



**Міністерство освіти і науки України**

**Навчально-науковий  
ІНСТИТУТ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ НУК**



**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА  
за темою:  
«СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА  
АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА В МАТЛАВ»**

Студент магістратури: Ду Сінь

Керівник магістерської роботи: Гаврилов С. О.

Миколаїв  
2018



## Актуальність проблеми



---



Сьогодні особлива увага приділяється побудові систем керування електроприводів, структура яких містить пристрої цифрової техніки. Це особливо важливо, оскільки в найближчому майбутньому очікується перехід повністю до цифрових систем управління. Крім того, в зв'язку з повсюдним розвитком сучасних комп'ютерних технологій суттєво змінилися підходи до вирішення проблем проектування систем управління електроприводів. Прикладні пакети MATLAB, DesignLab, WorkBanch, OrCad, VisSim і ін., які використовуються для дослідження і проектування електромеханічних систем, дозволили якісно змінити і істотно розширити можливості проектувальника. Одним з найбільш перспективних прикладних пакетів заслужено вважається пакет MATLAB з широко розвиненими розширеннями (Toolboxes) і пакет Simulink зі своїми розширеннями (Blocksets).





## Мета роботи. Об'єкт і предмет дослідження



---



**Метою роботи є** синтез цифрового регулятора асинхронного електроприводу в MATLAB.

**Об'єкт дослідження.** Перехідні процеси в асинхронному електроприводі з цифровим регулятором.

**Предмет дослідження.** Параметри цифрового регулятора швидкості, Які впливають на показатели якості керування векторної системи керування асинхронного електропривода.



## Завдання дослідження



---



- Проаналізувати способи керування асинхронних електроприводів і визначити особливості математичного опису динамічної моделі системи векторного керування асинхронного електропривода.
- Розглянути загальні підходи і основні методи синтезу цифрових регуляторів.
- Виконати синтез структури і розрахунок параметрів цифрового регулятора швидкості і провести моделювання асинхронного електропривода з цифровим регулятором в MATLAB. Дослідити вплив параметрів цифрового регулятора на якість керування.
- Згенерувати відповідно до МЕК 61131 код для програмованих логічних контролерів.



# Математичний опис асинхронного двигуна

- ① Еквівалентні напруги статора в системі х-у через фазні напруги

$$U_{sx} = \frac{2}{3} \left[ U_{\Phi A} \cos \omega_K t + U_{\Phi B} \cos \left( \omega_K t - \frac{2\pi}{3} \right) + U_{\Phi C} \cos \left( \omega_K t + \frac{2\pi}{3} \right) \right]$$

$$U_{sy} = \frac{2}{3} \left[ U_{\Phi A} \cos \omega_K t + U_{\Phi B} \cos \left( \omega_K t - \frac{2\pi}{3} \right) + U_{\Phi C} \cos \left( \omega_K t + \frac{2\pi}{3} \right) \right]$$

- ② Вирази для реальних фазних напруг

$$U_{\Phi A} = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0);$$

$$U_{\Phi B} = U_m \cos \left( \omega_0 t - \frac{2\pi}{3} + \varphi_0 \right);$$

$$U_{\Phi C} = U_m \cos \left( \omega_0 t - \frac{2\pi}{3} + \varphi_0 \right).$$

- ③ Складові напруг в еквівалентній двофазній системі координат

$$U_{sx} = U_m \cos[(\omega_0 - \omega_k)t + \varphi_0]$$

$$U_{sy} = U_m \sin[(\omega_0 - \omega_k)t + \varphi_0]$$

- ④ Система рівнянь електромагнітної рівноваги асинхронного двигуна в системі координат х-у

$$\frac{d\Psi_{sx}}{dt} = U_{sx} - R_s i_{sx} + \omega_k \Psi_{sy}; \quad \frac{d\Psi_{sy}}{dt} = U_{sy} - R_s i_{sy} + \omega_k \Psi_{sx};$$

$$\frac{d\Psi_{rx}}{dt} = -R_r i_{rx} + (\omega_k - \omega) \Psi_{ry}; \quad \frac{d\Psi_{ry}}{dt} = -R_r i_{ry} - (\omega_k - \omega) \Psi_{rx};$$

- ⑤ Вирази для електромагнітного моменту асинхронного двигуна

$$M = \frac{3}{2} P_{II} (\Psi_{sx} i_{sy} - \Psi_{sy} i_{sx}); \quad M = \frac{3}{2} P_{II} (i_{rx} \Psi_{ry} - i_{ry} \Psi_{rx});$$

