робочого тіла, а її розподіл по приводах здійснюють варіацією потужності кожного приводу до одержання мінімальної сумарної потужності приводів, при цьому підтримують лінійну швидкість робочого тіла на заданому рівні.

Винахід відноситься до способів управління електроприводами неперервної технологічної лінії обробки металу тиском і може бути використаним в безупинних станах гарячої і холодної прокатки сорто- і листопрокатного виробництва чорної металургії, а також при виробництві порошкового дроту, застосовуваного для обробки металургійних розплавів.

Відомий спосіб управління взаємозалежними електроприводами описаний у книзі Башаріна А. В., Новікова В. А., Соколовського Г. Г. «Управління електроприводами: Навчальний посібник для вузів - Л: Енерговидав. Ленінгр. відділення, 1982 р. - 392 с., іл. (див. стор. 186-198), що застосовується в безупинних технологічних процесах обробки металу тиском. Даний спосіб прийнятий у якості прототипу.

Відповідно до цього способу кожний електропривід на нижньому рівні управління регулюється по швидкостям і моментам електродвигунів з обліком кінематики і динаміки технологічного процесу. Застосовується також привід по потужності, наприклад, на моталці (див. прототип, стор. 278-293). Взаємозв'язок і корекція зазначених параметрів приводів здійснюється верхнім рівнем управління на основі інформації про стан робочого тіла у всіх клітках і міжкліткових проміжках.

Основний недолік цього способу - неможливість автоматизації неперервного технологічного процесу при відсутності інформації про сили опори в клітках (осередках деформації) і натягах робочого тіла в міжкліткових проміжках. Тому в системі управління встановлюють регулюючі елементи, за

допомогою яких вручну, спостерігаючи візуально за об'єктом, коректують реальний процес управління.

У основу винаходу поставлене технічне завдання - удосконалити спосіб управління електроприводами неперервної технологічної лінії обробки металів тиском шляхом управління по потужності всіма приводами, що забезпечує автоматизоване управління багатодвигунним електроприводом.

Сутність винаходу полягає в тому, що в способі управління електроприводами неперервної технологічної лінії обробки металу тиском, що включає взаємозалежне управління приводами клітей по лінійній швидкості робочого тіла, управління кожним приводом здійснюють по потужності, сумарну електричну потужність приводів задають регулятором лінійної швидкості робочого тіла, а її розподіл по приводах здійснюють за допомогою варіації потужності кожного приводу до одержання мінімальної сумарної потужності приводів, при цьому підтримують лінійну швидкість робочого тіла на заданому рівні.

Загальним із прототипом істотною ознакою винаходу є:

взаємозалежне управління приводами клітей по лінійній швидкості робочого тіла.

Відмітними від прототипу істотними ознаками винаходу є:

- управління кожним приводом здійснюють по потужності;

(19) UA (11) 36424 (13) A

- сумарну електричну потужність приводів задають регулятором лінійної швидкості робочого тіла;

- розподіл сумарної електричної потужності по приводах здійснюють за допомогою варіації потужності кожного приводу до одержання мінімальної сумарної потужності приводів, при цьому підтримують лінійну швидкість робочого тіла на заданому рівні.

Приведені істотні відмітні ознаки є необхідними і достатніми у всіх випадках, на які поширюється об'єм правової охорони винаходу.

Між істотними ознаками і технічним результатом - забезпеченням автоматизованого управління багатодвигунним електроприводом неперервної технологічної лінії, існує причинно-слідчий зв'язок, що виявляється в наступному.

Основна вимога до багатодвигунного електропривода полягає в забезпеченні погодженого руху робочого тіла у всіх клітках, у яких відбувається його деформація, витяжка, профілегибка і т.д.

Єдиним критерієм керування індивідуальними приводами кожної клітки може бути тільки енергія формозміни робочого тіла незалежно від того, чи необхідна його витяжка в даній клітці або тільки гібка. Ця енергія не залежить від того, яким образом діаметр валка при конкретному робочому калібрі, а є функцією фізичного стану робочого тіла, тобто його температур, межі пластичності, в'язкості, коефіцієнта пружності і т.п.

До кожної клітки повинна додаватися індивідуальна потужність. Розмір цієї потужності залежить від сили механічного опору при конкретній технологічній операції і швидкості робочого тіла, що перетерплює формозміну. Отже, на нижньому рівні керування застосовуються приводи тільки з одним параметром регулювання - потужністю, що вкладається в локальну технологічну операцію, розмір її завдання пропорційне завданню швидкості.

