



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 59878

(13) A

(51) 7 H02P5/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ  
ВЛАСНИКА  
ПАТЕНТУ

## (54) СПОСІБ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

1

2

(21) 20021210709

(22) 28 12 2002

(24) 15 09 2003

(46) 15 09 2003, Бюл. № 9, 2003 р.

(72) Тронь Юрій Опанасович, Збруцький Олександр Васильович, Прохорчук Олександр В'ячеславович

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

(57) Спосіб автоматичного регулювання кутової швидкості електропривода, який полягає в тому, що формують задавальний сигнал, вимірюють сигнал, пропорційний значенню кутової швидкості електропривода, задавальний сигнал порівнюють із сигналом, пропорційним кутовій швидкості електропривода, результат порівняння алгебраїчно підсумовують із сигналом, пропорційним моменту навантаження, і формують сигнал керування електроприводом пропорційно отриманій сумі, який відрізняється тим, що результат порівняння подають на вхід моделі, сигнал на вході моделі мас-

штабують і алгебраїчно підсумовують із сигналом керування електроприводом, вимірюють сигнал на виході моделі, визначають значення нелинійної складової зовнішнього моменту навантаження відповідно з рівнянням

$$F(M) = aU_m,$$

вимірюють значення задавального сигналу і кутову швидкість електропривода, визначають значення сигналу компенсації діючого моменту навантаження у відповідності з рівнянням

$$\epsilon_k = b_1\omega + b_2F(M) - b_3\epsilon_3, \text{ де}$$

$\omega$  - кутова швидкість електропривода,

$\epsilon_3$  - задавальний сигнал,

$\epsilon_k$  - сигнал компенсації,

$U_m$  - сигнал на виході моделі,

$F(M)$  - поліном, що характеризує нелинійність механічної характеристики електропривода,

$a, b_1, b_2, b_3$  - постійні коефіцієнти, що зберігаються в пам'яті мікропроцесора, а сигнал керування формують як алгебраїчну суму задавального сигналу і сигналу компенсації

Винахід відноситься до області автоматичного регулювання координат електропривода в спостережуваних системах з нелинійними механічними характеристиками

Відомий спосіб автоматичного регулювання швидкості електроприводу (ЕП) полягає в тому, що вимірюють кутову швидкість регульованої координати, отримане значення порівнюють із задаючим сигналом і формують сигнал керування ЕП. Цей спосіб відноситься до статичного регулювання швидкості ЕП і характеризується тим, що одночасно зі зменшенням статичної помилки зменшується коефіцієнт передачі по задаючому сигналу, що зменшує потужність на валу ЕП [1]

Для надання відомому способу астатизму першого порядку вводять інтегрування сигналу помилки [2]

Недолік такого способу є зменшення швидкості процесу регулювання і, як наслідок, зменшення запасу стійкості системи [3]

Із цього випливає, що обмеження на збільшення добротності ЕП по швидкості пов'язані із втратою стійкості

При цьому, наявність зворотного зв'язку так само зменшує потужність на валу ЕП

Відомий спосіб автоматичного регулювання з використанням принципу інваріантності [4]

Цей принцип реалізовано у комбінованому способі автоматичного регулювання в замкнутих системах і він полягає у тому, що вимірюють момент збурювання, отримане значення алгебраїчно підсумовують із задаючим сигналом і формують сигнал компенсації моменту збурювання [5]

Недоліки даного способу полягають у тому, що проблема реалізації подібного додаткового зворотного зв'язку ускладнюється необхідністю використання спеціальних датчиків моменту збурювання, вбудовування яких у ЕП сполучене зі значними труднощами [3, стр 165]

(13) A

(11) 59878

(19) UA

Другий недолік пов'язаний з тим, що точність компенсації зовнішнього моменту визначається метрологічною точністю вимірювача моменту

Третій недолік зв'язаний з тим, що наявність зворотного зв'язку зменшує потужність на валу ЕП

Відомий спосіб комбінованого регулювання, що використовується в автоматичних системах для забезпечення інваріантності регульованої величини від збурювання [6], прототип, який полягає, що вимірюють момент збурювання, отримане значення алгебраїчно підсумовують із задаючим сигналом і формують сигнал керування ЕП

Недоліком відомого способу є зменшення потужності виконавчого органа, що керує об'єктом