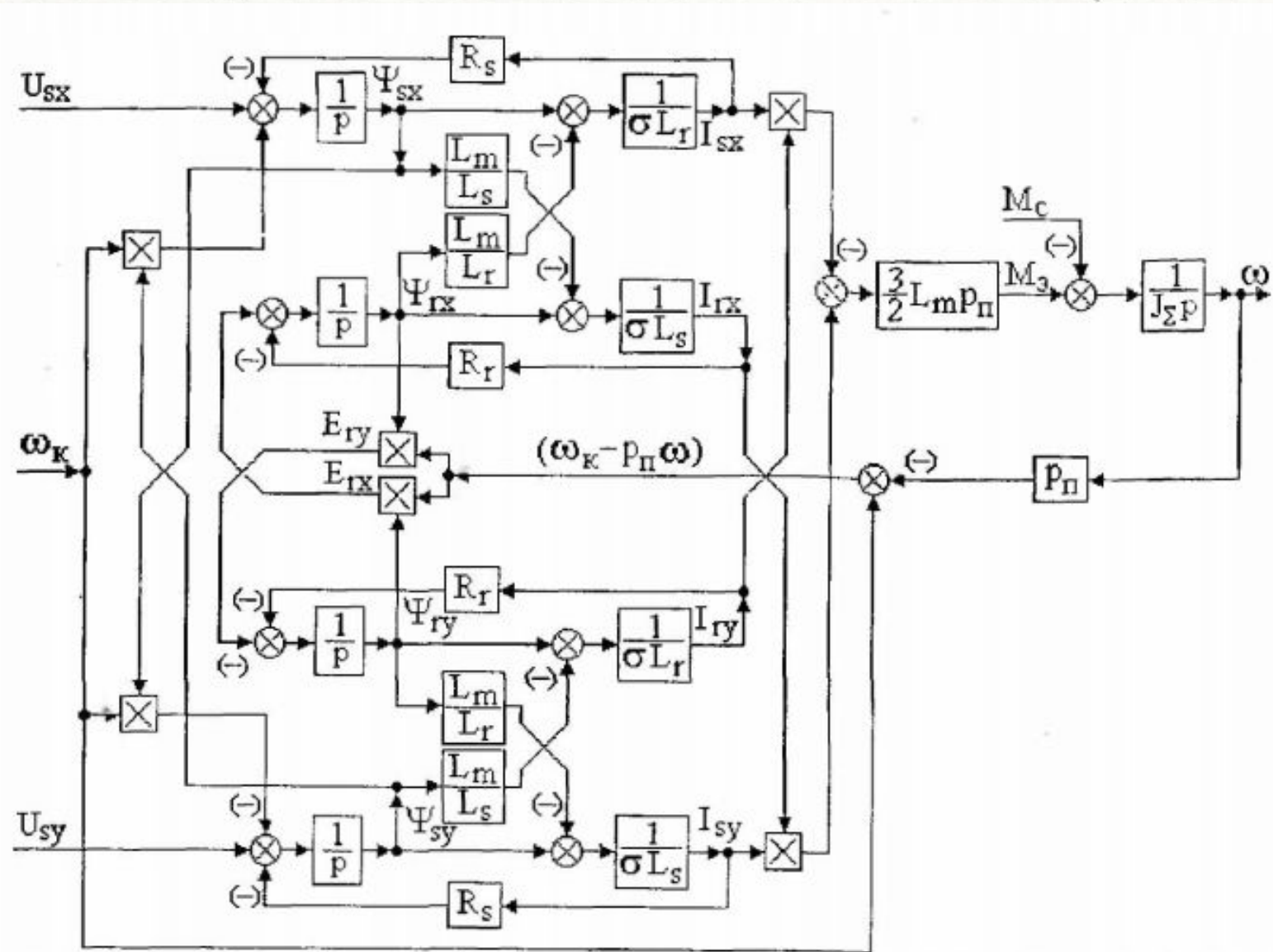
$$M = \frac{3}{2} L_m P_{II} (i_{rx} i_{sy} - i_{ry} i_{sx}); \quad M = \frac{3}{2} \frac{L_m}{\sigma L_s L_r} (\Psi_{rx} \Psi_{sy} - \Psi_{ry} \Psi_{sx});$$

$$M = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_s} P_{II} (i_{rx} \Psi_{sy} - i_{ry} \Psi_{sx}); \quad M = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_r} P_{II} (\Psi_{rx} i_{sy} - \Psi_{ry} i_{sx});$$

- ⑥ Рівняння руху асинхронного двигуна

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J_{\Sigma}} (M - M_C)$$

# Структурна схема асинхронного двигуна в ортогональній системі координат (x-y)





## Методи синтезу цифрових регуляторів

7

Для синтезу цифрового регулятора зазвичай використовують кілька методів :

- безперервна передавальна функція об'єкта керування переноситься з  $s$ - в  $z$ - площину (дискретизується), далі відбувається синтез регулятора у  $z$ - площині;
- у випадку, коли передавальна функція об'єкта керування початково представлена у дискретному вигляді, синтез регулятора проводиться одразу в  $z$ - площині;
- виходячи із заданих часової або частотної характеристик та відомої передавальної функції об'єкта керування, проводиться синтез регулятора і остаточний результат переноситься в  $z$ - площину.

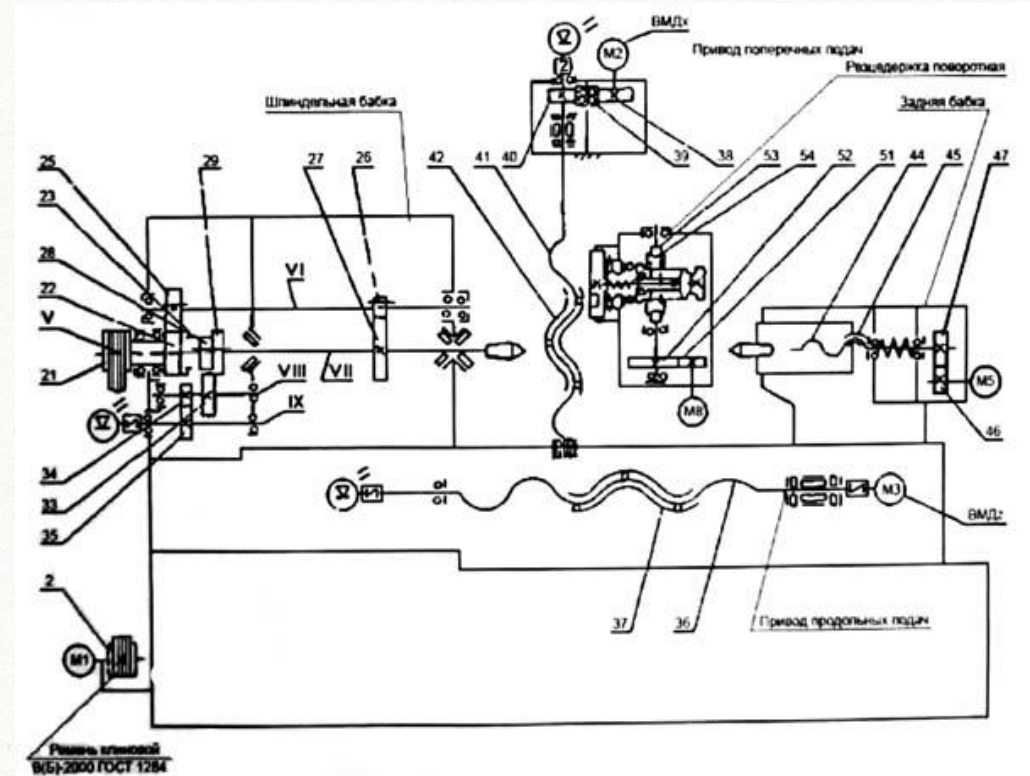
В даній роботі процедуру синтезу регулятора проведено з використанням пакета MATLAB. Основні етапи синтезу:

