

**Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Державний вищий навчальний заклад
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

**ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДВОЗОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ПІДПОРЯДКОВАНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ
ПАРАМЕТРІВ
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ ТА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ МЕМС-4
З БАЗОВОЇ ДИСЦИПЛІНИ «МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ
СИСТЕМ»
для студентів напряму підготовки 6.050702 Електромеханіка**

**Дніпропетровськ
2011**

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Державний вищий навчальний заклад
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра електропривода

ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДВОЗОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ПІДПОРЯДКОВАНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ
ПАРАМЕТРІВ
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ ТА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ МЕМС-4
З БАЗОВОЇ ДИСЦИПЛІНИ «МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ
СИСТЕМ»

для студентів напряму підготовки 6.050702 Електромеханіка

Дніпропетровськ
НГУ
2011

Цифрове моделювання двозонного електропривода постійного струму з підпорядкованим регулюванням параметрів. Методичні вказівки до виконання самостійної та лабораторної роботи МЕМС-4 з базової дисципліни «Моделювання електромеханічних систем» для студентів напряму підготовки 6.050702 Електромеханіка [Електронний ресурс] / В.І. Кириченко, В.В. Барабан, Р.О. Боровик, А.О. Сьомін. – Д.: Національний гірничий університет, 2011. – 38 с.

Автори: В.І. Кириченко, д-р техн. наук, проф. (розділ 1, 2);
В.В. Барабан, асп. (розділ 3);
Р.О. Боровик, асист. (розділ 4);
А.О. Сьомін, асист. (розділ 4).

Затверджено до видання редакційною радою Державного ВНЗ «НГУ» (протокол № 3 від 21.05.2009) за поданням методичної комісії напряму підготовки 6.050702 Електромеханіка (протокол № 12 від 25.05.2009).

Подано методичні рекомендації до навчальних занять, а також лабораторної, індивідуальної та самостійної роботи студентів з дисципліни «Моделювання електромеханічних систем» освітньо-кваліфікаційної програми напряму підготовки 6.050702 Електромеханіка.

Наведено методи визначення передавальних функцій регуляторів струму, швидкості, магнітного потоку та електрорушійної сили, в тому числі інваріантних до навантаження двозонних електроприводів. Дано приклади нормування структурної схеми, визначення початкових умов, варіанти індивідуальних завдань і запитання для самоперевірки.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри електропривода О.С. Бешта, д-р техн. наук, професор.

ВСТУП

Мета самостійної та лабораторної робіт – подальше розширення і поглиблення знань з дисципліни «Моделювання електромеханічних систем». До вивчення пропонується підготовка до моделювання та дослідження двозонного електропривода постійного струму з підпорядкованим регулюванням. Для практичного засвоєння навчального матеріалу і отримання навичок моделювання слід розробити власну модель відповідно до індивідуального завдання. При розробці моделі необхідно скористатися програмою Simulink.

1. ЗМІСТ САМОСТІЙНОЇ ТА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБІТ

1.1. Самостійна робота

Мета самостійної роботи: ознайомлення з особливостями організації і розрахунку систем керування двозонним електроприводом, методами визначення параметрів регуляторів струму, швидкості та ЕРС двигуна.

Програма виконання самостійної роботи:

- 1) вибрати номер варіанта індивідуального завдання, який повинен збігатися із порядковим номером студента у журналі групи;
- 2) відповідно до індивідуального варіанта скласти структурну схему електропривода;
- 3) визначити передавальні функції необхідних регуляторів;
- 4) виконати нормування структурної схеми;
- 5) визначити початкові умови відповідно до варіанта індивідуального завдання;
- 6) скласти звіт.

Звіт про самостійну роботу свідчить про рівень опанування теоретичного матеріалу і є невід'ємною складовою (попереднім звітом) під час виконання лабораторної роботи. *Попередній звіт повинен містити наступні складові:*

- 1) назва, мета, програма роботи та вихідні дані індивідуального завдання;
- 2) структурна схема;
- 3) розраховані передавальні функції регуляторів;
- 4) нормована структурна схема;
- 5) розраховані початкові умови.

1.2. Лабораторна робота

Мета лабораторної роботи: закріплення теоретичних знань та отримання практичних навичок у моделюванні електромеханічних систем.

Програма виконання лабораторної роботи:

- 1) скласти в програмі Simulink модель двозонного електропривода відповідно до розробленої в попередньому звіті нормованої структурної схеми;
- 2) відповідно до індивідуального завдання та попереднього звіту ввести в модель необхідні передавальні функції регуляторів та початкові умови;
- 3) відповідно до індивідуального завдання дослідити необхідні режими роботи електропривода на математичній моделі;

4) переконатися в правильності відпрацювання за допомогою моделі заданих режимів роботи;

5) скласти підсумковий звіт.

Підсумковий звіт, окрім пунктів попереднього звіту, повинен містити:

1) схему налагодженої моделі двозонного електропривода постійного струму з підпорядкованим регулюванням параметрів, складену в програмі Simulink;

2) графіки перехідних процесів, що відображають результати моделювання, перевірені та підписані викладачем.

2. ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДВОЗОННИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

В двозонних системах частина діапазону регулювання швидкості здійснюється за рахунок змінювання напруги на якорі двигуна, а частина (при швидкостях вище основної) – за рахунок дії на потік при постійній напрузі на якорі або ЕРС двигуна. Застосування двозонного регулювання швидкості доцільне тоді, коли момент навантаження механізму на швидкостях вище основної менший, ніж на швидкостях нижче основної.

У замкнених системах регулювання швидкості перехід від режиму регулювання напругою до режиму регулювання потоком збудження забезпечується за рахунок того, що на швидкостях вище основної за допомогою регулятора збудження підтримується постійність ЕРС двигуна на рівні номінальної величини. У двозонному електроприводі система керування містить два тиристорних перетворювачі. Один призначений для живлення якірного кола двигуна, інший – для живлення обмотки збудження. Повну систему керування двозонним електроприводом можна поділити на дві підсистеми:

а) підсистему регулювання швидкості з регулятором швидкості і підпорядкованим контуром регулювання струму якоря з відповідним регулятором, який впливає на перетворювач якірного кола;

б) підсистему регулювання ЕРС двигуна з регулятором ЕРС і підпорядкованим контуром регулювання струму збудження з його регулятором.

Система містить відповідні датчики струму якоря, струму збудження і ЕРС або швидкості двигуна. Доки двигун працює на швидкості нижче основної, ЕРС двигуна менша за номінальну і вихідна напруга регулятора ЕРС має обмеження, яке забезпечує номінальний магнітний потік двигуна. При досягненні двигуном швидкості, коли його ЕРС номінальна, напруга зворотного зв'язку і задання на вході регулятора ЕРС порівнюються, регулятор підготовлений до виходу з обмеження і контур регулювання при подальшому зростанні швидкості підтримуватиме ЕРС на заданому (номінальному) рівні.

2.1. Особливості визначення параметрів підсистеми регулювання швидкості

У підсистемі регулювання швидкості використовується два регулятори – внутрішній (підпорядкований) регулятор струму якоря двигуна і зовнішній регулятор швидкості. При цьому можливий варіант застосування зворотного зв'я-

зку за швидкістю (реалізовується за допомогою датчика швидкості і тахогенератора) і варіант із застосуванням зворотного зв'язку за ЕРС двигуна, яка отримується за допомогою відповідного датчика ЕРС.

2.1.1. Визначення передавальної функції регулятора струму якоря

Вихідна розрахункова схема для визначення передавальної функції регулятора струму нічим не відрізняється від тієї, що виходить при його розрахунку в однозонній системі регулювання, і зображена на рис. 2.1. Тут індекс "я" позначає приналежність до контуру регулювання струму якоря двигуна.

Подібно наведеним в МЕМС-2 положенням відносимо постійну часу $T_{\phi c}$ в некомпенсовану постійну контуру струму $T_{\mu c я} = T_{\Pi я} + T_{\phi c}$ і отримуємо розрахункову схему (рис. 2.2).

Як і раніше, для передавальної функції розімкненого контуру струму

$$W_{рся} W'_{\Pi я} W_{Iя} W'_{ззся} = W^6_{розся},$$

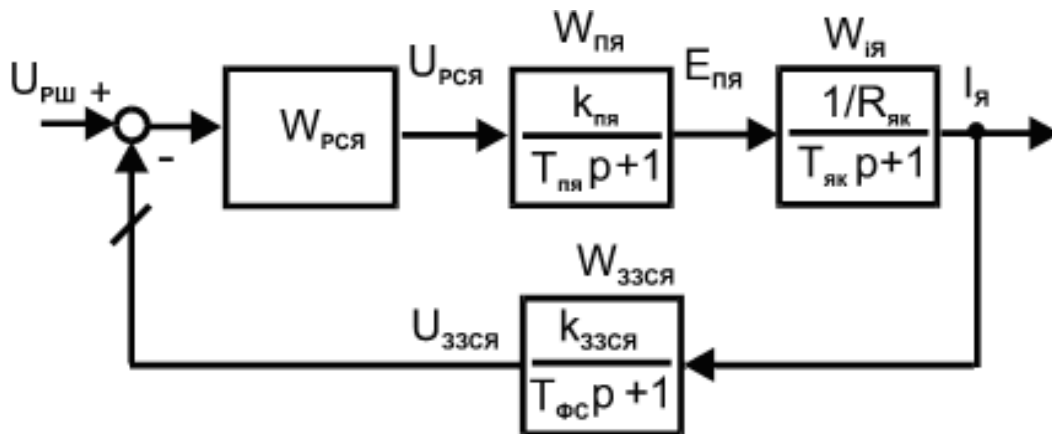


Рис. 2.1. До вибору передавальної функції регулятора струму якорного кола

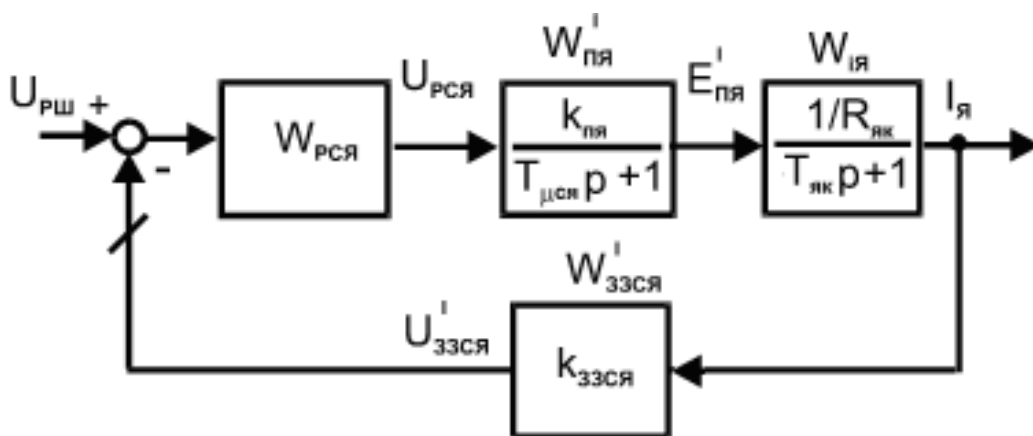


Рис. 2.2. Розрахункова схема для визначення передавальної функції регулятора струму якорного кола

звідки знаходимо передавальну функцію регулятора струму у вигляді

$$W_{рс\ я} = \frac{W_{розс\ я}^6}{W'_{П\ я} W_{I\ я} W'_{ззс\ я}} = \frac{R_{як} (T_{мс\ я} p + 1)(T_{як} p + 1)}{2T_{мс\ я} k_{П\ я} k_{ззс\ я} p (T_{мс\ я} p + 1)} =$$

$$= \frac{R_{як} (T_{як} p + 1)}{2T_{мс\ я} k_{П\ я} k_{ззс\ я} p}. \quad (1)$$

Тут $W_{розс\ я}^6 = \frac{1}{2T_{мс\ я} p (T_{мс\ я} p + 1)}$ – бажана передавальна функція розімк-

неного контуру струму при його налагодженні на модульний оптимум.

Структурна схема контуру струму набуває вигляду (рис. 2.3).