Задача винаходу - підвищення потужності і швидкості процесів регулювання. Поставлена задача досягається тим, що результат порівняння подають на вхід моделі, сигнал з виходу моделі масштабують і алгебраїчно підсумовують із сигналом керування, вимірюють сигнал виходу моделі, визначають значення нелінійної складової зовнішнього моменту навантаження відповідно до керування

$$F(M) = a U_m$$

вимірюють задаючий сигнал і сигнал, пропорційний значенню регульованої координати, визначають значення сигналу компенсації навантаження відповідно з виразом

$$\varepsilon_k = b_1 \omega_3 + b_2 F(M) - b_3 \varepsilon_3$$

задаючий сигнал алгебраїчно підсумовують із сигналом компенсації і формують сигнал керування електроприводом, пропорційно отриманій сумі

де  $U_\omega$  - сигнал, пропорційний значенню кутової швидкості електропривода,

$U_m$  - сигнал на виході моделі,

$\varepsilon_3$  - задаючий сигнал,

$F(M)$  - нелінійний поліном N-ого ступеня,

$M$  - момент зовнішнього навантаження,

$a, b_1, b_2, b_3$  - постійні коефіцієнти

На фіг 1 приведена структурна схема системи регулювання кутової швидкості ЕП постійного струму послідовного збудження для реалізації запропонованого способу

На фіг 2 приведена структурна схема системи регулювання кутової швидкості ЕП перемінного струму

На фіг 3 приведена структурна схема системи автоматичного регулювання, в якій блоки 1, 2, 3, 9, 10 і 11 реалізовані програмним шляхом у мікропроцесорі

На фіг 4 приведені регулювальні характеристики контуру статичного регулювання у відповідності з прототипом і відповідно до запропонованого способу

На фіг 5 приведені регулювальні характеристики контуру астатичного регулювання ЕП постійного струму відповідно до запропонованого способу

На фіг 6 приведені регулювальні характеристики астатического контуру регулювання ЕП перемінного струму

На фіг 7 приведені регулювальні характеристики для розрахункового прикладу

На фіг 8 приведена характеристика сигналу на виході моделі від діючого збудження

На фіг 9 приведена характеристика сигналу компенсації рід діючого збудження

Система для автоматичного регулювання швидкості електропривода містить перший, другий і третій 1, 2, 3 суматори, підсилювач 4, перетворювач 5, електропривод 6, навантаження 7, вимірник кутової швидкості 8, модель 9, перший і другий масштабні перетворювачі 10 і 11, перший, другий і третій 12, 13 і 14 модулі введення аналогових сигналів (АЦП), модуль виводу цифрових сигналів (ЦАП) 15, інтерфейс 16, мікропроцесор 17

Спосіб автоматичного регулювання кутової швидкості ЕП здійснюється наступним чином

Рівняння механічної характеристики (МХ) ЕП з нелінійною залежністю між кутовою швидкістю і моментом зовнішнього навантаження (МЗН) визначається наступною залежністю

$$\omega = K_U U - F(M) \quad (1)$$

де  $\omega$  - регульована координата,

$U$  - сигнал керування,

$K_U$  - коефіцієнт передачі по керуючому впливу,

$F(M)$  - поліном, що характеризує нелінійність зовнішнього навантаження

$$F(M) = a_1 M + a_2 M^2 + \dots + a_N M^N$$

$a_1, a_2, \dots, a_N$  - коефіцієнти полінома, що визначаються із системи рівнянь

$$a_1 M_1 + a_2 M_1^2 + \dots + a_N M_1^N = \omega_0 - \omega_1$$

$$a_1 M_2 + a_2 M_2^2 + \dots + a_N M_2^N = \omega_0 - \omega_2 \quad (2)$$

$$a_1 M_N + a_2 M_N^2 + \dots + a_N M_N^N = \omega_0 - \omega_N$$

де  $M_1, M_2, \dots, M_N$  і  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N$  - координати

МХ ЕП, які визначаються експериментально

$\omega_0$  - кутова швидкість ЕП при відсутності МЗН

(точка холостого ходу)