- визначення дискретної передавальної функції з безперервної математичної моделі асинхронного електродвигуна;
- синтез цифрового регулятора безпосередньо у  $z$ - площині;
- побудова перехідної характеристики асинхронного електропривода з цифровим регулятором;
- генерація коду для програмованого логічного контролера відповідно до стандарту IEC 61131.

## Загальна характеристика об'єкта керування



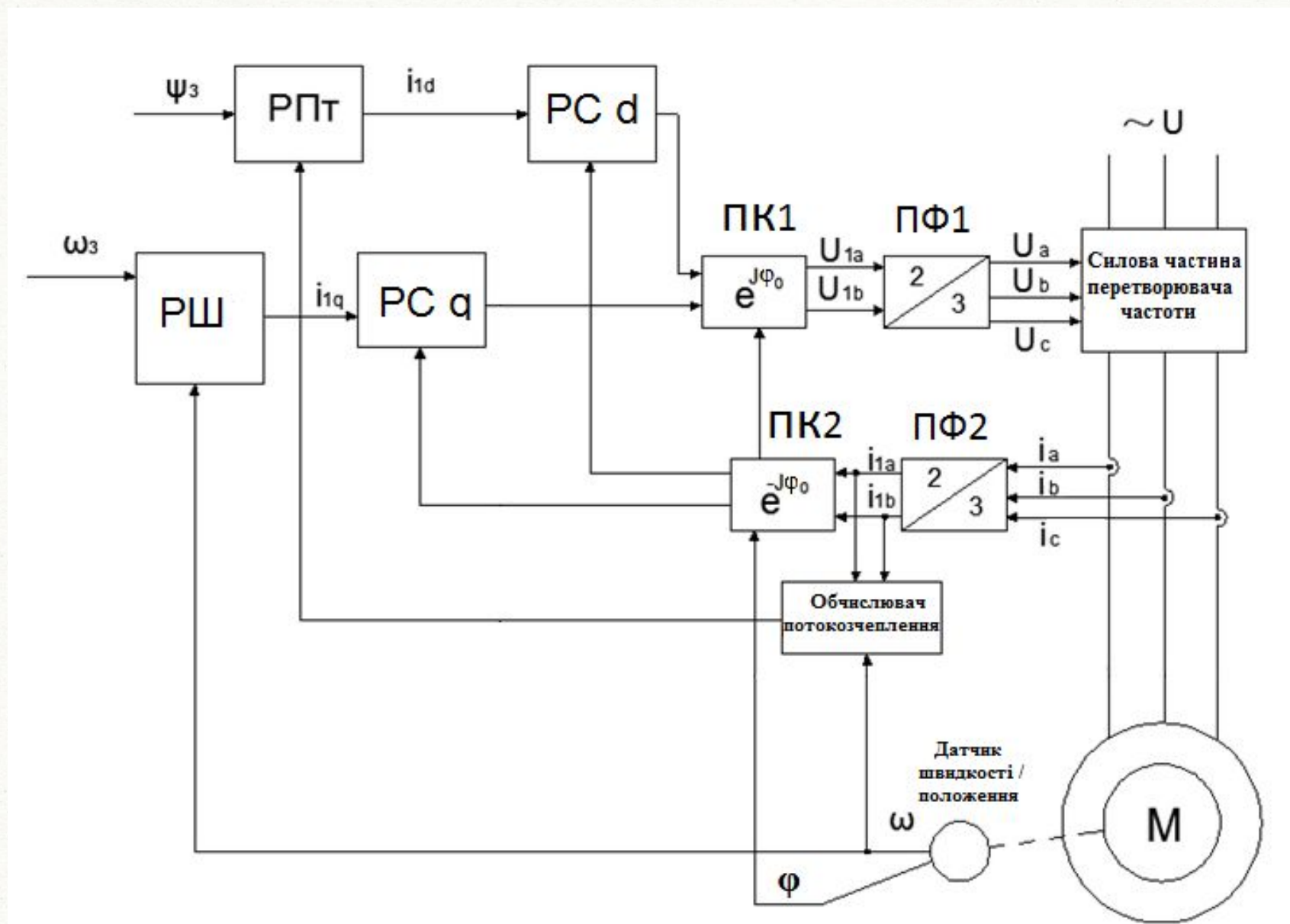
Загальний вигляд токарного верстата  
16Б16Т1