За вибраної передавальної функції регулятора струму передавальна функція замкненого контуру

$$W_{замс\ я} = \frac{1/k_{ззс\ я}}{2T_{мс\ я} p (T_{мс\ я} p + 1) + 1} \cong \frac{1/k_{ззс\ я}}{2T_{мс\ я} p + 1}, \quad (2)$$

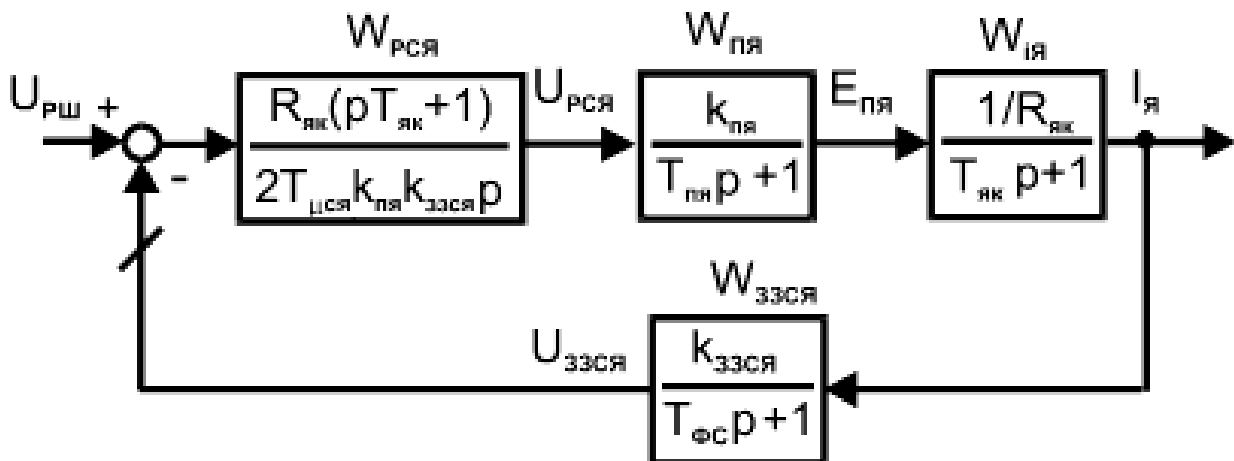


Рис. 2.3. Структурна схема контуру струму

а схема рис. 2.3 – вигляду рис. 2.4.



Рис. 2.4. Спрощена передавальна функція замкненого контуру струму

2.1.2. Визначення передавальної функції регулятора швидкості при використанні зворотного зв'язку за швидкістю

При виборі вихідної розрахункової схеми для визначення передавальної функції регулятора швидкості виходимо з того, що момент M двигуна пропорційний струму якоря $I_{я}$ і магнітному потоку двигуна Φ , а датчик зворотного

зв'язку за швидкістю має інерційність, яка визначається постійною часу $T_{фш}$. За цього припущення вихідна розрахункова схема набуває вигляду (рис. 2.5).

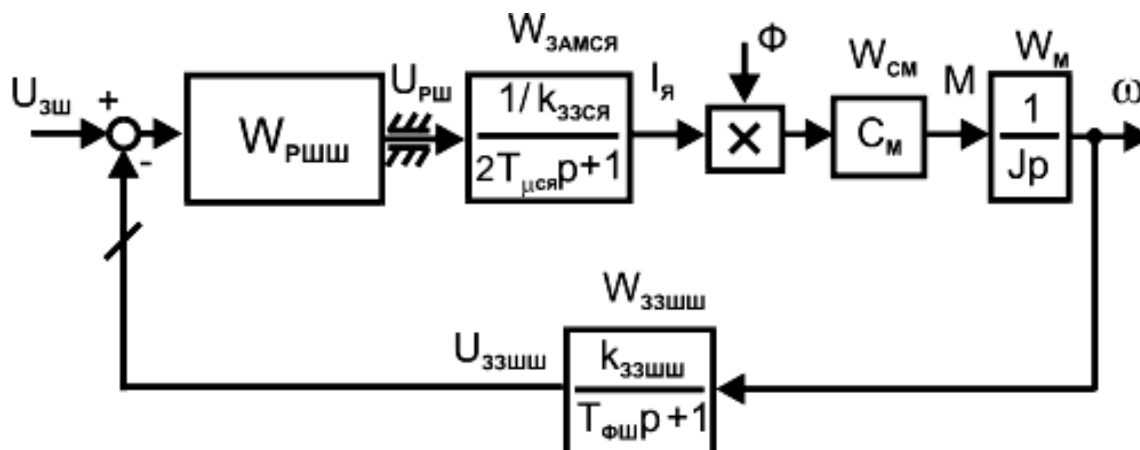


Рис. 2.5. Розрахункова схема контуру з датчиком швидкості

Після внесення постійної часу датчика швидкості $T_{фш}$ в некомпенсовану постійну часу контуру швидкості $T_{μшш} = 2T_{мся} + T_{фш}$ отримано схему на рис. 2.6.

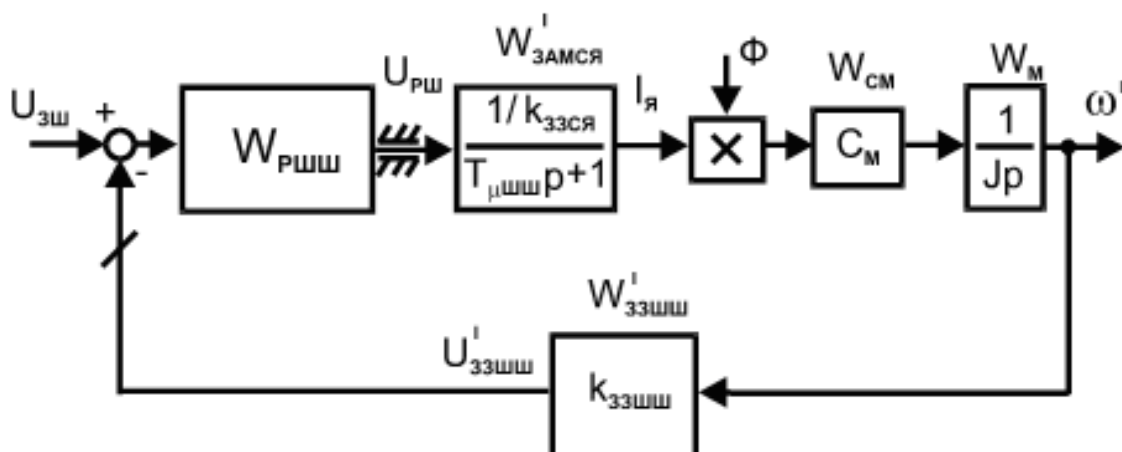


Рис. 2.6. До визначення передавальної функції регулятора швидкості

При налагодженні на модульний оптимум бажану передавальну функцію розімкненого контуру швидкості вибираємо у вигляді

$$W_{роз шш}^6 = \frac{1}{2T_{μшш}p(T_{μшш}p + 1)},$$

і тоді

$$W_{роз шш}^6 = W_{ршш} W'_{замся} W_{СМ} W_M W'_{ззшш} \Phi.$$

В результаті знаходимо передавальну функцію регулятора швидкості

$$W_{ршш} = \frac{W_{розшш}^6}{W'_{замся} W_{CM} W_M W'_{ззшш} \Phi} = \frac{k_{ззся} (T_{μшш} p + 1) J_p}{2 T_{μшш} p (T_{μшш} p + 1) C_M k_{ззшш} \Phi} = \frac{J_{k_{ззся}}}{2 T_{μшш} C_M k_{ззшш} \Phi} \quad (3)$$

З урахуванням передавальної функції (3) повна структурна схема підсистеми регулювання з пропорційним регулятором швидкості набуває вигляду рис. 2.7.

У разі використання системи регулювання, інваріантної по відношенню до збурення, використовують пропорційно-інтегральний регулятор швидкості з передавальною функцією

$$W'_{ршш} = \frac{(4 T_{μшш} p + 1)}{4 T_{μшш} p} \cdot \frac{J_{k_{ззся}}}{2 T_{μшш} C_M k_{ззшш} \Phi}, \quad (4)$$

а задання на швидкість для обмеження її перерегулювання подібно схемі однозонного електропривода швидкості подають через аперіодичну ланку

$$W_A = \frac{1}{(4 T_{μшш} p + 1)}.$$

Коли в схемі використовують задавач інтенсивності, то ланку з передавальною функцією W_A зазвичай виключають. Структурна схема підсистеми регулювання з пропорційно-інтегральним регулятором швидкості має вигляд, наведений на рис. 2.8. Тут ПІ регулятор швидкості поданий ланками з передавальними функціями $W_{ршш1}$, $W_{ршш2}$ та блоком ділення на потік.

Коли до приводу жорсткі вимоги не тільки відносно першої похідної швидкості, а й другої (обмежується похідна струму) в системі керування застосовують контур регулювання похідної струму якоря. Цей контур є зовнішнім по відношенню до замкнутого контуру струму і внутрішнім по відношенню до контуру швидкості. Вихідна розрахункова схема для вибору параметрів регулятора похідної струму наведена на рис. 2.9.

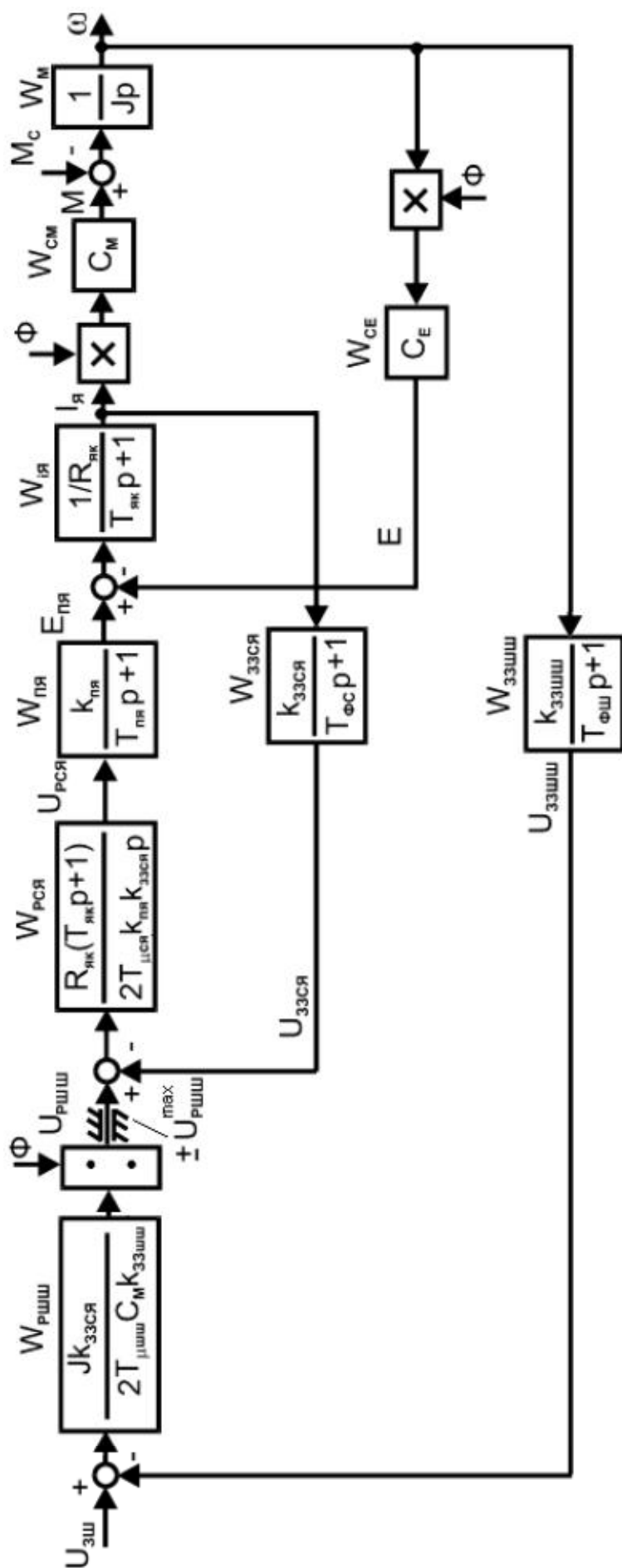
Після внесення $T_{фс}$ в некомпенсовану часу $T_{μпся} = 2 T_{μся} + T_{фс}$ схема приймає вигляд (рис. 2.10). Видно, що ланка W_{p1} залежно від вхідної величини $p U_{зс}$ (похідної струму) формує – залежно від $p U_{зс}$ – темп зростання задання на струм, тобто обмежує його похідну і що $(p U_{зс})_{\max} = (p I_{я})_{\max} k_{ззся}$.