$N$  - порядок поліному

Для реалізації запропонованого способу формують сигнал  $\varepsilon$ , вимірюють кутову швидкість ЕП у відповідності з рівнянням

$$U_\omega = K_\omega \omega \quad (3)$$

де  $U_\omega$  - сигнал на виході вимірювача кутової швидкості,

$K_\omega$  - коефіцієнт пропорційності

Для здійснення запропонованого способу використовується модель 9 з функцією перетворення

$$u_m = K_M U_m \quad (4)$$

де  $u_m$  - сигнал на виході моделі,

$U_m$  - сигнал на виході моделі,

$K_M$  - коефіцієнт передачі моделі

Далі, отриманий сигнал порівнюють із сигналом керування  $\varepsilon$  та отримують сигнал на виході моделі відповідно до рівняння

$$U_m = \varepsilon - \beta_\omega U_\omega \quad (5)$$

де  $\beta_\omega$  - коефіцієнт передачі масштабного перетворювача 10

З врахуванням (3) рівняння (5) можна представити в наступному вигляді

$$U_m = K_M (\varepsilon - K_\omega \beta_\omega \omega) \quad (6)$$

Сигнал на виході моделі 9  $U_m$  масштабують і алгебраїчно підсумовують із сигналом  $\varepsilon$  та фор-

мують сигнал керування ЕП відповідно до рівняння

$$u = \varepsilon + \beta_M U_M \quad (7)$$

де  $\beta_M$  - коефіцієнт масштабного перетворювача 11

На підставі рівнянь (1) - (7) одержують систему 2-х координатно-взаємозалежних рівнянь

$$K_u \beta_m U_m = K_u \varepsilon - F(M) \quad (8)$$

$$K_m K_\omega \beta_\omega \omega + U_m = K_m \varepsilon \quad (9)$$

Систему (8) - (9) можна представити в матричній формі

$$\begin{bmatrix} 1 & -K_u \beta_m \\ K_m K_\omega \beta_\omega & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ U_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_u \\ K_m \end{bmatrix} \varepsilon - \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} F(M) \quad (10)$$

Розв'язуючи систему (9) одержують систему з 2-х параметрично-взаємозалежних рівнянь

$$(1 + K_u K_m K_\omega \beta_\omega \beta_m) \omega = K_u (1 + K_m \beta_m) \varepsilon - F(M) \quad (11)$$

$$(1 + K_u K_m K_\omega \beta_\omega \beta_m) U_m - K_m (1 - K_u K_\omega \beta_\omega) \varepsilon + K_m K_\omega F(M) \quad (12)$$

Таким чином, в результаті цілеспрямованих дій над матеріальними об'єктами, одним із яких є ЕП 6, а іншим - модель 9, отримано два параметрично-взаємозалежні функціональні перетворення, одне з яких визначає залежність кутової швидкості ЕП 6 від сигналу керування  $\varepsilon$  і зовнішнього моменту навантаження  $M$  і друге - залежність сигналу  $U_m$  на виході моделі від сигналу керування  $\varepsilon$  та моменту навантаження  $M$ . Якщо співставити рівняння (11) і (12), то очевидно, що вони ідентичні за своєю структурою, причому, рівняння (12) є "дзеркальним" відображенням рівняння (11), тому блок 9 названий моделлю, а описана вище взаємодія названа рефлексивною взаємодією, а зв'язки 8, 10 і 3, 9, 11, 2 названі рефлексивними

При виконанні умови

$$K_u K_\omega \beta_\omega = 1, \quad (13)$$

що легко досягається вибором коефіцієнта передачі  $\beta_\omega$  масштабного перетворювача  $10\beta_\omega = 1/K_u K_\omega$  одержимо наступну систему рівнянь, що характеризують процеси регулювання у новій структурі

$$\omega = K_u \varepsilon - \frac{1}{1 + K_m \beta_m} F(M), \quad (14)$$

$$U_m = \frac{K_\omega K_m \beta_\omega}{1 + K_m \beta_m} F(M), \quad (15)$$

$$\text{звідки } F(M) = K_F U_m, \text{ де } K_F = \frac{1 + K_m \beta_m}{K_\omega K_m \beta_\omega} \quad (16)$$

Рівняння (14) можна представити в наступному вигляді

$$\omega = \omega_0 - \frac{1}{1 + K_m \beta_m} F(M) \quad (17)$$

Якщо навантаження на регульовану координату відповідає деякому номінальному значенню  $M = M_H$ , а сигнал  $\varepsilon$  - значенню задаючого сигналу  $\varepsilon_3$ , тоді

$$\omega_3 = K_u \varepsilon_3 - \frac{1}{1 + K_m \beta_m} F(M_H) \quad (18)$$

Тоді, характеристика регулювання відповідає фіг 5 і 6 поз 1 де  $\omega_0$  - значення швидкості ЕП при  $M = 0$  (точка холостого ходу)