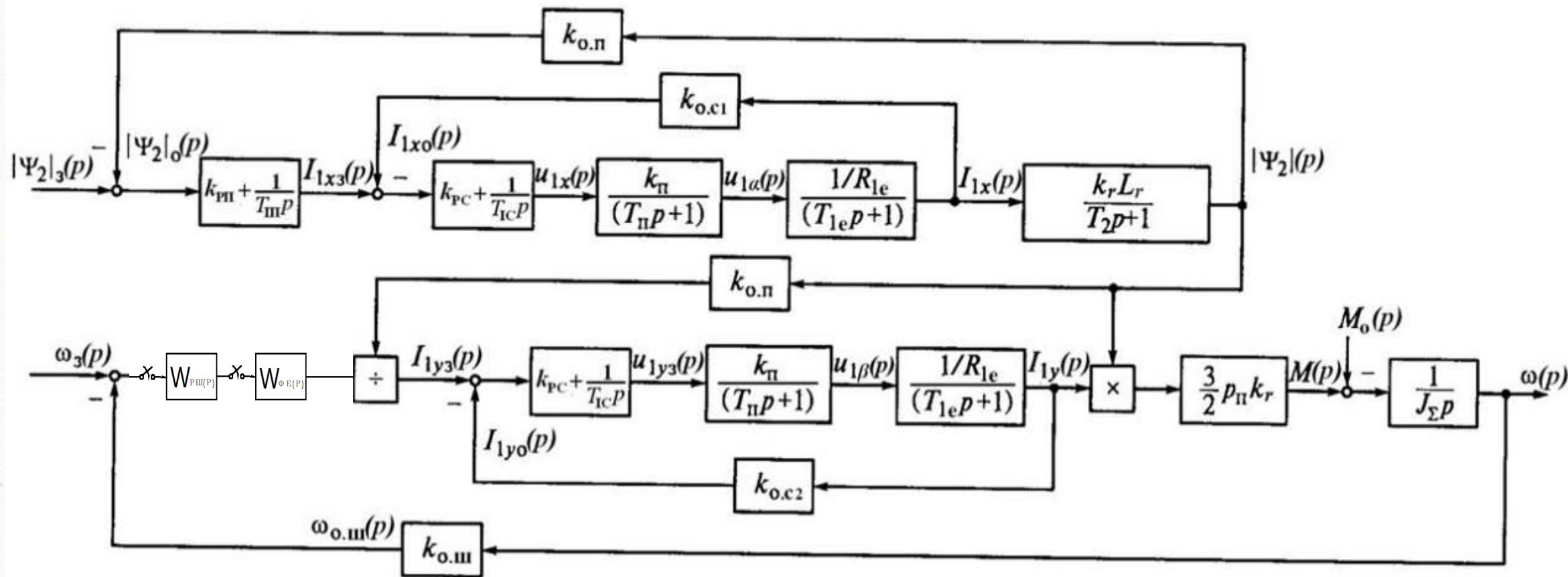
Кінематична схема верстата 16Б16Т1



# Функціональна схема векторної системи керування



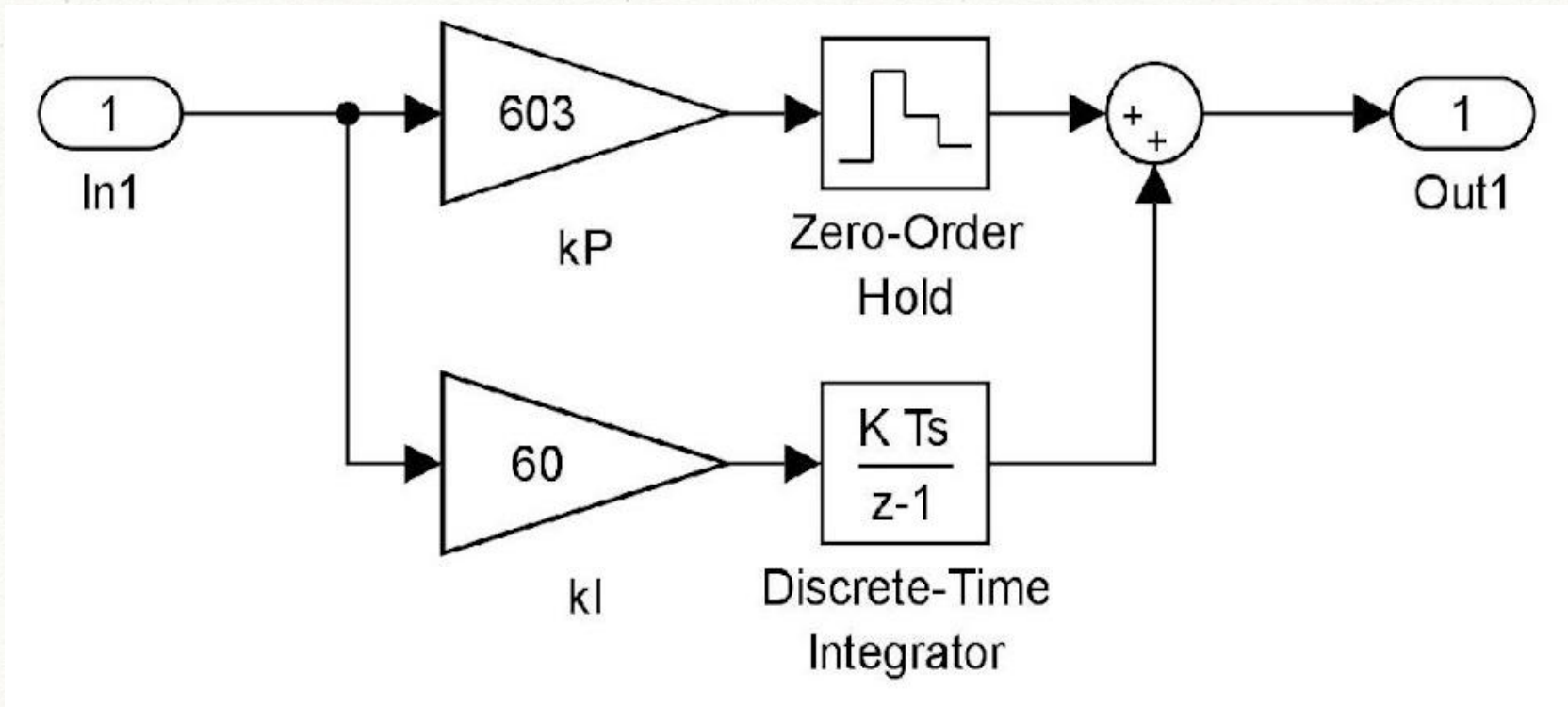
# Структурна схема векторної системи керування