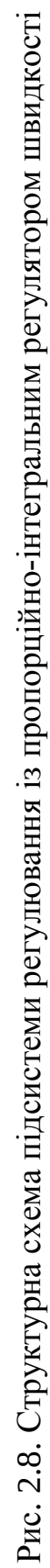
Із структурної схеми на рис. 2.10 для ненасиченого регулятора W_{p2} маємо передавальну функцію розімкненого контуру регулювання похідної

$$W_{розпся}^6 = W_{p2} W_{p1} W'_{замся} W'_{ззся},$$

де

$$W_{розпся}^6 = \frac{1}{2 T_{μпся} p (T_{μпся} p + 1)}.$$





Для визначення передавальної функції регулятора швидкості за наявності регулятора похідної струму якоря придатні наведені вище розрахункові схеми за умови, якщо замість $T_{\mu с я}$ підставити $T_{\mu п с я}$, а замість $T_{\mu ш ш}$ підставити $T_{\mu п ш ш} = 2T_{\mu п с я} + T_{\phi с}$. Тоді передавальна функція регулятора швидкості матиме вигляд

$$W_{p п ш ш} = \frac{Jk_{зз с я}}{2T_{\mu п ш ш} C_M k_{зз ш ш} \Phi}. \quad (8)$$

Маючи вираз (8), можна визначити і відповідну передавальну функцію ПІ регулятора швидкості.

Повні структурні схеми підсистеми регулювання швидкості з використанням регулювання похідної струму якоря, можливістю компенсації внутрішньої ЕРС двигуна при різних типах регулятора швидкості наведені на рис. 2.11 і 2.12.

Іноді для спрощення схемного рішення на вхід W_{p2} замість напруги $U_{зз с я}$ з датчика струму подають сигнал $U_{зс1}$ з виходу ланки W_{p1} , тобто використовують задавач інтенсивності струму.

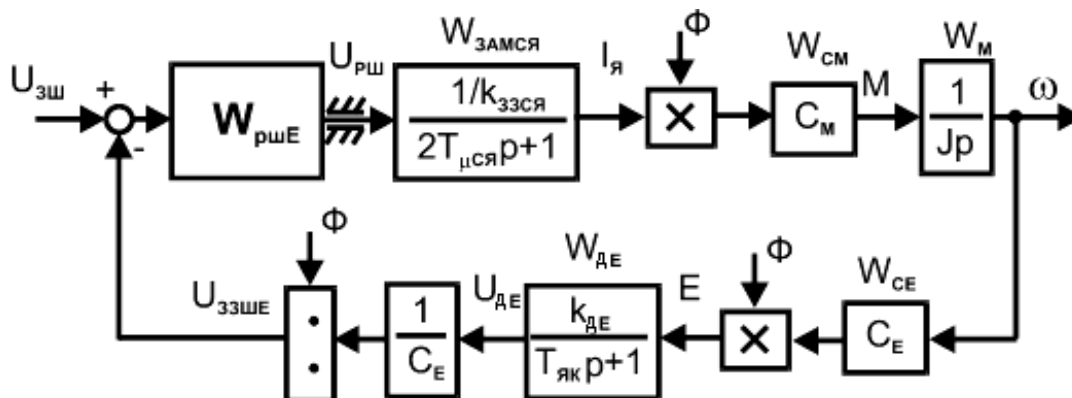


Рис. 2.11. Вихідна схема для визначення передавальної функції регулятора швидкості при використанні датчика ЕРС двигуна

2.1.3. Визначення передавальної функції регулятора швидкості при використанні зворотного зв'язку за ЕРС двигуна

В окремих схемних рішеннях замість зворотного зв'язку за швидкістю з використанням тахогенератора застосовують зворотний зв'язок із застосуванням датчика ЕРС і врахуванням співвідношення

$$\omega = \frac{E}{C_E \Phi}.$$

Тоді розрахункова схема для визначення передавальної функції регулятора швидкості із використанням датчика ЕРС набуває вигляду (рис. 2.13).

Використавши суму постійних часу $T_{\mu ш Е} = 2T_{\mu с я} + T_{я к}$ як некомпенсовану постійну часу такого контуру швидкості, отримуємо розрахункову схему (рис. 2.14).

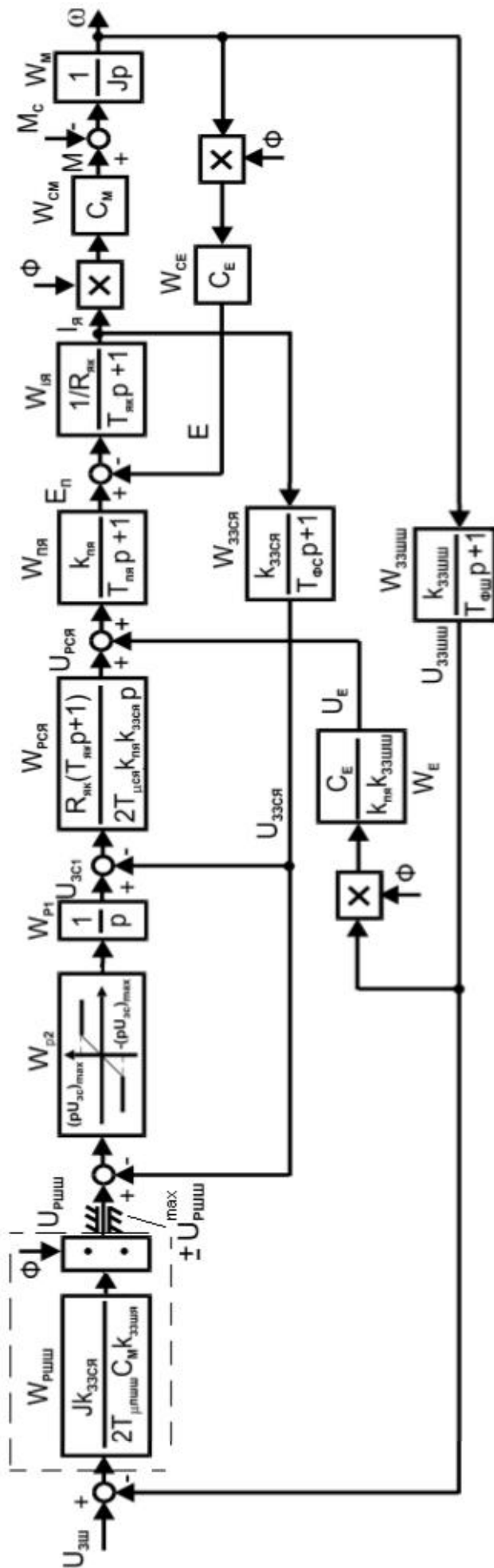


Рис. 2.12. Підсистема регулювання швидкості із датчиком швидкості, внутрішнім контуром регулювання похідної струму якоря та пропорційним регулятором швидкості

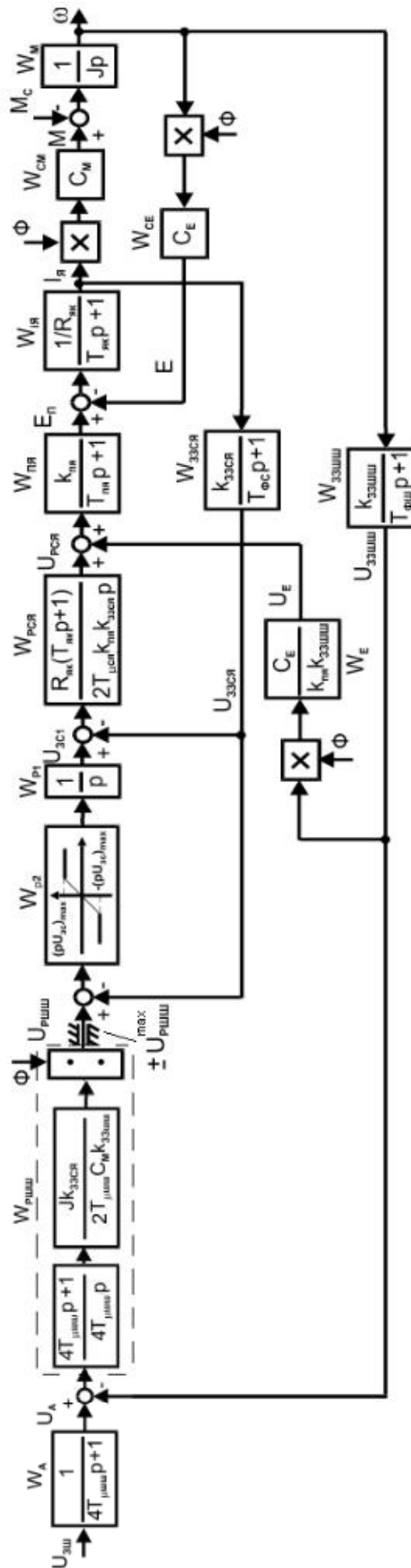


Рис. 2.13. Підсистема регулювання швидкості із датчиком швидкості, внутрішнім контуром регулювання похідної струму якоря та пропорційно-інтегральним регулятором швидкості

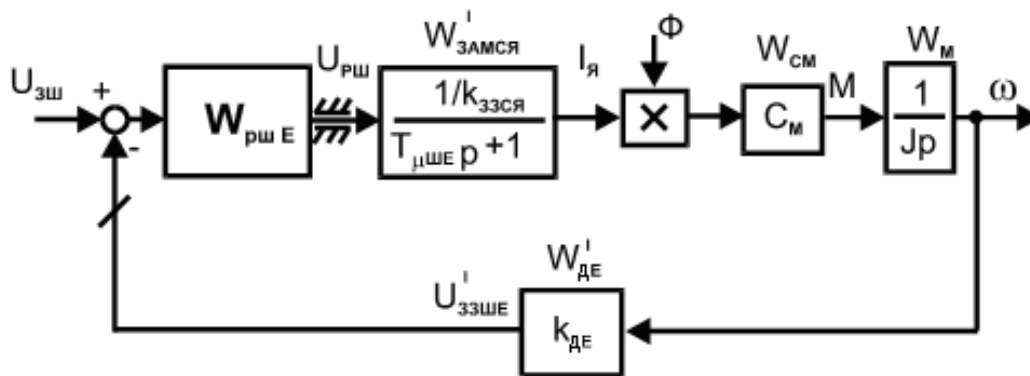


Рис. 2.14. Розрахункова схема для визначення передавальної функції регулятора швидкості

Прийнявши за бажану передавальну функцію розімкненого контуру

$$W_{\text{роз шЕ}}^6 = \frac{1}{2T_{\text{мшЕ}}p(T_{\text{мшЕ}}p + 1)}$$

знаходимо шукану передавальну функцію регулятора швидкості як

$$W_{\text{ршЕ}} = \frac{W_{\text{роз шЕ}}^6}{W'_{\text{замсЯ}} W_{\text{СМ}} W_{\text{М}} W'_{\text{ДЕ}} \Phi} = \frac{Jk_{\text{зсЯ}}}{2T_{\text{мшЕ}} C_{\text{М}} k_{\text{ДЕ}} \Phi}. \quad (9)$$

Повна структурна схема підсистеми регулювання швидкості з датчиком ЕРС і пропорційним регулятором швидкості має вигляд (рис. 2.15), а з пропорційно інтегральним (рис. 2.16).

2.2. Особливості визначення параметрів підсистеми регулювання ЕРС

У цій підсистемі використовують два регулятори. Один – внутрішній – є регулятором струму або потоку збудження двигуна. Другий – зовнішній – з регулятором ЕРС.

2.2.1. Визначення передавальної функції регулятора магнітного потоку

Коло збудження двигуна постійного струму подаємо у вигляді двох магніто-зв'язаних контурів: первинного, увімкненого на напругу обмотки збудження, і вторинного – короткозамкненого, у якому проходять вихрові струми. За цих умов вихідну розрахункову схему подають у вигляді рис. 2.17, де наведена і крива намагнічування двигуна.