На фіг 4 представлені нелінійні механічні характеристики ЕП

Поз 1 - природна МХ,

Поз 2 - МХ, що відповідає прототипу,

Поз 3, 4 - МХ, що відповідають рівнянню (16), їх величини отримані при різних значеннях  $K_m - K_{m1} < K_{m2}$

Ці характеристики відповідають статистичному регулюванню, а блоки 3, 9, 10 і 11 утворюють контур підлеглого регулювання. Так регульовальні характеристики 3, 4 проходять через точку  $\omega_0$  природної МХ, що забезпечує при тому самому  $M$  навантаженні більш високі швидкості регулювання, у порівнянні з прототипом, звідси випливає, що запропонований спосіб дозволяє збільшити потужність на валу ЕП як добуток діючого моменту на кутову швидкість

$$N = M \omega \quad (19)$$

Звідси випливає важливий висновок

при забезпеченні швидкостей регулювання по прототипу необхідно зменшувати потужність ЕП, що дає економію електричної енергії ЕП, що споживається з мережі

З рівняння (15) випливає, що сигнал виходу моделі є пропорційним моменту навантаження, та інваріантний щодо задаючого сигналу  $\varepsilon$

Відповідно до запропонованого способу сигнал керування формують як алгебраїчну суму задання  $\varepsilon_3$ , пропорційного заданій кутової швидкості, і сигналу  $\varepsilon_K$  компенсації помилки регулювання

$$\varepsilon = \varepsilon_3 + \varepsilon_K \quad (20)$$

З врахуванням (18) рівняння (14) буде відповідати наступному виразу

$$\omega = K_u (\varepsilon_3 + \varepsilon_K) - \frac{1}{1 + K_m \beta_m} F(M) \quad (21)$$

звідки значення сигналу компенсації  $\varepsilon_K$  буде відповідати рівнянню

$$\varepsilon_K = \frac{1}{K_u} \omega + \frac{1}{K_u (1 + K_m \beta_m)} F(M) - \varepsilon_3 \quad (22)$$

Рівняння (22) можна представити в наступному вигляді

$$\varepsilon_K = b_1 \omega_3 + b_2 F(M) - b_3 \varepsilon_3, \text{ де} \quad (23)$$

$$b_1 = \frac{1}{K_u}, \quad b_2 = \frac{1}{K_u (1 + K_m \beta_m)}, \quad b_3 = K_u$$

постійні коефіцієнти, що зберігаються в пам'яті мікропроцесора

Рівняння (21) у випадку номінального навантаження буде мати вигляд

$$\varepsilon_K = \frac{1}{K_u} \omega_3 + \frac{1}{K_u (1 + K_m \beta_m)} F(M_H) - \varepsilon_3 \quad (24)$$

Порівнявши рівняння (17) і (22) одержимо, що в цьому випадку сигнал  $\varepsilon_K = 0$  тому що

$$\omega_3 + \frac{1}{1 + K_m \beta_m} F(M_H) = K \varepsilon_3 \quad (25)$$

Нехай навантаження ЕП зросте і стане дорівнювати  $F(M) = F(M_H + \Delta M)$ . Це приведе до зменшення кутової швидкості ЕП на значення

$\omega = \omega_3 - \Delta\omega$  і створення сигналу компенсації відповідно до виразу

$$\omega_3 - \Delta\omega = K_u(\varepsilon_3 + \varepsilon_K) - \frac{1}{1 + K_m\beta_m} F(M_H + \Delta M), \quad (26)$$

звідки

$$\varepsilon_K = \frac{\omega_3 - \Delta\omega}{K_u} + \frac{1}{K_u(1 + K_m\beta_m)} F(M_H + \Delta M) - \varepsilon_3 \quad (27)$$

буде мати позитивне значення, пропорційне збільшенню моментального навантаження і зменшенню швидкості. Регульовальна характеристика при цьому буде відповідати фіг 5, 6 поз 3.