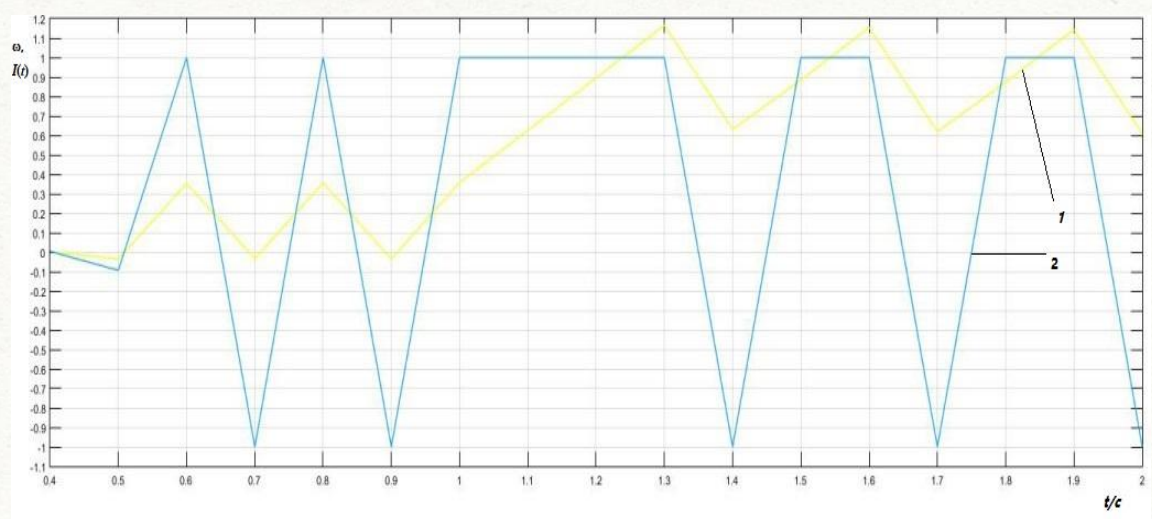


## Внутрішня структура підсистеми Discrete PI Controller





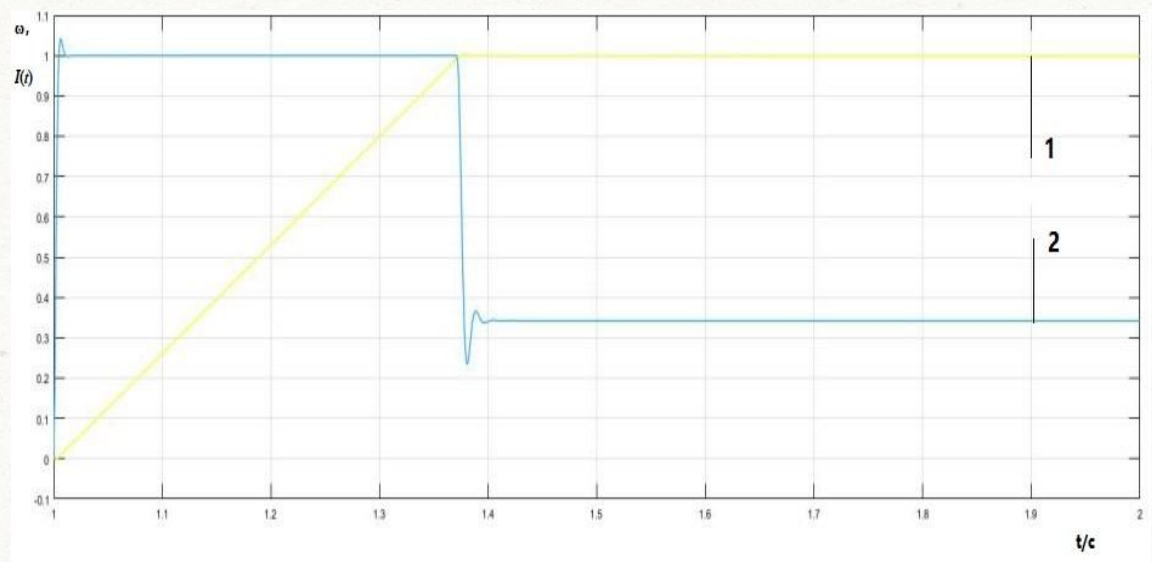
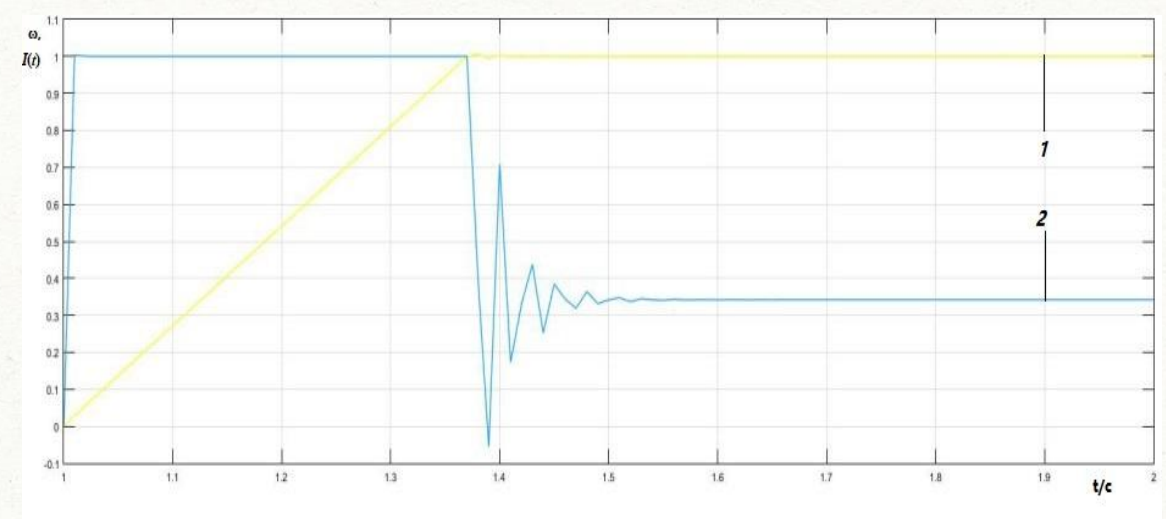
# Графіки перехідних процесів струму та кутової швидкості