Для реалізації запропонованого способу необхідно затратити конкретну сумарну потужність по всіх приводах. У реальному технологічному процесі механічні властивості робочого тіла по об'єктивних причинах можуть змінюватися в якихось межах. Тому з метою стабілізації продуктивності лінії сумарну електричну потужність робочих клітей коректують за допомогою замкнутого контуру регулювання по швидкості за допомогою задатчика і датчика швидкості робочого тіла.

Тому на верхньому рівні керування сумарна потужність усіх приводів регулюється за допомогою спостереження за швидкістю робочого тіла на виході з лінії. Крім цього, на верхньому рівні управління необхідно розподілити цю сумарну потужність по локальних приводах, не маючи інформації про опір робочого тіла в осередках деформації клітей і оперує тільки потужностями електроприводів.

Винахід пояснюється кресленнями, де на фіг. 1-4 показані силові зв'язки робочого тіла з валками клітей:

фіг. 1 - у міжклітьових проміжках симетричний силовий зв'язок - тільки натяг ідеально-жорсткого тіла;

фіг. 2 - у міжклітьових проміжках симетричний силовий зв'язок - тільки стиск ідеально-жорсткого тіла;

фіг. 3 - у міжклітьових проміжках симетричні змішані силові зв'язки ідеально-жорсткого тіла (натяг, стиск);

фіг. 4 - енергія незворотно споживається на деформацію не ідеально жорсткого робочого тіла в міжклітьових проміжках за рахунок асиметрії силових зв'язків.

На фіг. 5 зображена функціональна схема багатодвигунного електропривода, що пояснює запропонований спосіб управління.

На фіг. 6 показана функціональна схема багатодвигунного електропривода технологічної лінії виробництва порошкового дроту.

Реалізація розподілу потужностей полягає в наступному. Розглянемо поведінку робочого тіла в осередку деформації i -ої клітки і його стан у міжклітьовому проміжку між сусідніми клітками i і k . Зручніше розглядати завдання не через моменти сил і кутові швидкості, а через сили і лінійні швидкості. Баланс потужностей для i -ої клітки з обліком сил в осередку деформації і у міжклітьових проміжках має вид:

$$(F_{Eji}V_i - F_{Hi}V_i) + (F_{ik}V_i - F_{ij}V_j) = \frac{d}{dt}(E_{iKH}),$$

де F_{Eji} - активна електромагнітна сила, приведена до осередку деформації в i -ій клітці;

F_{Hi} - сила навантаження (опори) робочого тіла в i -ому осередку деформації;

F_{ik}, F_{ij} - сили реакції робочого тіла на валок у міжклітьових проміжках, індекси i, j, k відносяться до номера клітки.

V_i - лінійна швидкість робочого тіла в i -ому проході;

E_{iKH} - кінетична енергія маси валків і мас зв'язаних з ними (редуктор, якір двигуна) i -ої клітки.

Елементи F_{ik} (як показано на фіг. 1-4) відносяться до сил натягу або тиску робочого тіла між клітками з індексами i і k . Порядок проходження індексів визначає напрям вектора сили. Взаємодія несусідніх клітей за допомогою робочого тіла не враховується.

На підставі третього закону Ньютона сили, що діють на валки з боку робочого тіла в будь-якому міжклітьовому проміжку, рівні по абсолютному значенню, протилежні по напрямку і прикладені до сусідніх валків.

Ця силова симетрія справедлива тільки для досить жорсткого робочого тіла. Причому сторонній спостерігач (оператор), що не має датчиків натягу робочого тіла і тиску на інструмент, що деформує, маючи тільки можливість виміру параметрів електропривода, не зможе ідентифікувати: чи розтягнуто робоче тіло у конкретному міжклітьовому проміжку або стиснуто (фіг. 1, фіг. 2, фіг. 3).