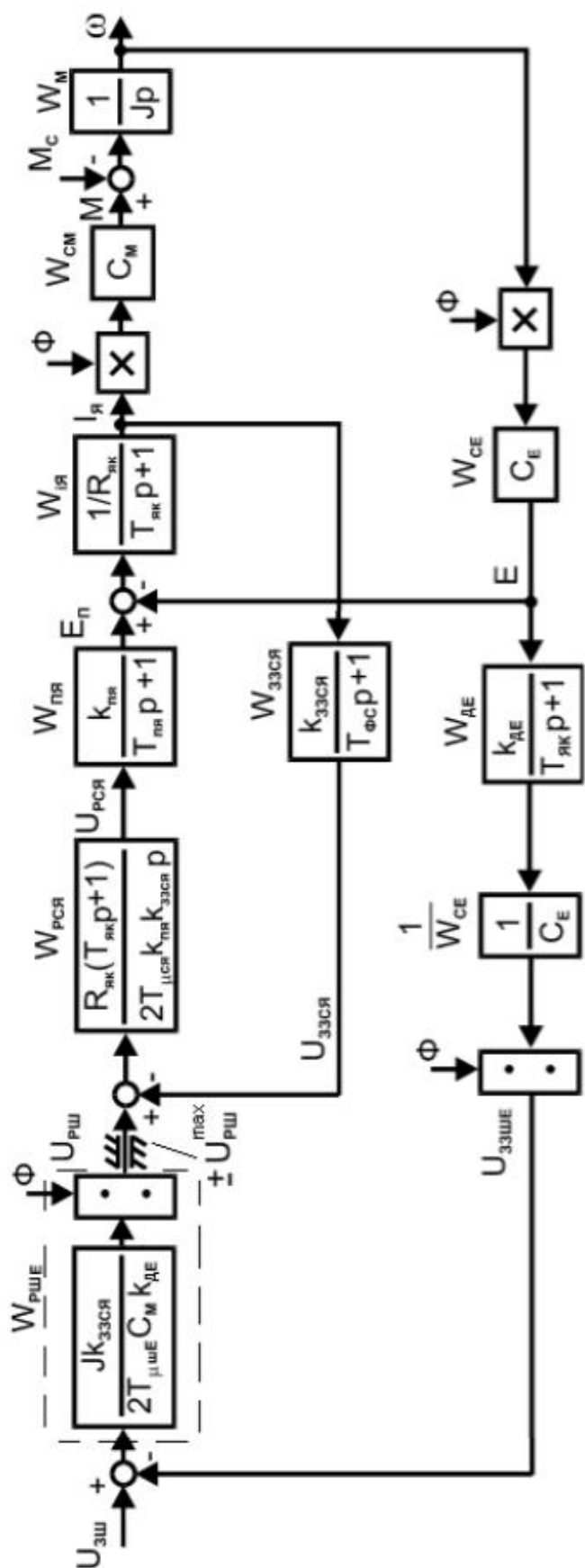


Рис. 2.15. Повна структурна схема підсистеми регулювання швидкості з пропорційним регулятором швидкості і датчиком ЕРС

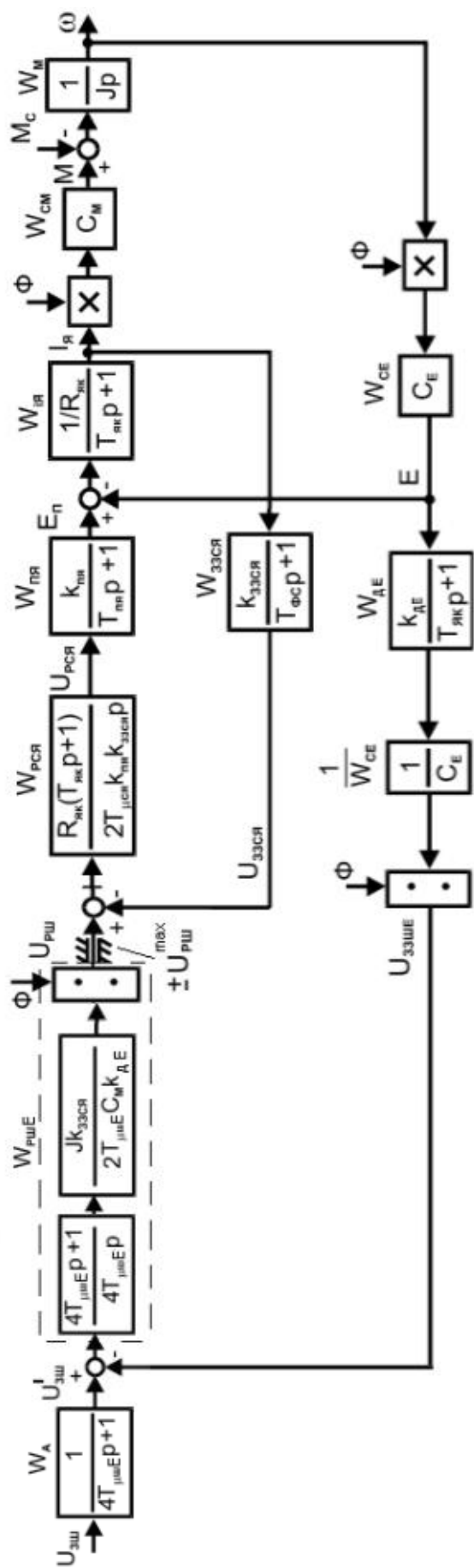


Рис. 2.16. Повна структурна схема підсистеми регулювання швидкості з пропорційно-інтегральним регулятором швидкості і датчиком ЕРС

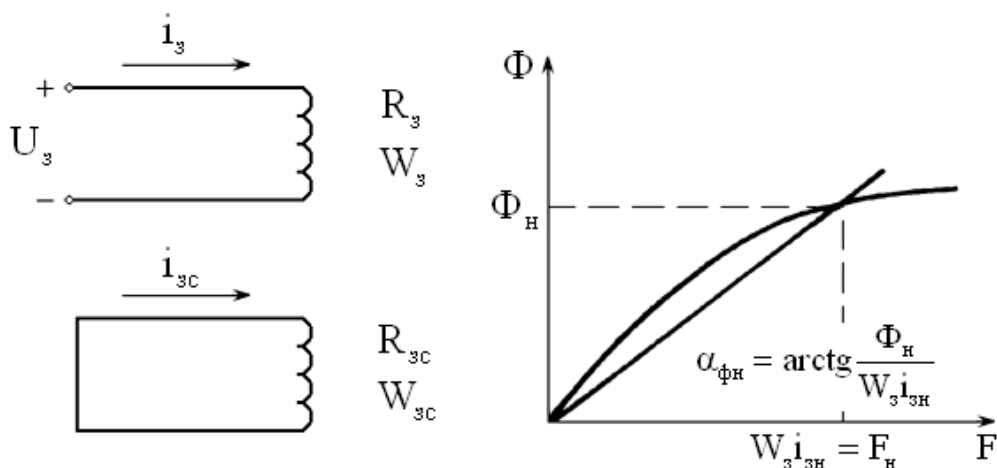


Рис. 2.17. Вихідна розрахункова схема кола збудження для визначення передавальної функції регулятора магнітного потоку

Для наведеної системи обмоток справедливі рівняння

$$U_3 = i_3 R_3 + 2p_{\Pi} \xi W_3 p\Phi; \quad (10)$$

$$0 = i_{вс} R_{вс} + 2p_{\Pi} \xi W_{вс} p\Phi; \quad (11)$$

$$F = i_3 W_3 + i_{вс} W_{вс}; \quad (12)$$

$$\Phi = f(F), \quad (13)$$

де $i_3, i_{вс}$ – струми обмотки збудження і фіктивної короткозамкненої обмотки;

$W_3, W_{вс}$ – кількість витків для тих самих обмоток (на полюс);

p_{Π} – кількість пар полюсів;

$\xi = 1 + (0,5 \dots 0,7)(\delta - 1)$; $\delta = 1,12 \dots 1,18$ – коефіцієнт розсіювання;

F, Φ – намагнічувальна сила і корисний магнітний потік одного полюса.

Прийнявши $\Phi = k_{\phi} F$ ($k_{\phi} = \tan \alpha_{\phi н}$ – із рис. 2.17) після вирішення системи рівнянь (10)–(13), отримуємо постійні часу

$$T_3 = \frac{2p_{\Pi} \xi W_3^2 k_{\phi}}{R_3}; \quad T_{вс} = \frac{2p_{\Pi} \xi W_{вс}^2 k_{\phi}}{R_{вс}}.$$

За цих умов об'єкт системи регулювання магнітного потоку набуває вигляду (рис. 2.18).

Розрахункова схема для вибору передавальної функції регулятора потоку із врахуванням датчика струму збудження наведена на рис. 2.19, в якій прийняті наступні позначення:

$W_{p\Phi}$ – передавальна функція регулятора магнітного потоку;

$W_{пз}$ – передавальна функція тиристорного перетворювача;

$W_{дсз}$ – передавальна функція датчика струму збудження.

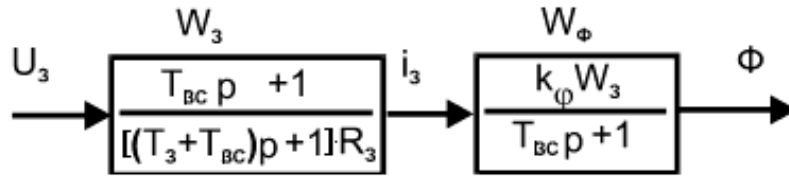


Рис. 2.18. Структурна схема об'єкту системи регулювання потоку

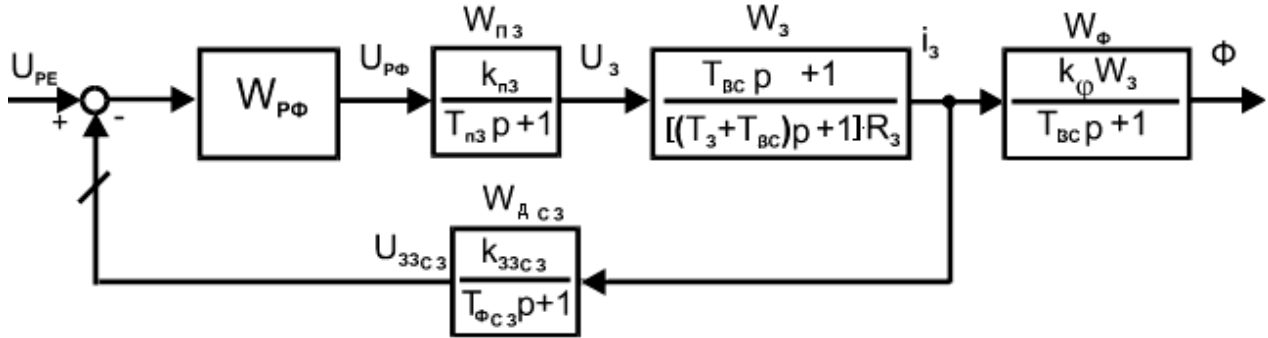


Рис. 2.19. Розрахункова структурна схема для визначення передавальної функції регулятора магнітного потоку із використанням датчика струму збудження

Для визначення передавальної функції регулятора потоку на виході ланки з передавальною функцією $W_{дсз}$ використаємо фільтр з передавальною функцією W_{ϕ} з відповідним перенесенням сигналу зворотного зв'язку за струмом (схема на рис. 2.20).