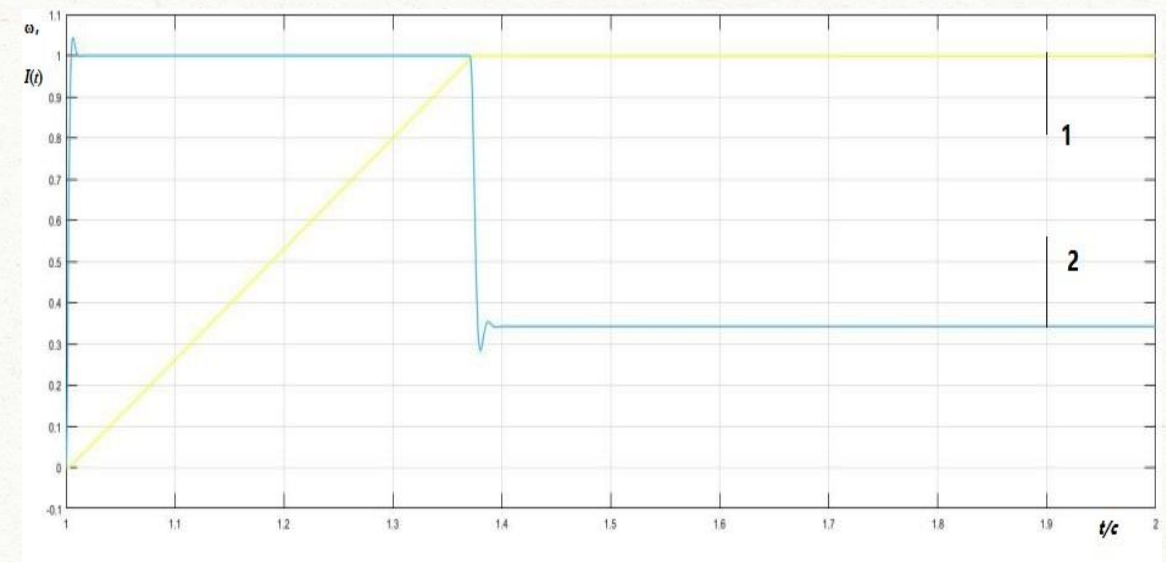
Sample time 1e-1 s

1 - кутова швидкість  $\omega(t)$ ; 2 - струм  $I(t)$

Sample time 1e-2 s



Sample time 1e-3 s



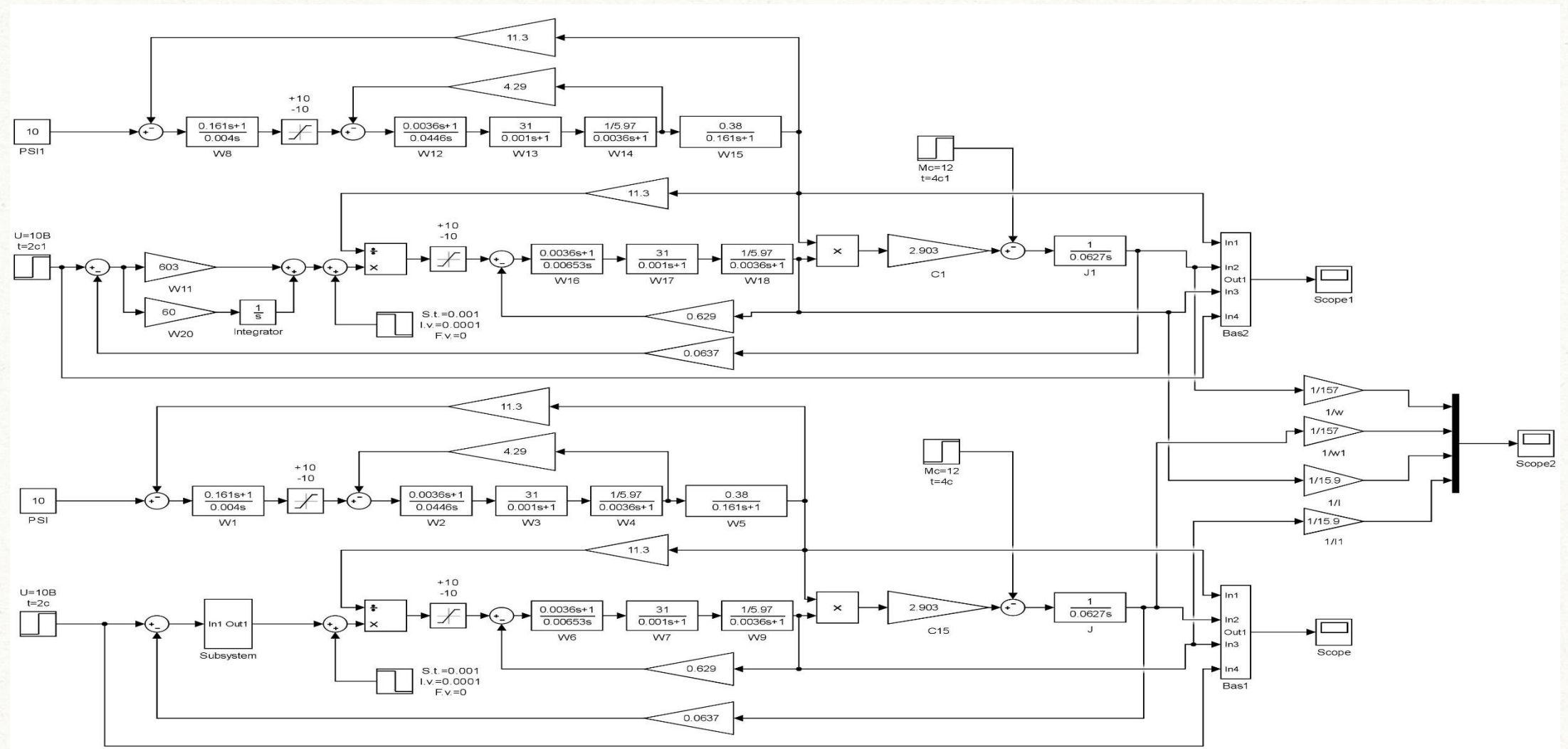
Sample time 1e-4 s

## Аналіз показників якості

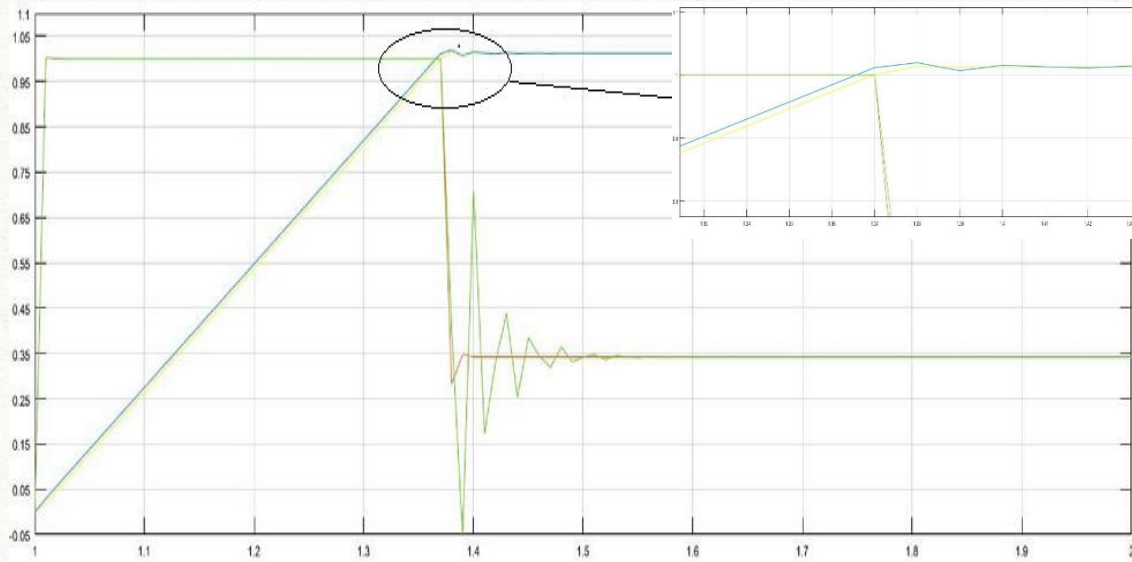
| Параметр            | Sample<br>Time1e-1 | Sample<br>Time1e-2 | Sample<br>Time1e-3 | Sample<br>Time1e-4 |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $\sigma, \%$        | 1,02               | 0,67               | 0,23               | 0,15               |