Для цього ідеального випадку, якщо просумувати ліві і праві частини рівнянь балансу потужності для всіх клітей, наприклад, для варіанта, поданого на фіг. 1, одержимо в скалярному вигляді:

$$(F_{EЛ1}V_1 - F_{H1}V_1 + F_{12}V_1) + (F_{EЛ2}V_2 - F_{H2}V_2 - F_{21}V_1 + F_{23}V_2) + \\ (F_{EЛ3}V_3 - F_{H3}V_3 - F_{32}V_2 + F_{34}V_3) + (F_{EЛ4}V_4 - F_{H4}V_4 - F_{43}V_3) = \\ = \frac{d}{dt} \sum_{i=1}^n E_{iКIH}$$

Тобто потужності, зв'язані з робочим тілом, в останньому рівнянні компенсуються. Виходить, що при динамічній рівновазі (коли похідні за часом рівні нулю) для жорсткого робочого тіла сумарна

електрична потужність приводів $\sum_{i=1}^n F_{EЛi}V_i$ витрачається тільки на сумарну потужність сил опорів

$\sum_{i=1}^n F_{Hi}V_i$ в осередках деформацій, тобто:

$$\sum_{i=1}^n P_{EЛi} = \sum_{i=1}^n F_{EЛi}V_i = \sum_{i=1}^n F_{Hi}V_i = \sum_{i=1}^n P_{Hi}.$$

При реальному (нежорсткому) робочому тілі, де натяг або стиск не може цілком передаватися від кліти до кліти, частина енергії витрачається на міжклітьову незворотну деформацію робочого тіла (фіг. 4) Тобто, з'являється асиметрія розподілу сил у міжклітьових проміжках. Тому, у даному випадку, активна електромагнітна енергія приводів витрачається не тільки на деформацію робочого тіла в клітках, але і на міжклітьову (м. к.) незворотну деформацію робочого тіла, або:

$$\sum_{i=1}^n P_{EЛi} = \sum_{i=1}^n P_{Hi} + \sum_{i=1}^{n-1} P_{M.K.}.$$

Логіка підказує, як тільки з'являються хиткі процеси, наприклад, що передня кліть підштовхує наступну за допомогою робочого тіла, що не припустимо, споживання енергії повинно зростати, а лінійна швидкість робочого тіла падати за умови сталості заданої повної активної потужності. Тому на необхідну технологічну операцію у всіх клітках повинно витрачатися мінімум енергії. Як тільки буде спостерігатися хиткий процес, він зажадає витрати додаткової енергії. Тому при визначенні розподілу потужностей кожного електроприводу технологічної лінії потрібно використовувати принцип споживання мінімуму сумарної потужності при заданій швидкості робочого тіла на виході з лінії; або принцип максимально можливого вкладення енергії в конкретну кліть для вчинення стійкої технологічної операції в осередку деформації.

Отже, на верхньому рівні управління реалізується даний принцип за допомогою варіації потужності кожного приводу до одержання мінімальної сумарної потужності приводів при збереженні заданої лінійної швидкості робочого тіла. Для того, щоб почати даний процес, необхідно задати початковий розподіл потужностей. Перше наближення до реального процесу - теоретична оцінка енергосилових параметрів для кожної технологічної операції; потім ці початкові встановлені потужності коректуються на діючій технологічній лінії за допомогою запропонованого алгоритму.

Дане керування по потужностям кожного приводу з запропонованим алгоритмом визначення розподілу сумарної споживаємої потужності зовсім не вимагає обліку діаметрів валків приводних клі-

тей. Це значно спрощує будь-який безупинний технологічний процес.

Назвемо режимом ідентифікації алгоритм визначення розподілу потужностей по приводним клітям у неперервному технологічному процесі.

Весь алгоритм визначення критичних місць, що відповідають максимальним вкладенням потужностей у приводні кліті при заданій швидкості, буде справедливий лише тільки в тому випадку, коли повна сила опору в осередках деформації всіх клітей буде постійною. Не дивлячись на те, що

$\sum_{i=1}^n F_{Hi}$ слабо залежить від швидкості, в алгорит-

мі обов'язково пропонується швидкість робочого тіла на виході неперервної технологічної лінії підтримувати постійною зовнішнім регулятором швидкості, для того щоб знайдений розподіл потужностей був адекватним реальному об'єкту.

Як показано на фіг. 5 вихід зовнішнього регулятора швидкості, що має задатчик і датчик швидкості робочого тіла, є задатчиком-розподільником потужностей електроприводів. До його виходу паралельно підключені локальні уставки R_1, R_2, \dots, R_n завдання потужності кожного електропривода. Всі електроприводи працюють із зворотним зв'язком по власній потужності, що вимірюється. Вимірюється також і сумарна потужність, споживана приводами.

Як тільки при варіації локальної уставки потужності n-го приводу сумарна потужність буде зростати при сталості швидкості робочого тіла, що підтримує зовнішній регулятор на заданому рівні, процес варіації потужності n-ой кліті зупиняється. Таким чином, визначається оптимальний розподіл потужностей для всіх електроприводів робочих клітей.