При зменшенні навантаження до значення  $F(M_H - \Delta M)$ , що приведе до збільшення швидкості ЕП до величини  $\omega = \omega_3 - \Delta\omega$ . Це приведе до виникнення сигналу компенсації  $\varepsilon_K$  відповідно до виразу

$$\omega_3 + \Delta\omega = K_u(\varepsilon_3 - \varepsilon_K) - \frac{1}{1 + K_m\beta_m} F(M_H - \Delta M) - \varepsilon_3, \quad (28)$$

звідки

$$\varepsilon_K = \frac{\omega_3 + \Delta\omega}{K_u} + \frac{1}{1 + K_m\beta_m} F(M_H - \Delta M) - \varepsilon_3 \quad (29)$$

буде мати негативне значення, пропорційне зменшенню навантаження і збільшенню кутової швидкості ЕП. Регульовальна характеристика при цьому буде відповідати фіг 5 і 6, поз 2.

Таким чином, при збільшенні навантаження регульовальна характеристика зміщується нагору, а при зменшенні - вниз відносно характеристики, що відповідає номінальному значенню фіг 5 і 6, поз 4.

Ця властивість запропонованого способу забезпечує астатичне регулювання швидкості ЕП, тобто інваріантність регульованої координати від моменту зовнішнього навантаження.

Система автоматичного регулювання кутової швидкості ЕП працює наступним чином, фіг 1, 2.

Нехай до вала ЕП прикладений МЗН, що відповідає деякому номінальному значенню  $M_H$ .

При подачі на вхід системи задаючого сигналу  $\varepsilon_3$ , після закінчення перехідного процесу кутова швидкість ЕП, відповідно з рівнянням (17) досягне

значення в точці з координатами  $(\omega_3, M_H)$  фіг 5 і 6, поз 1.

При цьому відбувається вимірювання сигналу з виходу моделі, введення в мікропроцесор і визначення діючого моменту зовнішнього навантаження відповідно з рівнянням (16). При цьому, значення коефіцієнта передачі  $K_F$  зберігається в пам'яті процесора як постійний коефіцієнт.

В процесі зміни моменту навантаження вимірюють значення сигналу завдання  $\varepsilon_3$ , дійсну кутову швидкість ЕП  $\omega$  і визначають значення моменту навантаження ЕП  $F(M) = F(M_H \pm \Delta M)$ . Потім визначають значення сигналу компенсації нелинійної складової  $\varepsilon_K$ , яке за допомогою модуля виводу 15 подають на другий вхід суматора 1.

Таким чином, регульовальні характеристики, одержані для запропонованого способу, відповідають рівнянням

- для номінального навантаження

$$\omega = K_u \varepsilon_3 = \omega_3 \quad (30)$$

- при збільшенні навантаження

$$\omega = K_u(\varepsilon_3 + \varepsilon_K) = \omega_3 \quad (31)$$

- при зменшенні навантаження

$$\omega = K_u(\varepsilon_3 - \varepsilon_K) = \omega_3 \quad (32)$$

і являють собою пряму лінію, фіг 5, 6, поз 4.

Таким чином, запропонований спосіб дає можливість визначити нелинійну складову моменту навантаження і визначати значення сигналу компенсації цього збурювання, а також формувати сигнал керування ЕП, як адитивну сумиш задаючого сигналу і сигналу компенсації.

Для доказу працездатності і досягнення позитивного ефекту запропонованого способу приведемо розрахунковий приклад.

Нехай механічна характеристика нелинійного об'єкта, що відповідає рівнянню

$$\omega = 100\varepsilon_3 - F(M),$$

$$\text{де } F(M) = (43,2 + 0,89M - 0,0062M^2)M$$

При  $\varepsilon_3 = 10$  і  $K_u = 0,01$  розрахункові значення приведені в таблиці 1 і на фіг 7, поз 1.

Таблиця 1

M, Нм	0	10	20	30	40	50
F(M), Н	10	349,2	557,6	682,4	700,8	710,0
$\omega, 1/c$	1000	650,8	442,4	337,6	292,2	290,0
$U_\omega, B$	10,0	6,508	4,424	3,376	2,922	2,900

Нехай  $F(M_H) = 20$ , що відповідає значенню регульованої координати  $\omega = 442,4$ .

Задамося значеннями зміни діючого збурювання  $\Delta M = \pm 50\%$ .

Задамося наступними значеннями параметрів  $K_m = 10$ ,  $\beta_m = 1$ ,  $\beta_m = 0,1$ .