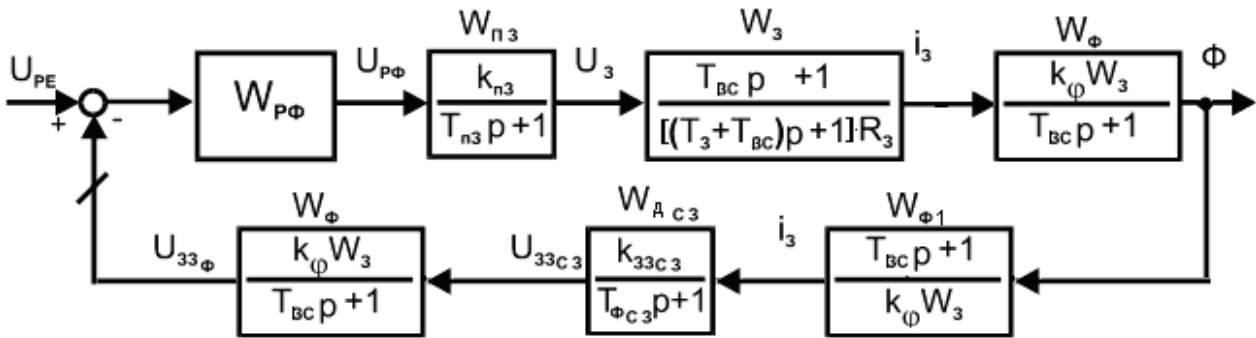


Рис. 2.20. Розрахункова схема для визначення передавальної функції регулятора потоку

Прийнявши за некомпенсовану малу постійну часу $T_{\mu\phi} = T_{пз} + T_{\phiсз}$ та бажану передавальну функцію розімкненого контуру магнітного потоку у вигляді

$$W_{розф}^{\delta} = \frac{1}{2T_{\mu\phi}p(T_{\mu\phi}p + 1)},$$

отримаємо вираз

$$W_{розф}^{\delta} = W_{p\phi} W_{пз}' W_3 W_{\phi} W_{\phi1} k_{ззсз} W_{\phi}, \quad (14)$$

з якого шукана передавальна функція регулятора потоку

$$W_{p\phi} = \frac{W_{роз\phi}^6}{W'_{пз} W_3 W_\phi k_{ззсз}} = \frac{(T_{\mu\phi}p+1)[(T_{вс}+T_3)p+1]R_3(T_{вс}p+1)}{2T_{\mu\phi}p(T_{\mu\phi}p+1)k_{пз}(T_{вс}p+1)k_{ззсз}k_\phi W_3} =$$

$$= \frac{[(T_{вс}+T_3)p+1]R_3}{2T_{\mu\phi}k_{пз}k_{ззсз}k_\phi W_3 p}. \quad (15)$$

Отже, передавальна функція регулятора магнітного потоку отримана у вигляді пропорційно-інтегрального регулятора. За цих умов передавальна функція замкненого контуру магнітного потоку набуває вигляду

$$W_{зам\phi} = \frac{W_{p\phi} W'_{пз} W_3 W_\phi}{W_{p\phi} W'_{пз} W_3 W_\phi k_{ззсз} + 1} = \frac{1/k_{ззсз}}{2T_{\mu\phi}p(T_{\mu\phi}p+1)+1} \cong \frac{1/k_{ззсз}}{2T_{\mu\phi}p+1}. \quad (16)$$

$$\text{Тут } W'_{пз} = \frac{k_{пз}}{(T_{\mu\phi}p+1)}.$$

Повна структурна схема контуру регулювання магнітного потоку наведена на рис. 2.21.

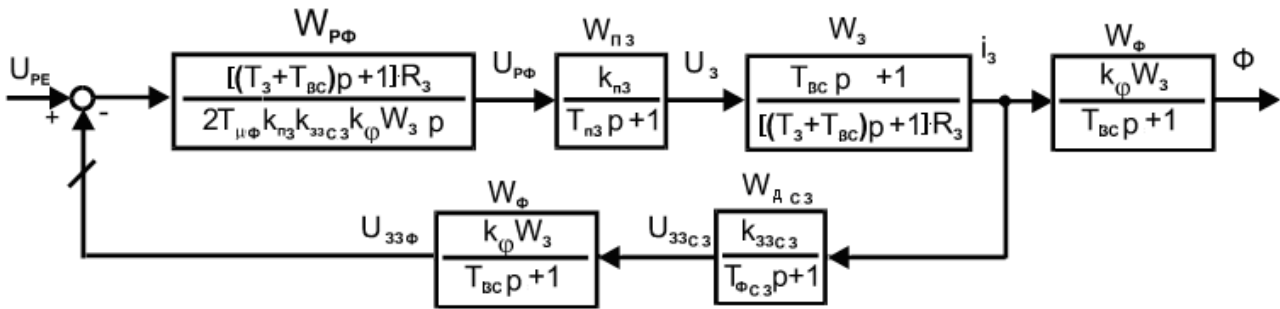


Рис. 2.21. Повна структурна схема контуру регулювання магнітного потоку

2.2.2. Визначення передавальної функції регулятора ЕРС

Вихідна схема для визначення передавальної функції регулятора ЕРС наведена на рис. 2.22. Вносимо постійну часу $T_{як}$ датчика ЕРС в сумарну некомпенсовану постійну часу контуру ЕРС

$$T_{\mu E} = 2T_{\mu\phi} + T_{як} = 2(T_{пз} + T_{\phiсз}) + T_{як} \quad (17)$$

і приймаємо за бажану передавальну функцію розімкненого контуру ЕРС

$$W_{розE} = W_{розE}^6 = \frac{1}{2T_{\mu E}p(T_{\mu E}p+1)}.$$

За цих умов для налагодження контуру на технічний оптимум справедливий вираз

$$W_{розE} = W_{pE} W'_{зам\phi} W_{сЕ} \omega W'_{дЕ}, \quad (18)$$

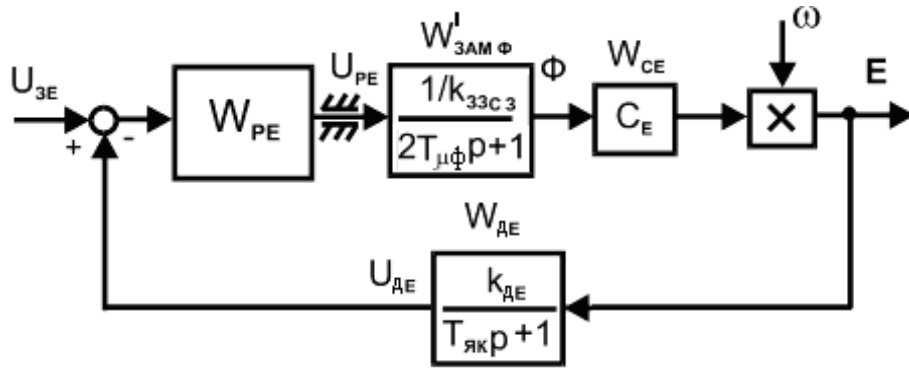


Рис. 2.22. Вихідна схема для визначення передавальної функції регулятора ЕРС

з якого шукана передавальна функція регулятора ЕРС

$$W_{pE} = \frac{W_{розE}^6}{W'_{замФ} W'_{ДЕ} W_{CE} \omega} = \frac{k_{33сз} (T_{\mu E} p + 1)}{2T_{\mu E} (T_{\mu E} p + 1) C_E \omega k_{дЕР}} = \frac{k_{33сз}}{2T_{\mu E} C_E \omega k_{дЕР}}. (19)$$

Тут $W'_{замФ} = 1/[k_{33сз} (T_{\mu E} p + 1)]$, $W'_{ДЕ} = k_{дЕ}$.

Оскільки в (19) входить швидкість ω , а замість неї в схемі регулювання використовують $U_{33шш} = k_{33шш} \omega$, то остаточно передавальна функція регулятора ЕРС

$$W_{pE} = \frac{k_{33сз} k_{33шш}}{2T_{\mu E} C_E k_{дЕР} \cdot U_{33шш}}. (19')$$

Структурна схема двозонного електропривода за наявності залежного контуру регулювання потоку і пропорційно-інтегрального регулятора швидкості наведена на рис. 2.23.

У схемі ланка з передавальною функцією $W_{вип}$ є випрямлячем з передавальним коефіцієнтом 1. Ланка з передавальною функцією W_1 здійснює операцію множення, а з передавальною функцією W_2 – операцію ділення. Ланка з передавальною функцією W_k забезпечує нелінійний зв'язок відповідно до рівняння (19') таким чином, що $U_k = |U_{33шш}|$ за умови, що швидкість ω перевищує номінальну. Коли ω менша за номінальну, то $U_k = |\omega_n \cdot k_{33шш}|$.

Напруга U_{pE} на виході регулятора ЕРС і $U_{ршш}$ на виході регулятора швидкості обмежуються. Максимальна напруга на виході регулятора швидкості

$$U_{ршш}^{\max} = I_{доп} k_{33сз}, (20)$$

де $I_{доп}$ – допустимий рівень струму двигуна.

Найбільша напруга на виході регулятора ЕРС повинна забезпечувати номінальний струм збудження, а отже і магнітний потік Φ_n і визначається як

$$U_{pE}^{\max} = i_{3н} k_{33сз} k_{\phi} W_3 = \Phi_n k_{33сз}. (21)$$

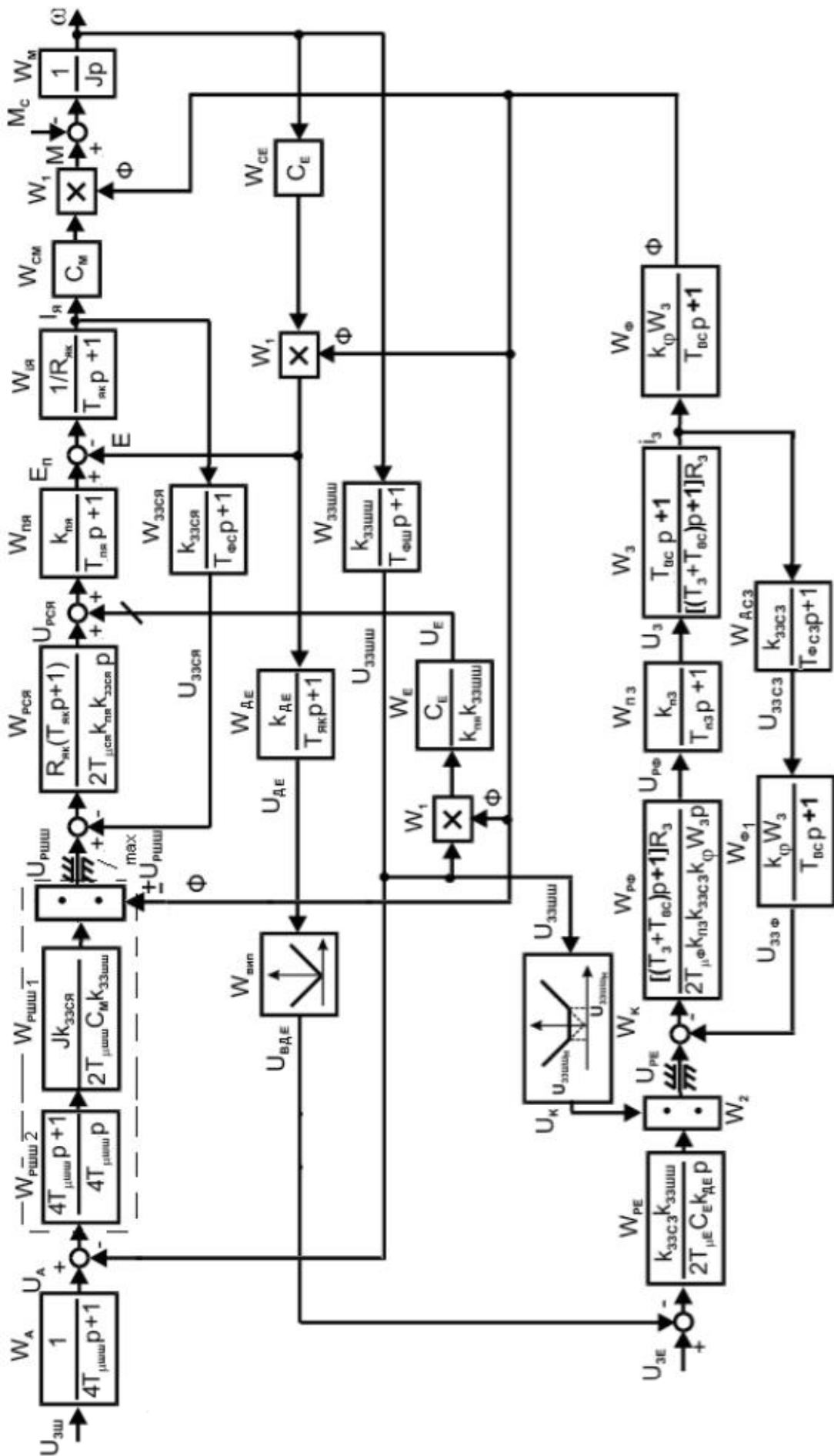


Рис. 2.23. Структурна схема двозонного электропривода постоянного тока с пропорційно-інтегральним регулятором швидкості

Величина $U_{зЕ}$ задання ЕРС двигуна зазвичай задається як

$$U_{зЕ} = \omega_H C_E \Phi_H k_{дЕ} = E_H k_{дЕ}, \quad (22)$$

де номінальна ЕРС

$$E_H = U_H - I_H R_{я},$$

а $R_{я}$ – опір якоря двигуна.

Слід зазначити, що структурна схема (рис. 2.23) не враховує нелінійності кривої намагнічування двигуна та характеристик перетворювачів для живлення обмоток якоря і збудження.