| $t_p, c$            | 0,885              | 0,38               | 0,378              | 0,376              |
| $t_H, c$            | 0,663              | 0,292              | 0,293              | 0,293              |
| $\varepsilon_{уст}$ | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  |



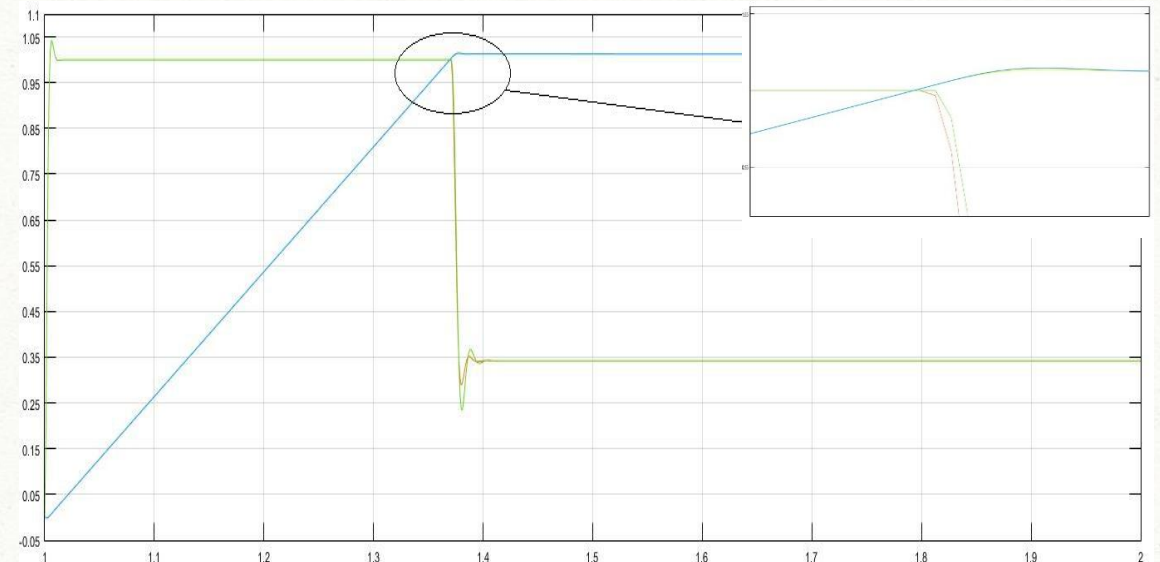
# Схема моделювання системи векторного керування асинхронного електропривода з безперервним та цифровим регуляторами швидкості