Тоді будемо мати наступне рівняння

$$\omega = 100\varepsilon_3 - F(M)$$

$$U_m = 0,5F(M)$$

$$U_\omega = 0,01\omega$$

Розрахункові значення для цих рівнянь приведені в таблиці 2.

Таблица 2

M, Нм	0	10	20	30	40	50
F(M), НМ	0	349,2	557,6	662,4	700,8	710,0
$\omega$	1000	650,8	442,4	337,6	292,2	290,0
$U_m^A$	0	174,6	278,8	331,2	350,4	355,0
$U_{\omega}$	10	6,508	4,424	3,376	2,922	2,90

Відповідно до запропонованого способу, регулювання швидкості ЕП здійснюється згідно з рівнянням

$$\omega = 100(\varepsilon_3 - \varepsilon_K) - F(M)$$

при  $F(M_H)$

$$\varepsilon_K = 442,4 + 557,6 - 1000 = 0,$$

тобто при номінальному навантаженні і заданому значенні задаючого сигналу сигнал компенсації дорівнює нулю, що відповідає рівнянню (24) фіг 9, точка А

При  $M = 30$

$$442,4 = 1000 + 100 \varepsilon_K - 662,4,$$

звідки

$$\varepsilon_K = 4,424 + 6,624 - 10 = 1,048$$

фіг 9 точка В

$$\text{Тоді } \omega = 100 (10 + 1,048) - 662,4 = 442,4 = \omega_3$$

тобто регульована координата відповідає номінальному значенню, це відбувається тому, що точка  $\omega_{01} = K_u(\varepsilon_3 + \varepsilon_K)$  зміщується вгору по осі  $\omega$ , а механічна характеристика - паралельно сама до себе, фіг 7, поз 3 При зменшенні навантаження до значення  $M = 10$

$$442,4 = 1000 + 100 \varepsilon_K - 349,2$$

$$\text{звідки } \varepsilon_{до} = 4,424 + 3,492 - 10 = -2,084 \text{ фіг 9,}$$

точка З

$$\text{Тоді } \omega = 100(10 - 2,084) - 349,2 = 442,4 = \omega_3$$

Таким чином, приведені розрахунки підтвердили, що в запропонованому способі здійснюється астатичне регулювання швидкості ЕП

Література

1 Ахмеджанов А А Следящие системы и регуляторы М, Энергоатомиздат, 1986, стр 195

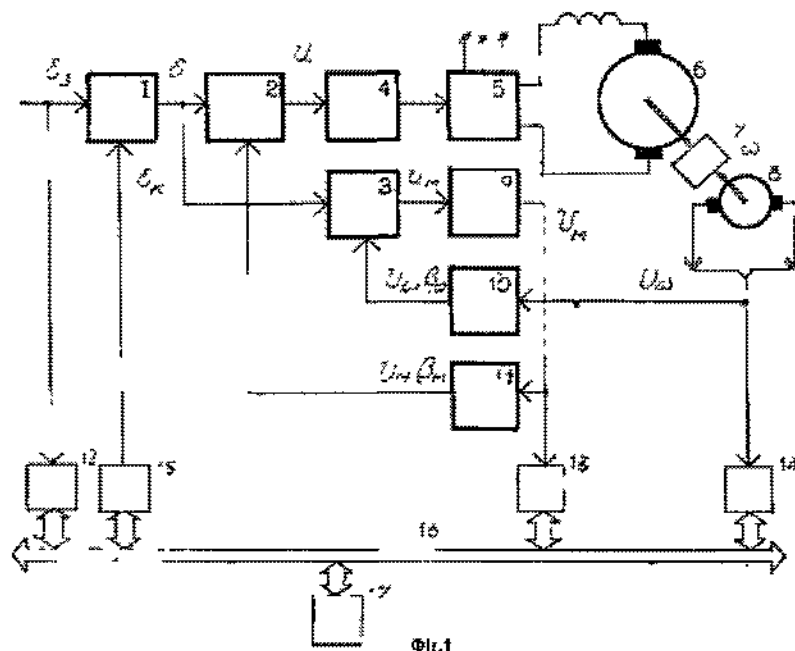
2 Сабинин Ю А Электромагнитные устройства автоматики Ленинград, энергоатомиздат, 1988, стр 173