3. НОРМУВАННЯ НА ПРИКЛАДІ СХЕМИ (рис. 2.23)

З урахуванням раніше виконаного нормування схем однозонного електропривода за базові приймаємо:

струм $I^{\bar{}} = I_H;$

швидкість $\omega^{\bar{}} = U_H / (C_E \Phi_H);$

напругу $U^{\bar{}} = E_{Пя}^{\bar{}} = E_{Пз}^{\bar{}} = E^{\bar{}} = U_H;$

$$U_{ззся}^{\bar{}} = U_{ршш}^{\bar{}} = I_H k_{ззся};$$

$$U_{рся}^{\bar{}} = U_E^{\bar{}} = U_H / k_{Пя};$$

потік $\Phi^{\bar{}} = \Phi_H;$

момент $M^{\bar{}} = M_H = I_H \Phi_H C_M = I^{\bar{}} \Phi^{\bar{}} C_M.$

Тут M_H, Φ_H – номінальні момент і магнітний потік;

C_E, C_M – конструктивні постійні (в системі СІ $C_E = C_M$).

Тоді передавальні функції $W_{Пя}, W_{ія}, W_{ззся}, W_{рся}$ у відносних одиницях набувають вигляду

$$W_{Пя}^*(p) = \frac{1}{T_{Пя}p + 1}; \quad W_{ія}^*(p) = \frac{1/\rho_e}{T_{як}p + 1};$$

$$W_{рся}^*(p) = \frac{\rho_e(T_{як}p + 1)}{2T_{мся}p}; \quad W_{ззся}^*(p) = \frac{1}{T_{фс}p + 1}.$$

Відповідно до схеми на рис. 2.23 динамічний момент

$$M_j = M - M_c = I_{я} C_M \Phi - M_c. \quad (23)$$

Розділивши (23) на $M^{\bar{}} = I^{\bar{}} \Phi^{\bar{}} C_M = I_H \Phi_H C_M$, рівняння (23) у відносних одиницях набуває вигляду

$$M^*_j = I^*_я \Phi^* - M^*_c \quad (23')$$

де $I^*_я = I_я / I^\delta$, $\Phi^* = \Phi / \Phi^\delta$, $M^*_c = M_c / M^\delta$, $M^*_j = M_j / M^\delta$.

Оскільки $I_я C_M \Phi = M$, то за допомогою ділення обох частин цього виразу на номінальний момент $I_H C_M \Phi_H = M_H$ послідовно отримуємо, що $I^* \Phi^* = M^*$, а $W_{CM}^* = 1$.

За відомих базових величин на вході і виході ланки з передавальною функцією W_M

$$W_M^* = \frac{I_H \Phi_H^2 C_E C_M R_{як}}{J_p U_H R_{як}} = \frac{\rho_e}{T_M p} \quad (24)$$

Тут $\rho_e = R_{як} / R_{ном}$, $R_{ном} = U_H / I_H$, $T_M = J R_{як} / (C_E C_M \Phi_H^2)$, а $\omega^* = M_j^* \rho_e / (T_M p)$.

Прийнявши

$$W_{33шш}^* = \frac{W_{33шш} \omega^\delta}{U_{33шш}^\delta} = \frac{1}{T_{фш} p + 1},$$

знаходимо необхідну базову величину

$$U_{33шш}^\delta = \frac{W_{33шш} \omega^\delta}{W_{33шш}^*} = \frac{k_{33шш} (T_{фш} p + 1) U_H}{(T_{фш} p + 1) C_E \Phi_H} = k_{33шш} \omega^\delta.$$

Вибравши $W_A^* = W_A$, знаходимо, що $U_{3ш}^\delta = U_{33шш}^\delta = k_{33шш} \omega^\delta$.

За відомих $U_{33шш}^\delta$, Φ^δ і $U_{33с я}^\delta$ отримуємо у відносних одиницях передавальну функцію для регулятора швидкості $W_{р шш2} W_{р шш1} / \Phi$ у вигляді

$$\begin{aligned} \frac{W_{р шш2} W_{р шш1}}{\Phi} \cdot \frac{U_{33шш}^\delta}{U_{33с я}^\delta} &= \frac{(4T_{\mu шш} p + 1)}{4T_{\mu шш} p} \cdot \frac{J k_{33с я}}{2T_{\mu шш} k_{33шш} C_M \Phi} \times \\ &\times \frac{k_{33шш} U_H}{C_E \Phi_H} \cdot \frac{1}{I_H k_{33с я}} \cdot \frac{R_{як}}{R_{як}} \cdot \frac{\Phi_H}{\Phi_H} = \frac{(4T_{\mu шш} p + 1)}{4T_{\mu шш} p} \cdot \frac{T_M}{2T_{\mu шш} \rho_e \Phi^*} \end{aligned} \quad (25)$$

Врахувавши, що $U_K^\delta = U_{33шш}^\delta = k_{33шш} \omega^\delta$, отримуємо шукану передавальну функцію

$$W_K^* = 1. \quad (26)$$

Оскільки $\omega W_{CE} \Phi = E$, $\omega^{\bar{6}} = U_H / (C_E \Phi_H)$, $W_{CE} = C_E$, $E^{\bar{6}} = U_H$, а $\Phi^{\bar{6}} = \Phi_H$, то

$$\omega^* \Phi^* = E^*, \quad (27)$$

а $W_{CE}^* = 1$. Приймаючи

$$W_{дЕ}^* = W_{дЕ} \frac{E^{\bar{6}}}{U_{дЕ}^{\bar{6}}} = \frac{k_{дЕ}}{1 + T_{як}p} \cdot \frac{U_H}{U_{дЕ}^{\bar{6}}} = \frac{1}{T_{як}p + 1},$$

визначаємо необхідну величину $U_{дЕ}^{\bar{6}} = k_{дЕ} U_H$.

Оскільки $W_{вип} = W_{вип}^* = 1$, то $U_{вдЕ}^{\bar{6}} = U_{дЕ}^{\bar{6}} = k_{дЕ} U_H$.

Вибравши відносну передавальну функцію

$$W_{\Phi}^* = W_{\Phi} \frac{i_3^{\bar{6}}}{\Phi^{\bar{6}}} = \frac{k_{\Phi} W_3}{T_{вс}p + 1} \cdot \frac{i_3^{\bar{6}}}{\Phi^{\bar{6}}} = \frac{k_{\Phi} W_3}{T_{вс}p + 1} \cdot \frac{i_3^{\bar{6}}}{\Phi_H^{\bar{6}}} = \frac{1}{T_{вс}p + 1},$$

знаходимо базову величину для струму збудження у вигляді $i_3^{\bar{6}} = \Phi_H / (k_{\Phi} W_3)$.

За цих умов (з урахуванням того, що $U_3^{\bar{6}} = U_H$) передавальна функція

$$W_3^* = W_3 \frac{U_3^{\bar{6}}}{i_3^{\bar{6}}} = \frac{T_{вс}p + 1}{R_3[(T_{вс} + T_3)p + 1]} \cdot \frac{U_H k_{\Phi} W_3}{\Phi_H} = \frac{1}{(T_{вс} + T_3)p + 1}.$$

Тут враховано, що

$$\frac{U_H k_{\Phi} W_3}{R_3 \Phi_H} = \frac{U_H k_{\Phi} W_3 i_{3H}}{R_3 \Phi_H i_{3H}} = \frac{U_H \Phi_H}{R_3 \Phi_H i_{3H}} = 1.$$

Вибравши відносну передавальну функцію ланки $W_{пз}$ у вигляді

$$W_{пз}^* = W_{пз} \frac{U_{рф}^{\bar{6}}}{U_3^{\bar{6}}} = \frac{k_{пз}}{T_{пз} + 1} \cdot \frac{U_{рф}^{\bar{6}}}{U_H} = \frac{1}{T_{пз}p + 1},$$

визначаємо базову величину

$$U_{рф}^{\bar{6}} = \frac{U_H}{k_{пз}}.$$

Визначивши відносну передавальну функцію ланки $W_{дсз}$ у вигляді

$$W_{дсз}^* = W_{дсз} \frac{i_3^6}{U_{ззсз}^6} = \frac{k_{ззсз}}{T_{фсз}p + 1} \cdot \frac{\Phi_H}{k_\phi W_3 U_{ззсз}^6} = \frac{1}{T_{пз}p + 1},$$

знаходимо бажану передавальну функцію

$$U_{ззсз}^6 = \frac{k_{ззсз} \Phi_H}{k_\phi W_3}.$$

Приймаємо відносну передавальну функцію

$$W_{\Phi 1}^* = W_{\Phi 1} \frac{U_{ззсз}^6}{U_{зз\Phi}^6} = \frac{k_\phi W_3}{T_{вс}p + 1} \cdot \frac{k_{ззсз} \Phi_H}{k_\phi W_3 U_{зз\Phi}^6} = \frac{1}{T_{вс}p + 1},$$

після чого визначаємо бажану базову величину $U_{зз\Phi}^6 = U_{pE}^6 = k_{ззсз} \Phi_H$.

За відомих базових величин на вході і виході ланки з передавальною функцією $W_{p\Phi}$ знаходимо її у відносних одиницях як

$$W_{p\Phi}^* = W_{p\Phi} \frac{U_{зз\Phi}^6}{U_{p\Phi}^6} = \frac{[(T_{вс} + T_3)p + 1]R_3}{2T_{\mu\phi}k_{пз}k_{ззсз}k_\phi W_{pP}} \cdot \frac{\Phi_H k_{ззсз}k_{пз}}{U_H} = \frac{(T_{вс} + T_3)p + 1}{2T_{\mu\phi}p}.$$

Тут враховано, що

$$\frac{U_H k_\phi W_3}{R_3 \Phi_H} = \frac{U_H k_\phi W_3 i_{3H}}{R_3 \Phi_H i_{3H}} = \frac{U_H \Phi_H}{R_3 \Phi_H i_{3H}} = 1.$$

З урахуванням того, що ланка з передавальною функцією W_K фактично є випрямлячем з передавальною функцією 1, то слід вибрати базові величини для вхідної і вихідної величини однаковими, тобто $U_{ззшш}^6 = U_K^6 = k_{ззшш} \omega^6$. За цих умов величина обмеження $U_K^{\min} = |k_{ззшш} \omega_H|$. З урахуванням базових величин на вході і виході ланки W_K визначаємо, що

$$U_K^{\min *} = \left| \frac{k_{ззшш} \omega_H}{k_{ззшш} \omega^6} \right| = \frac{\omega_H}{\omega^6} = \omega_H^*.$$

Тут $\omega_H^* = 1 - \rho_{я}$, $\rho_{я} = R_{я} / R_{ном}$.

З урахуванням схеми побудов на рис. 2.23 можна записати вираз

$$(U_{зЕ} - U_{вдЕ}) \frac{k_{ззсз} k_{ззшш}}{2T_{\mu E} k_{дЕ} C_{EP}} \cdot \frac{1}{U_K} = U_{pE}.$$

Підставивши замість іменованих величин $U_{зЕ}$, $U_{вдЕ}$, U_K , U_{pE} їх відповідні відносні значення (отримані шляхом ділення на їх базові величини), після низки перетворень знаходимо передавальну функцію регулятора ЕРС у вигляді

$$(U_{3E}^* - U_{вдЕ}^*) \frac{1}{2T_{\mu EP}} \cdot \frac{1}{U_K^*} = U_{pE}^* \quad (28)$$

Задання на ЕРС у відносних одиницях приймають таким, що відповідає відносній номінальній ЕРС, тобто $U_{3E}^* = 1 - \rho_{я}$, а обмеження регулятора $ЕРС=1$. Отримана внаслідок нормування структурна схема двозонного електропривода (див. рис. 2.23) набуває вигляду структурної схеми на рис. 2.24.

4. ПРИКЛАД МОДЕЛЮВАННЯ ДВОЗОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА В ПРОГРАМІ Simulink

Модель отримуємо для структурної схеми двозонного електропривода постійного струму з підпорядкованим регулюванням параметрів у відносних одиницях (рис. 4.1) з використанням пропорційно-інтегрального регулятора швидкості. Як приклад, складемо модель двозонного електропривода із активним навантаженням 0,49 в.о. для відпрацювання наступних режимів:

- 1 – робота приводу на швидкості 2 в.о.;
- 2 – гальмування приводу до швидкості 0,6 в.о.;
- 3 – розганяння до проміжної швидкості 1,4 в.о.;
- 4 – гальмування до кінцевої швидкості 0.

Початковий стан системи характеризується тим, що похідні всіх змінних дорівнюють нулю, а самі змінні мають значення, що називаються початковими умовами. Окрім того, враховуємо, що у сталому режимі на вході інтегральних ланок і добутки pT_i інерційних ланок дорівнюють нулю. Після розкриття пропорційно-інтегральних ланок схема рис. 4.1 набуває вигляду схеми на рис. 4.2.