Вище описана формалізація управління реалізується за допомогою відомих засобів автоматизації. У запропонованому способі може використовуватися регульований електропривід як постійного, так і перемінного струму.

Приклад реалізації способу.

Запропонований спосіб управління багатодвигунним електроприводом реалізований для неперервної технологічної лінії виробництва порошкового дроту (ПД). Всього на лінії встановлено п'ять електроприводів, враховуючи привід моталки. Номінальна швидкість дроту - 2 м/с.

З метою одержання щільного упакування дроту на котушці, на моталці створюється сила натягу дроту, що значно перевищує й опір вигину; тому електрична потужність i-го приводу обрана менше механічної потужності опору i-ой кліті. Натяг ПД між клітями створюється моталкою; натяг дроту на моталці коректується електричною потужністю приводу моталки; швидкість ПД стабілізується управлінням сумарної потужності чотирьох електроприводів профілегибочного пристрою.

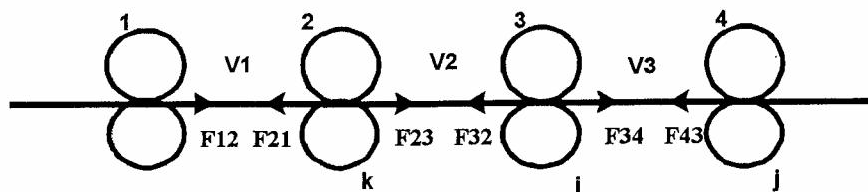
З оцінки енергосилових параметрів лінії для швидкості 2 м/с розподіл потужностей приводів, у тому числі і моталки, обрано наступним: 2,5 квт, 1,1 квт, 1,3 квт, 3,8 квт, 2,4 квт. Використовувалися п'ять електроприводів постійного струму типу ЄПУ-1-2-40-47М з номінальними даними двигунів відповідно: 3 квт; 2,2 квт; 2,2 квт; 5,5 квт; 5,5 квт.

Вихід регулятора швидкості (див. фіг. 6) тут є задатчиком-розподільником потужностей чотирьох електроприводів, навантаженням якого є чотири перемінних резистора $R_1...R_4$, включених паралельно, за допомогою яких реалізується коректування розподілу потужностей по вищеприписаному алгоритму. Регульована напруга в один вольт відповідає одному кіловату потужності приводу. Пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор швидкості з задатчиком і датчиком швидкості порошкового дроту (ТГ ЦД) варіює сумарну електричну потужність чотирьох приводів профілегібочного пристрою при зміні механічного опору лінії з метою стабілізації лінійної швидкості дроту. Завдання потужності п'ятого приводу моталки задається безпосередньо від реохорда задатчика швидкості дроту для підтримки її натягу на рівні 1200 Н при

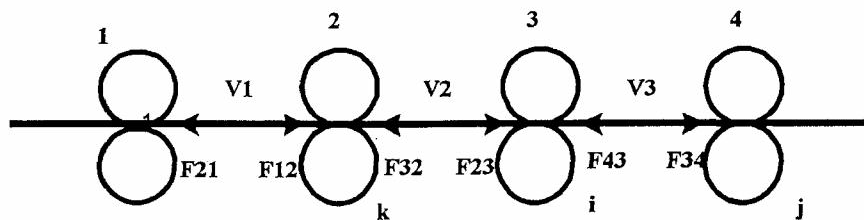
постійній швидкості ПД. Коректується ця сила резистором $R_{\text{мот}}$.

Зворотний зв'язок електроприводів по власній електричній потужності реалізовується за допомогою аналогових перемножувачів сигналів струму якоря і кутової швидкості двигунів. Конкретно застосовується перемножувач К525ПСЗ.

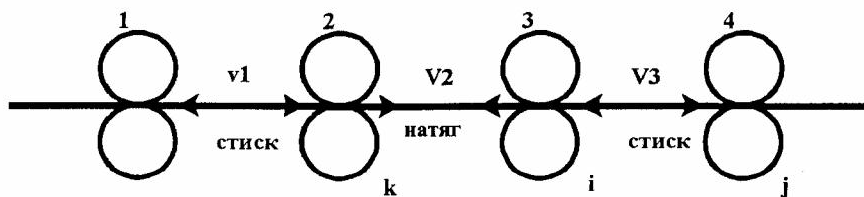
Реалізація всіх істотних ознак винаходу забезпечила повну синхронізацію лінійних швидкостей валків приводних клітей при різних їхніх діаметрах, що катають. У процесі зносу робочих валків останні неупорядковано переточувалися на вихідний калібр, але на менший катаючий діаметр. Після їхньої установки технологічна лінія працювала в тому ж електричному режимі без корекції раніше встановлених потужностей.