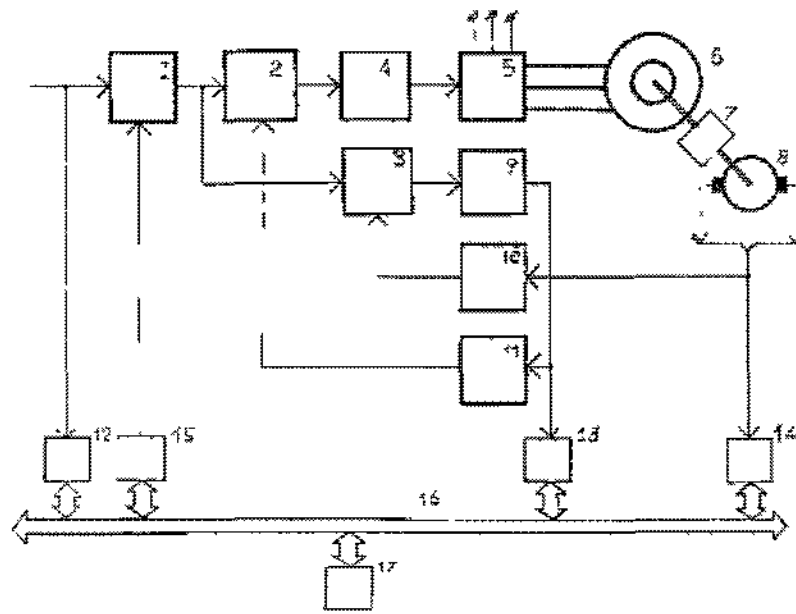
3 Михайлов О П Динамика электромеханического привода металлорежущих станков М, Машиностроение, 1989, стр 161 - 162

4 Менский Б М Принцип инвариантности в автоматическом регулировании и управлении М, Машиностроение, 1972, стр 8

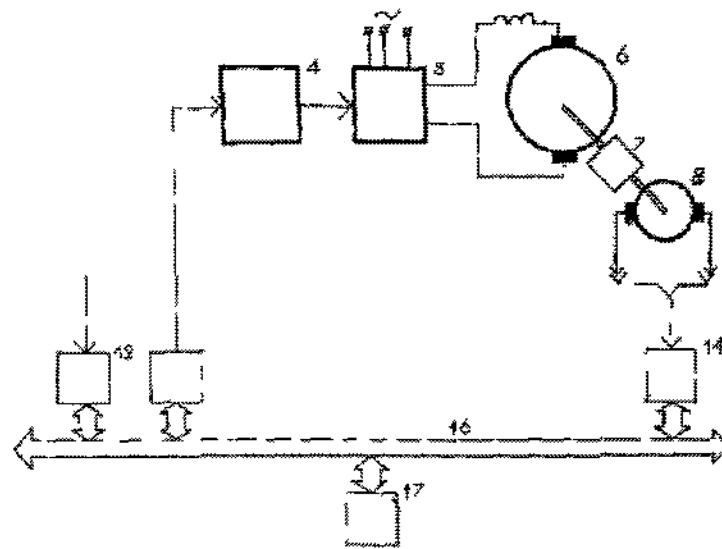
5 Москаленко В В Автоматизированный электропривод М, Энергоатомиздат, 1986, стр 53

6 Макаров И М, Менский Б М Линейные автоматические системы М, Машиностроение, 1982, стр 453