При моделюванні використані наступні дані:

$$\begin{aligned} \omega^*(0) &= U_{3ш}^* = 2 \text{ в.о.}; M_C^* = 0,49 \text{ в.о.}; \rho_{я} = 0,02 \text{ в.о.}; \rho_e = 0,15 \text{ в.о.}; \\ T_{яК} &= 0,05 \text{ с}; T_M = 0,4 \text{ с}; T_{ПЯ} = 0,005 \text{ с}; T_{ПЗ} = 0,005 \text{ с}; T_3 = 0,2 \text{ с}; \\ T_{вс} &= 0,02 \text{ с}; T_{Фс} = 0,0005 \text{ с}; T_{Фсз} = 0,0005 \text{ с}; \end{aligned}$$

$$T_{Фш} = 0,0005 \text{ с}; U_{3E}^* = 1 - 0,02 = 0,98 \text{ в.о.}$$

Визначаємо додаткові дані для моделювання, а саме:

$$\begin{aligned} T_{\mu ся} &= 0,005 + 0,0005 = 0,0055 \text{ с}; T_{\mu шшш} = 2 * 0,0055 + 0,0005 = 0,0115 \text{ с}; \\ T_{\mu ф} &= 0,005 + 0,0005 = 0,0055 \text{ с}; T_{\mu E} = 2 * 0,0055 + 0,05 = 0,061 \text{ с}. \end{aligned}$$

З урахуванням отриманих даних знаходимо коефіцієнти моделі на рис. 4.2:

$$4T_{\mu шшш} = 4 * 0,0115 = 0,046 \text{ с}; T_M / 2T_{\mu шшш} = 0,4 / 0,023 = 17,3913;$$

$$T_M / 8T_{\mu шшш}^2 = 0,4 / (8 * 0,0115^2) = 378,0718;$$

$$\rho_e T_{яК} / 2T_{\mu ся} = 0,15 * 0,05 / 0,011 = 0,6818; \rho_e / 2T_{\mu ся} = 0,15 / 0,011 = 13,636;$$

$$\rho_e / T_M = 0,15 / 0,4 = 0,375; 1 / \rho_e = 1 / 0,15 = 6,6667;$$

$$1 / 2T_{\mu E} = 1 / 0,122 = 8,1967;$$

$$1 / 2T_{\mu ф} = 1 / 0,011 = 90,909; (T_{вс} + T_3) / 2T_{\mu ф} = 0,22 / 0,011 = 20.$$

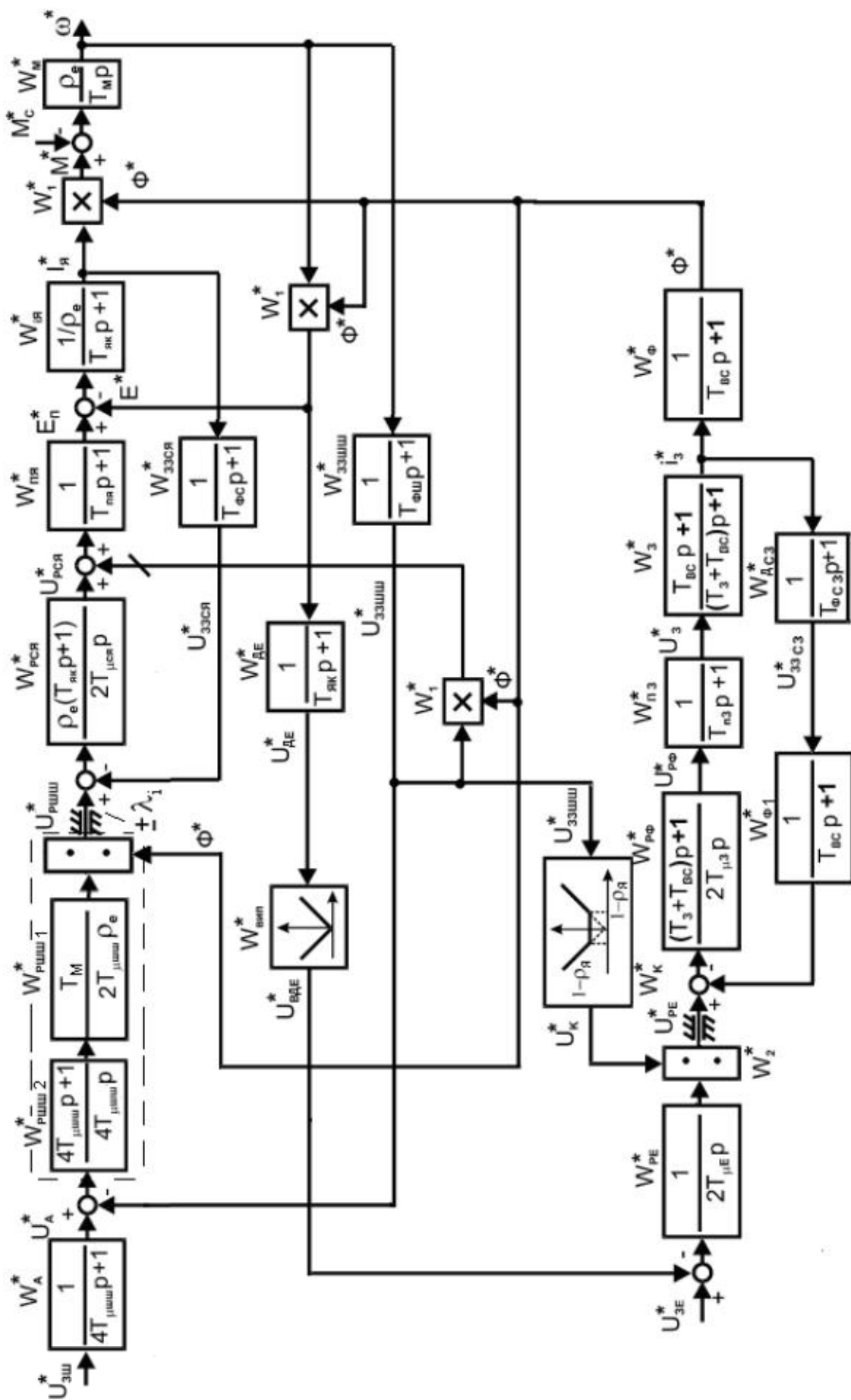


Рис. 4.1. Структурна схема у відносних одиницях двозонного електропривода постійного струму з пропорційно-інтегральним регулятором і датчиком швидкості

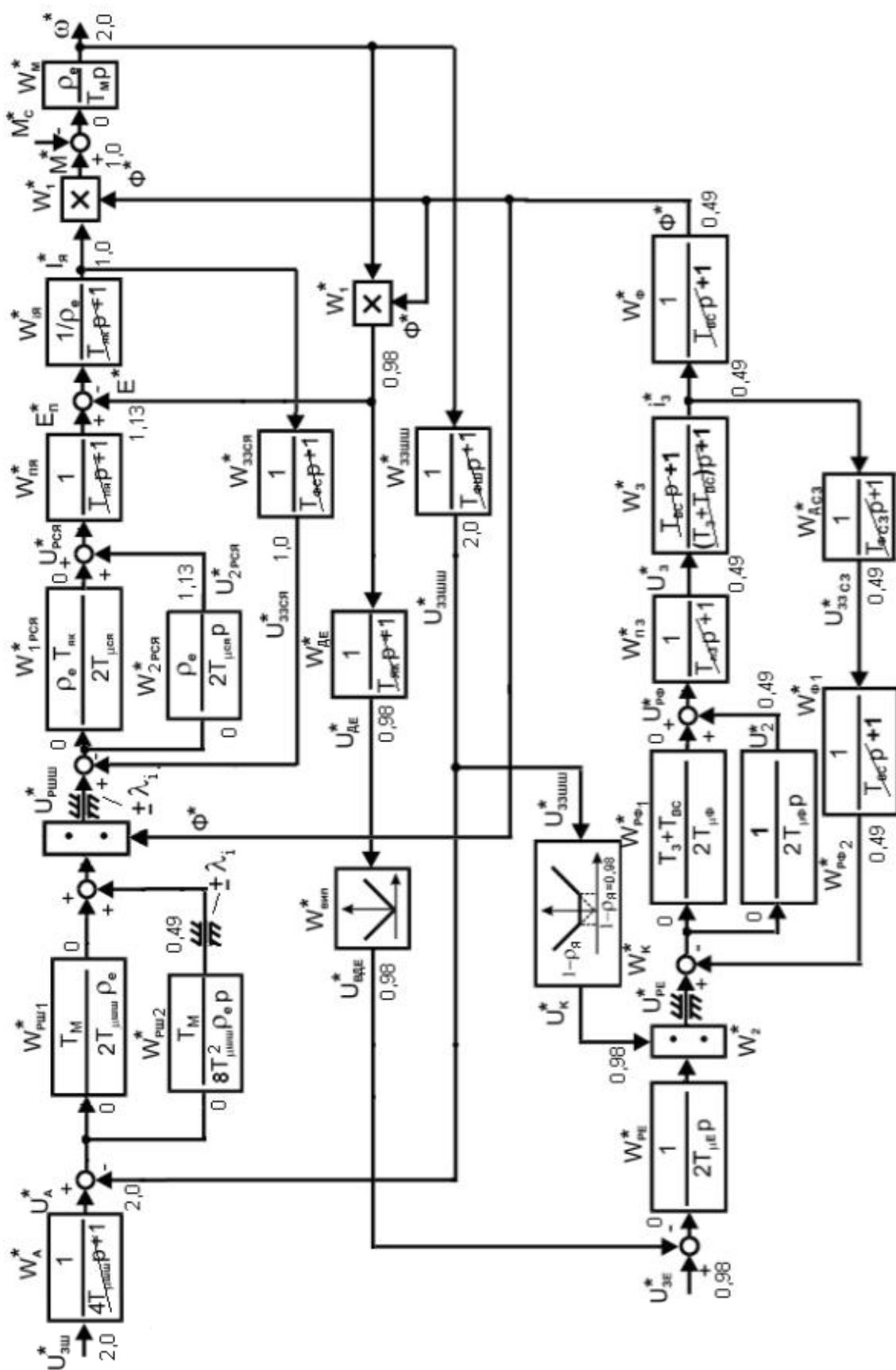


Рис. 4.2. Структурна схема для визначення початкових умов двозонного електропривода з пропорційно-інтегральним регулятором швидкості і інтегральним регулятором ЕРС

Виходячи із задання на початкову швидкість і момент навантаження, визначимо початкові умови для інерційних ланок. Враховуємо, що у сталому режимі на їх входах нулі (як і нульові добутки T_{ip}). При цьому ЕРС двигуна $E^* = 0,98 \text{ в.о.}$ Зважаючи на схему (рис. 4.2), послідовно знаходимо:

$$M^* = M_C^* = 0,49 \text{ в.о.}; \quad \Phi^*(0) \cdot \omega^*(0) = \Phi^*(0) \cdot 2 = E^* = U_{дЕ}^*(0) = 0,98 \text{ в.о.},$$

звідкіля знаходимо, що $\Phi^*(0) = 0,98/2 = 0,49 \text{ в.о.}$ Оскільки добуток $I_{я}^*(0) \cdot \Phi^*(0) = M_C^* = 0,49 \text{ в.о.}$, то $I_{я}^*(0) = M_C^* / \Phi^*(0) = 0,49/0,49 = 1 \text{ в.о.}$

З урахуванням, що $\left(E_{\Pi}^*(0) - \Phi^*(0) \cdot \omega^*(0)\right) \cdot \frac{1}{\rho_e} = I_{я}^*(0)$, знаходимо

$$E_{\Pi}^*(0) = I_{я}^*(0) \cdot \rho_e + \Phi^*(0) \cdot \omega^*(0) = 1 \cdot 0,15 + 0,49 \cdot 2 = 1,13 \text{ в.о.}$$

Очевидно, що $U_{33сз}^*(0) = I_{я}^*(0) = 1 \text{ в.о.};$

$$U_{2РСЯ}^*(0) = E_{\Pi}^*(0) = 1,13 \text{ в.о.};$$

$$U_{дЕ}^*(0) = \omega^*(0) \cdot \Phi^*(0) = 2 \cdot 0,49 = 0,98 \text{ в.о.};$$

$$U_{33III}^*(0) = \omega^*(0) = 2 \text{ в.о.}$$

З цих же причин $U_A^*(0) = U_{33III}^*(0) = \omega^*(0) = 2 \text{ в.о.}$ Подібним чином знаходимо, що $i_3^*(0) = U_3^*(0) = U_1^*(0) = U_{33сз}^*(0) = U_{33ф}^*(0) = 0,49 \text{ в.о.}$ А оскільки на початок рішення $U_{PE1}^*(0)/U_{33III}^*(0) = U_{33ф}^*(0) = 0,49 \text{ в.о.}$, то початкова умова $U_{PE1}^*(0) = U_{33III}^*(0) \cdot U_{33ф}^*(0) = 2 \cdot 0,49 \text{ в.о.} = 0,98 \text{ в.о.}$

Визначені початкові умови інерційних ланок та інші розрахункові дані наведені на рис. 4.2. При моделюванні в Simulink для врахування початкових умов слід використовувати блоки Transfer Fcn (with initial outputs) з бібліотеки Simulink Extras. Розроблена модель – на рис. 4.3, а результати моделювання – на рис. 4.4. Слід врахувати, що при моделюванні в інерційних ланках одночасно з початковими умовами на виході ланок необхідно задавати значення величин на вході.