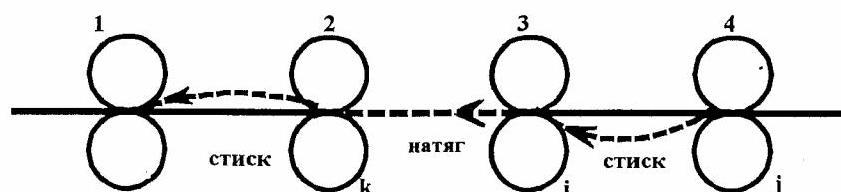
Фіг. 1



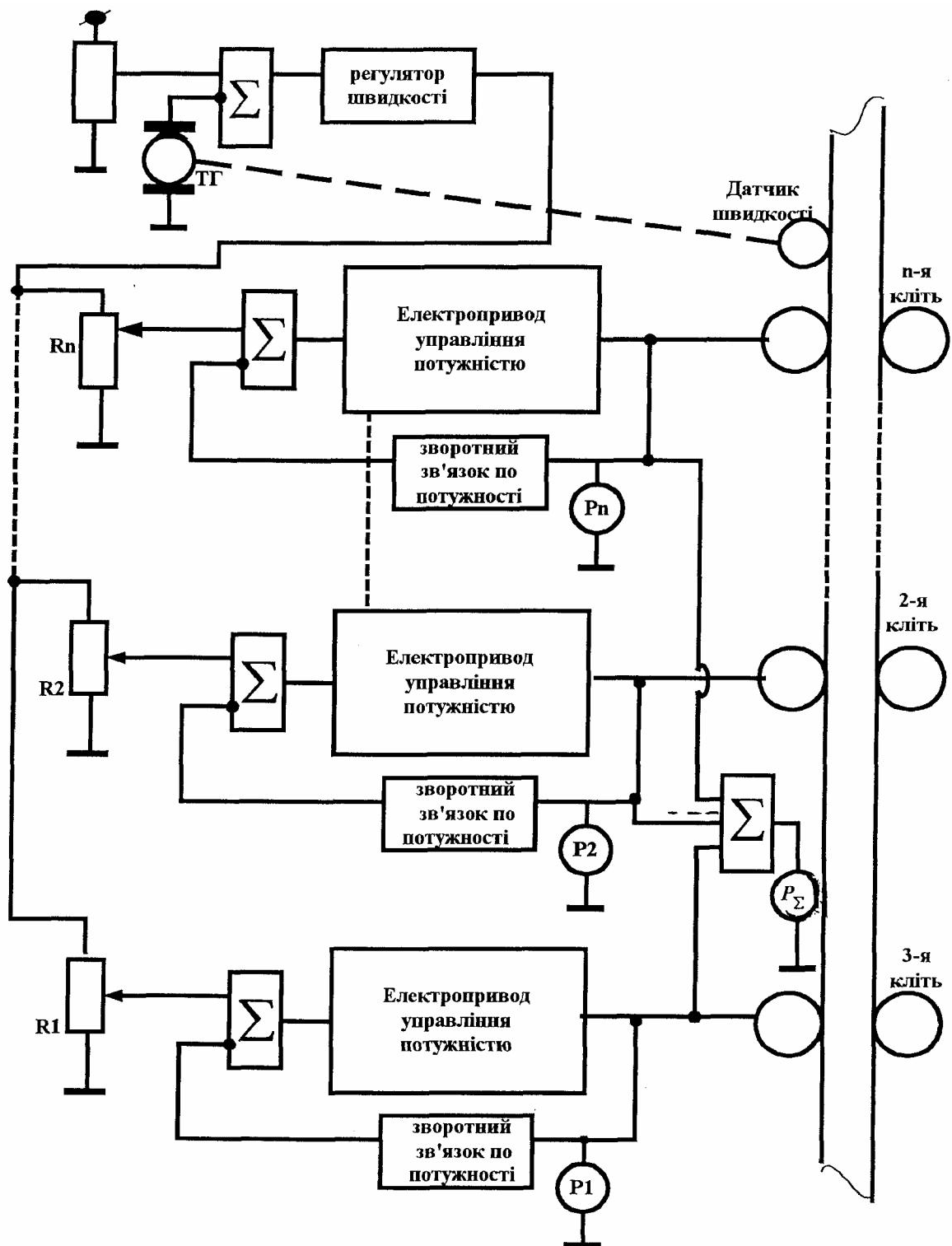
Фіг. 2



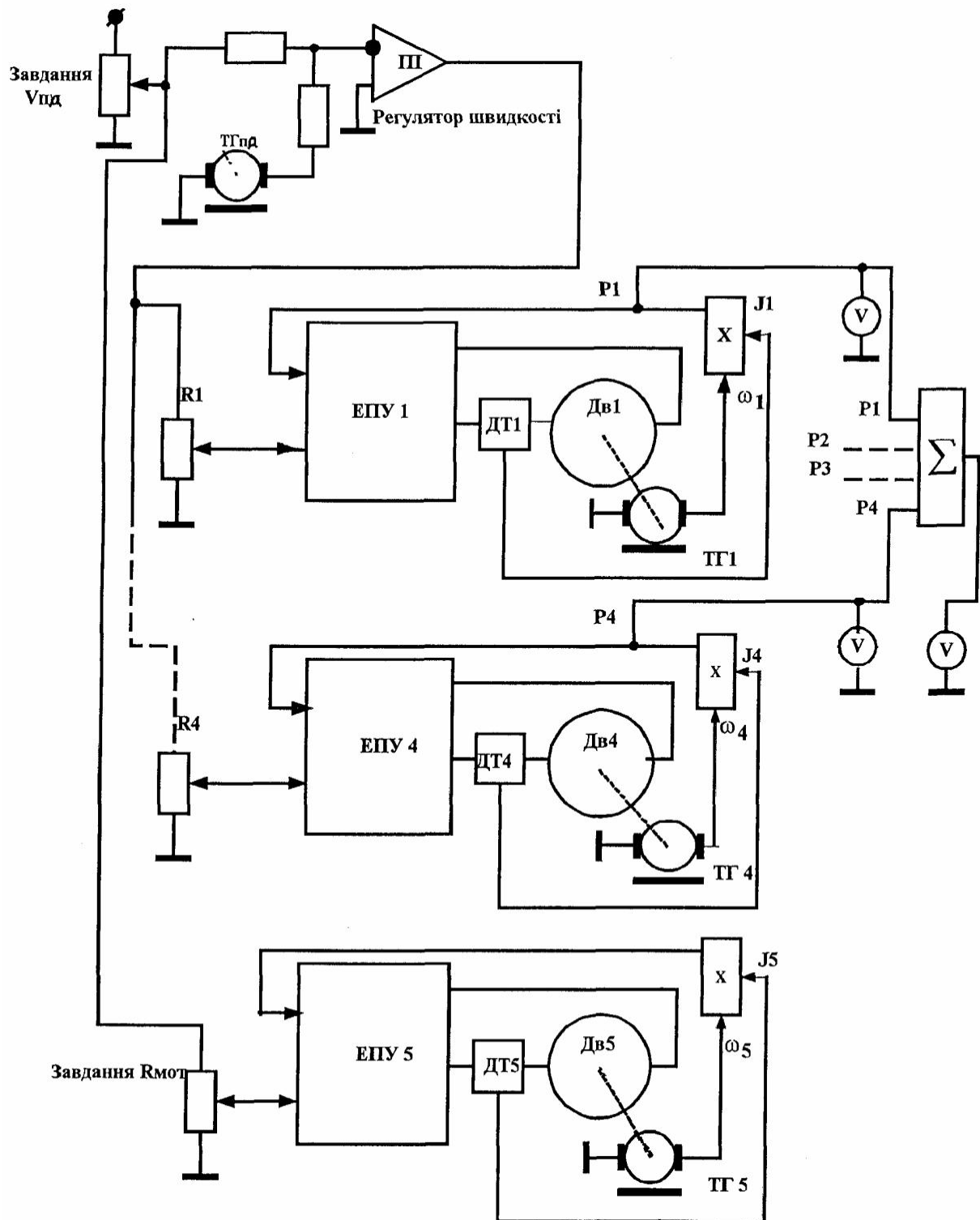
Фіг. 3



Фіг. 4



Фіг. 5



Фіг. 6

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
(044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60х84 1/8.
Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
(044) 268-25-22