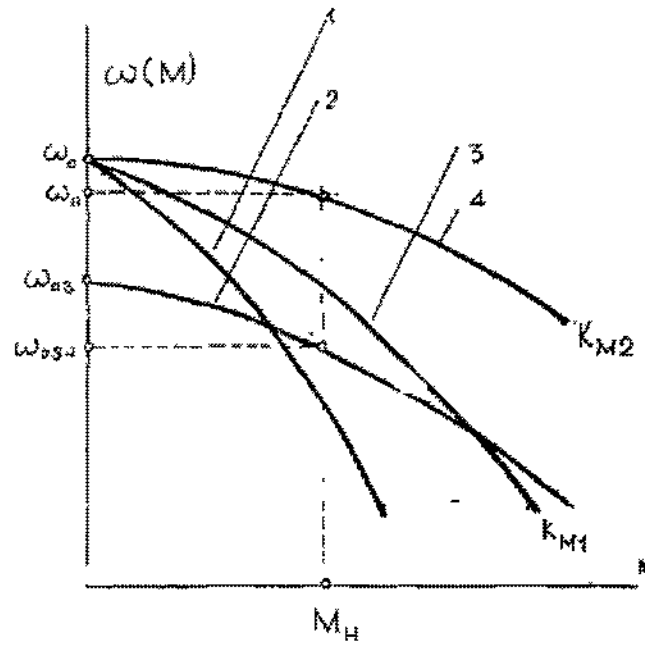




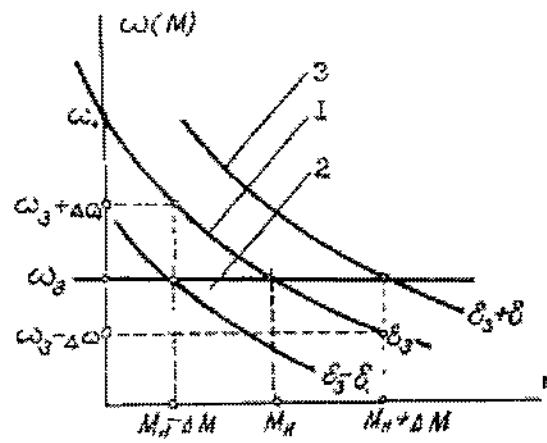
Фиг. 2



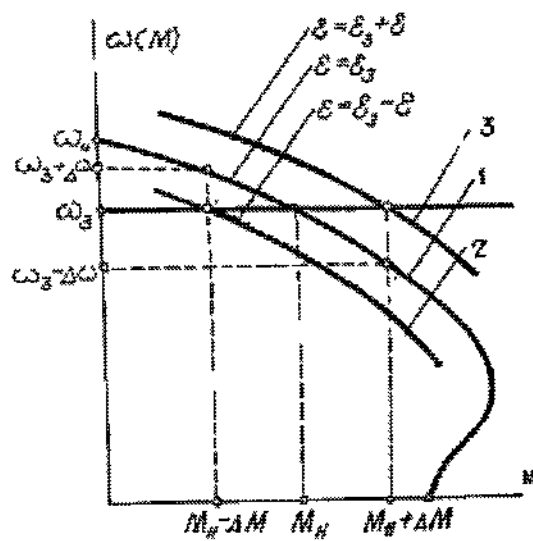
Фиг. 3



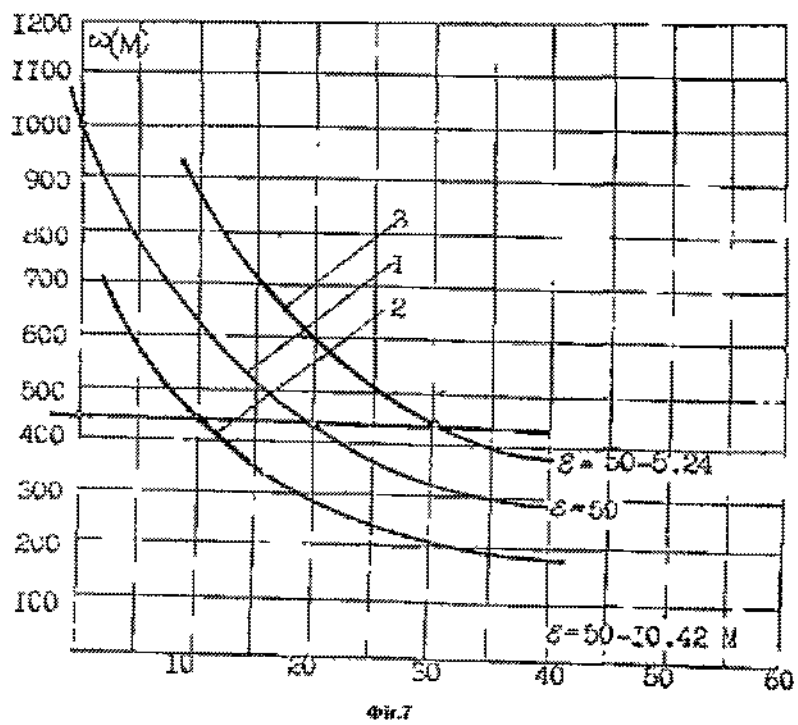
Фиг.4



Фиг.5



Фиг. 6



Фиг. 7