Із отриманих результатів моделювання можна зробити висновок, що система задовольняє поставленим до неї вимогам і відпрацьовує заданий режим змінювання швидкості. Разом з тим, зважаючи на інерційність використаних в системі датчиків зворотних зв'язків та використання спрощених виразів для передавальних функцій замкнених контурів, магнітний потік Φ має деяке перерегулювання, як і струм якоря, що визначається обмеженням регулятора швидкості, рівнем магнітного потоку та відсутністю компенсації ЕРС.

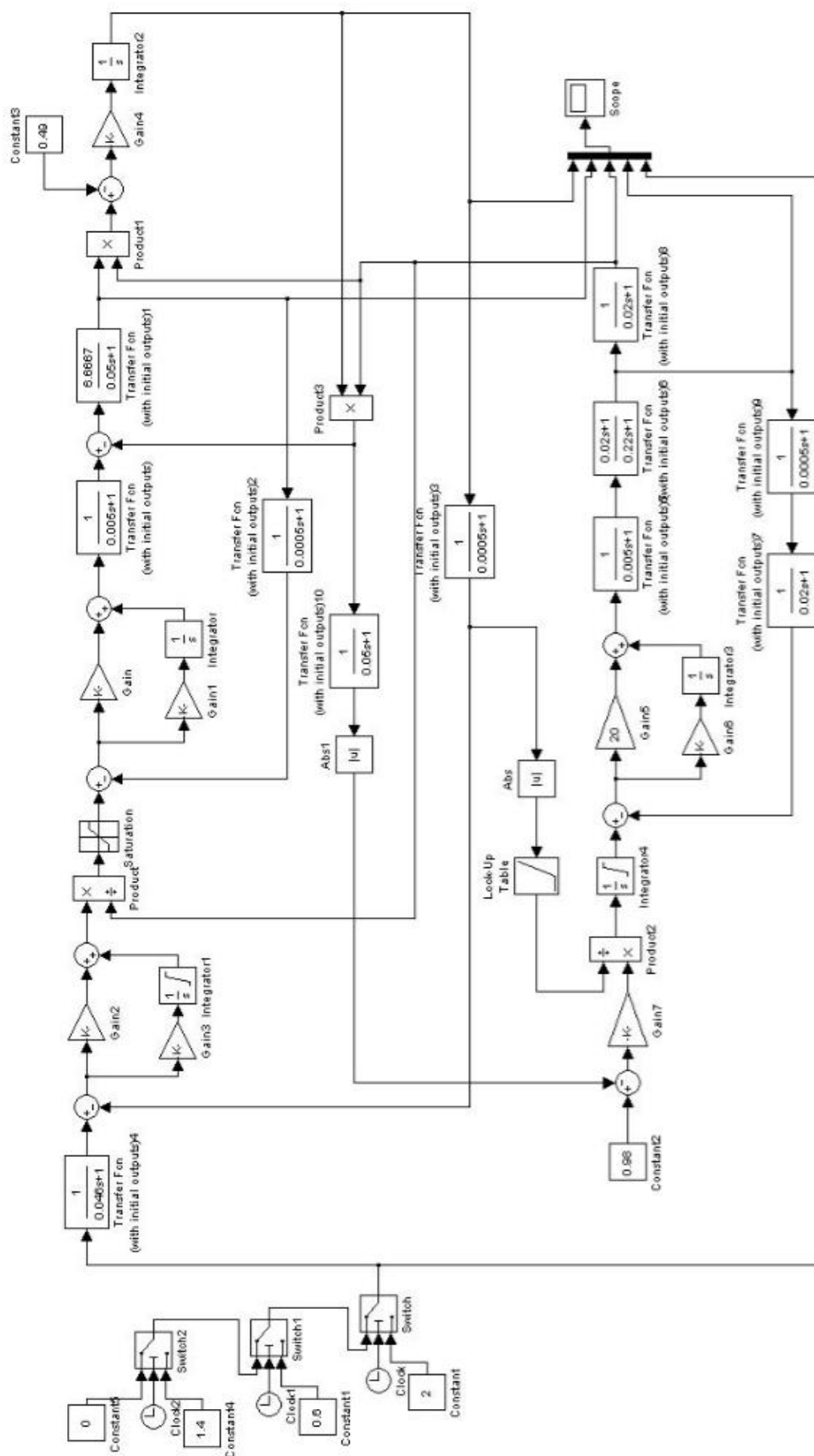


Рис. 4.3. Модель двозонного электропривода постоянного тока с подпорядкованым регулированием параметров

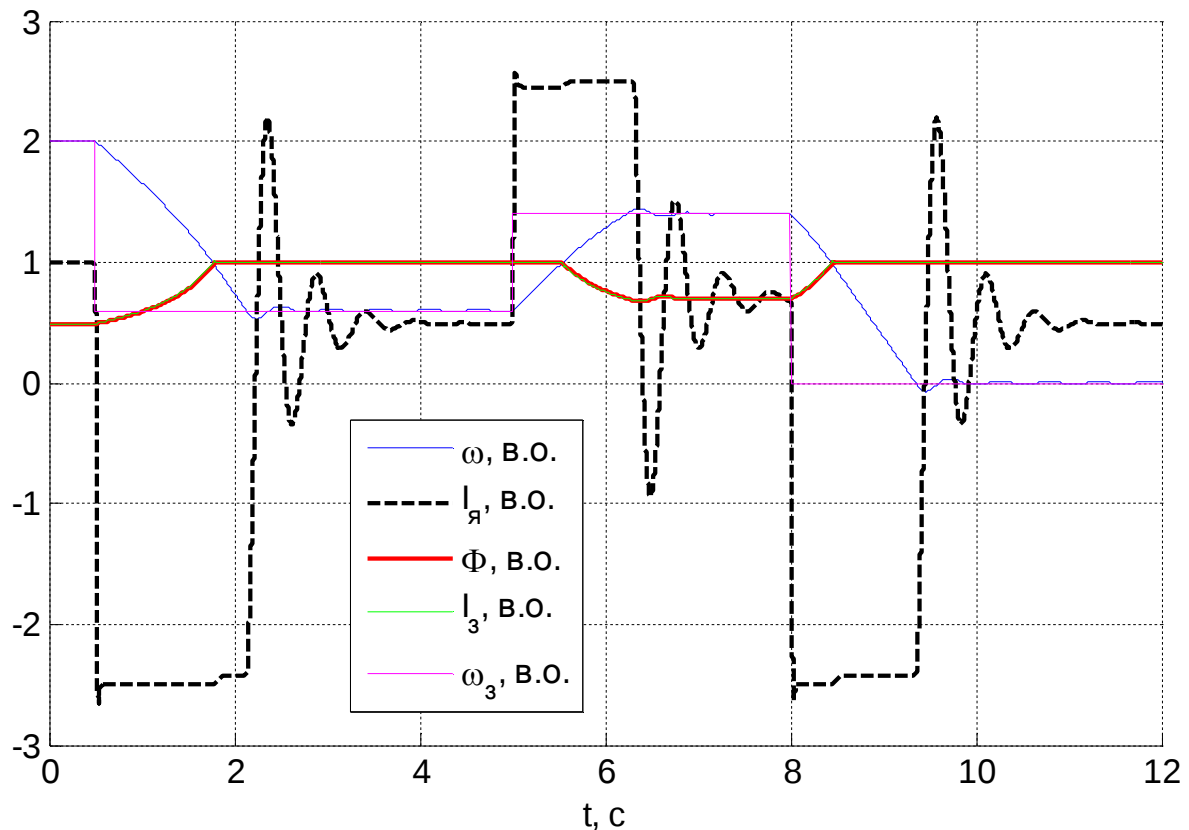


Рис. 4.4. Результати моделювання двозонного електропривода

Запитання для самоперевірки

1. За рахунок чого змінюється діапазон регулювання швидкості?
2. В яких випадках доцільно використовувати двозонне регулювання швидкості?
3. За рахунок чого забезпечується у замкнених системах регулювання швидкості перехід від режиму регулювання напругою до режиму регулювання потоком збудження?
4. На які підсистеми регулювання можна підрозділити повну систему керування двозонним електроприводом?
5. Які особливості розрахунку параметрів підсистеми регулювання швидкості?
6. Які особливості регулятора контуру струму?
7. Які особливості регулятора швидкості при використанні зворотного зв'язку за швидкістю?
8. Які особливості регулятора швидкості при використанні зворотного зв'язку за ЕРС двигуна?
9. Які особливості розрахунку параметрів підсистеми регулювання ЕРС двигуна?
10. Які особливості регулятора магнітного потоку?
11. Які особливості регулятора ЕРС двигуна?

Вихідні дані для вибору індивідуальних завдань

№ з/п в журналі групи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Використання компенсації ЕРС	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Тип регулятора швидкості *)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Тип зворотного зв'язку для регулятора швидкості **)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Тип навантаження ***)	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Модуль навантаження $ M_c^* $, в.о.	0,4	0,5	0,6	0,8	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,4	0,5	0,6	0,8	0,1
	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Обмеження регулятора швидкості $U_{p \text{ штах}}^*$	2,3	2,4	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2	1,8	1,9	1,9	2	2,1	2	1,8	1,9	2,3	2,4	2,5	2,4	2,3	1,9	2	2,1
	1,9	1,8	2,1	2	2,3	2,2	2,4	2,3	2,5	2,4	2,2	2,1	1,8	2,1	2	2,3	2,2	2,4	2,3	2,5	2,4	2,2	1,9	1,8
Початкова швидкість, в.о.	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,8
	0,9	0,8	0,7	0,6	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,9	0,8	0,7	0,6	0,7	0,8	0,9	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Проміжна швидкість, в.о.	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,4	1,3	1,2
	1,5	1,4	1,3	1,2	1,3	1,4	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,5	1,2	1,3	1,4	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Кінцева швидкість, в.о.	0,8	0,9	1,9	1,1	1,9	0,9	1,1	0,8	0,8	0,9	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	1,1	1,9	0,9	1,1	0,8	0,9	1,9	1,1	1,9
	0,8	0,7	0,9	1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7	0,8	0,9	1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,9	1	0,9	0,8
Наявність обмеження похідної струму якоря	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$(dI_{\text{я}}^*/dt)_{\text{max}}$ в.о.	40	30	20	50	40	30	20	30	40	50	40	30	20	30	40	50	40	30	20	30	40	50	40	30
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Постійна часу T_3 , с	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2
	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1

*) 1 – пропорційно-інтегральний;

2 – пропорційний

**) 1 – зворотній зв'язок за ЕРС;

2 – зворотній зв'язок за швидкістю

***) 1 – активне;

2 – реактивне.

****) при моделюванні скористатися даними індивідуального варіанта до роботи МЕМС-2, причому опір якоря приймати на рівні 0,4 від опору якорного кола, а постійні часу датчиків струмів і швидкості приймати 0,0002 с.

КИРИЧЕНКО Віталій Іванович
БАРАБАН Віктор Вікторович
БОРОВИК Роман Олексійович
СЬОМІН Андрій Олександрович

**ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДВОЗОННОГО
ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ПІДПОРЯДКОВАНИМ
РЕГУЛЮВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ ТА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ МЕМС-4
З БАЗОВОЇ ДИСЦИПЛІНИ «МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ
СИСТЕМ»
для студентів напряму підготовки 6.050702 Електромеханіка**

Державний ВНЗ «НГУ»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.