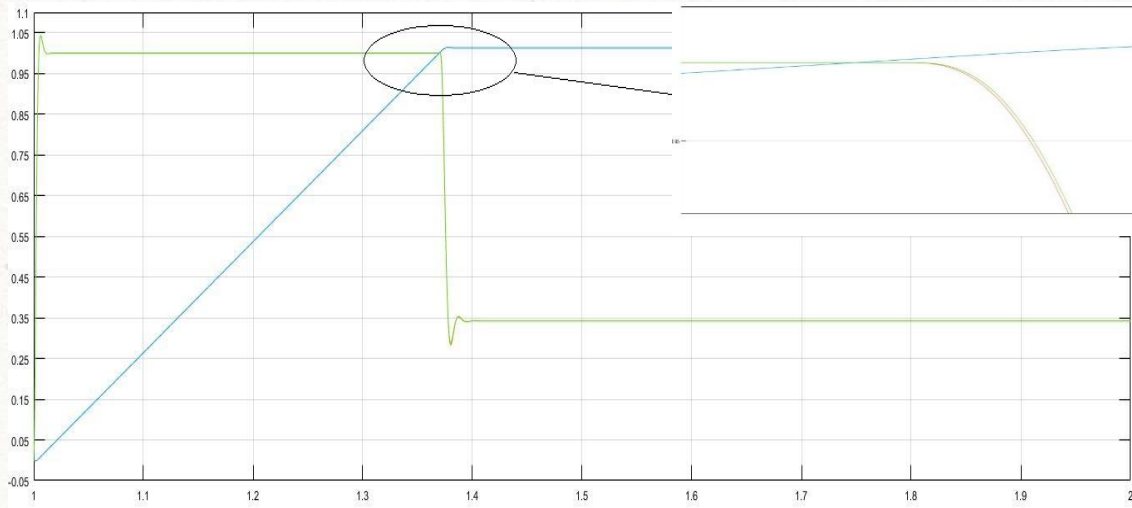
# Графіки перехідних процесів



Sample time 0.01 s



Sample time 0.001 s



Sample time 0.0001 s

Як видно з рисунків при однакових параметрах налаштування регуляторів швидкості, якість керування в системі з дискретним регулятором суттєво залежить від періоду квантування (Sample Time).



# Розробка алгоритму керування для програмованих логічних контролерів

17

```
FUNCTION_BLOCK Discrete
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    In1: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1: LREAL;
END_VAR
VAR
    c_DiscreteTimeIntegrator_DS: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for
        DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time
        Integrator' *)
        c_DiscreteTimeIntegrator_DS := 0.0;
    SS_STEP:
        (* Output: '<Root>/Out1' incorporates:
        * DiscreteIntegrator:
        '<S1>/Discrete-Time Integrator'
        * Gain: '<S1>/kP'
        * Inport: '<Root>/In1'
        * Sum: '<S1>/Sum13' *)
        Out1 := (603.0 * In1) +
        c_DiscreteTimeIntegrator_DS;
        (* Update for DiscreteIntegrator:
        '<S1>/Discrete-Time Integrator' incorporates:
        * Gain: '<S1>/kI'
        * Inport: '<Root>/In1' *)
        c_DiscreteTimeIntegrator_DS := ((60.0 *
        In1) * 0.01) + c_DiscreteTimeIntegrator_DS;
    END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
```

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі представлені результати, які узагальнюють теоретичні дослідження синтезу цифрового регулятора асинхронного електропривода в MATLAB.

- Розглянуто загальні підходи та основні методи синтезу цифрових регуляторів. Виявлено, що завдання синтезу дискретних регуляторів мають ті ж постановки, що і відповідні завдання синтезу безперервних моделей. Разом з тим, необхідно враховувати особливості моделей систем цифрового керування безперервними об'єктами.
- При побудові моделі асинхронного електропривода з цифровим регулятором швидкості в MATLAB враховано основні нелінійності, що виникають при використанні в якості керуючого пристрою програмованого логічного контролера.



- Виконано порівняльну оцінку результатів синтезу цифрового регулятора запропонованим методом і традиційним аналітичним методом. Виявлено, що при однакових параметрах налаштування регуляторів швидкості, якість керування в системі з дискретним регулятором суттєво залежить від періоду квантування (Sample Time).
- Згенеровано за допомогою Simulink PLC Coder вихідний код в структурованому текстовому форматі, а далі використано інтегровану середу розробки (IDE) для компіляції коду і запуску його на програмованому логічному контролері.
- Проведені дослідження показали, що використання пакету MATLAB та запропонованого алгоритму спрощує процес розрахунку параметрів цифрових регуляторів асинхронного електропривода, зменшує трудомісткість і скорочує час синтезу. Разом з тим запропонований алгоритм є універсальним і дозволяє досить просто здійснити синтез цифрових регуляторів для систем з об'єктами керування різної природи. Роботу асинхронного електропривода з цифровим регулятором перевірено шляхом математичного моделювання, а запропонований алгоритм синтезу рекомендовано до практичного використання під час курсового та дипломного проектування, в інженерній практиці.