

# **Дослідження системи керування електроприводом постійного струму з різними умовами налаштування контурів**

Виконав: студент групи ЕПА-16м Нич Б.Ю.

## Мета і задачі дослідження

**Метою роботи** є дослідження впливу параметрів налагодження контурів системи керування електроприводом постійного струму підпорядкованого керування на якість, стійкість та динаміку електроприводу.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **задачі**:

- 1) здійснити аналіз структур електроприводів постійного струму та методів оптимізації його контурів;
- 2) представити математичний опис електропривода як об'єкта управління та здійснити розрахунок його параметрів;
- 3) дослідити стійкість та якість системи електроприводу в статичному режимі при різних параметрах налагодження контурів регулювання;
- 4) дослідити динаміку електроприводу при різних параметрах налагодження контурів регулювання.

*Розв'язанню поставлених задач присвячена дана робота.*

## **Об'єкт, предмет та методи дослідження**

**Об'єктом** дослідження в роботі є процеси зміни поведінки електроприводу постійного струму при різних параметрах налагодження контурів регулювання.

**Предметом** дослідження є математичні моделі контурів регулювання електропривода постійного струму.

**Методи дослідження.** Для вирішення і аналізу поставлених задач використані методи: теорія автоматичного керування, теорія систем керування електроприводами, математичне моделювання.

## Класифікація способів побудови систем електроприводів постійного струму за способом виконання регуляторів

Структури ЕП постійного струму

системи зі спільним суматором

системи з модальним керуванням

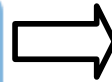
системи зі спостерігачами стану

системи підпорядкованого регулювання координат

системи з паралельним вмиканням регуляторів

системи на основі концепції зворотних задач динаміки

системи з fuzzy-регуляторами



Системи підпорядкованого регулювання координат

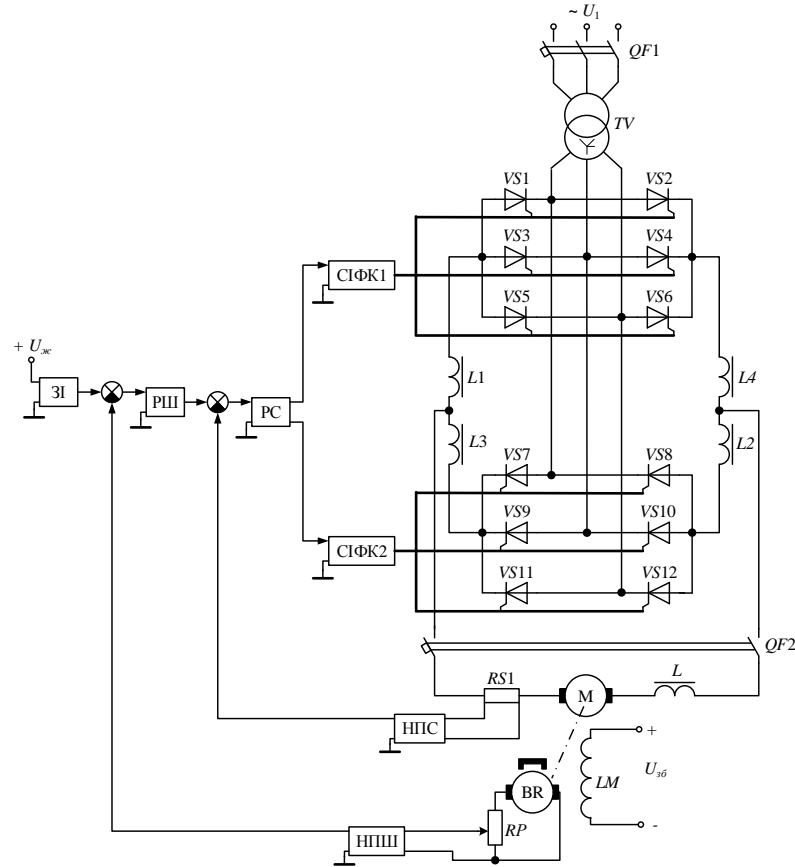
класичні системи

комбіновані системи

системи зі змінною структурою

системи з диференціальною корекцією

системи з селективним регулюванням



Лист №	Підпис та дата	На зам. шиф.	На зам. шиф.	Підпис та дата

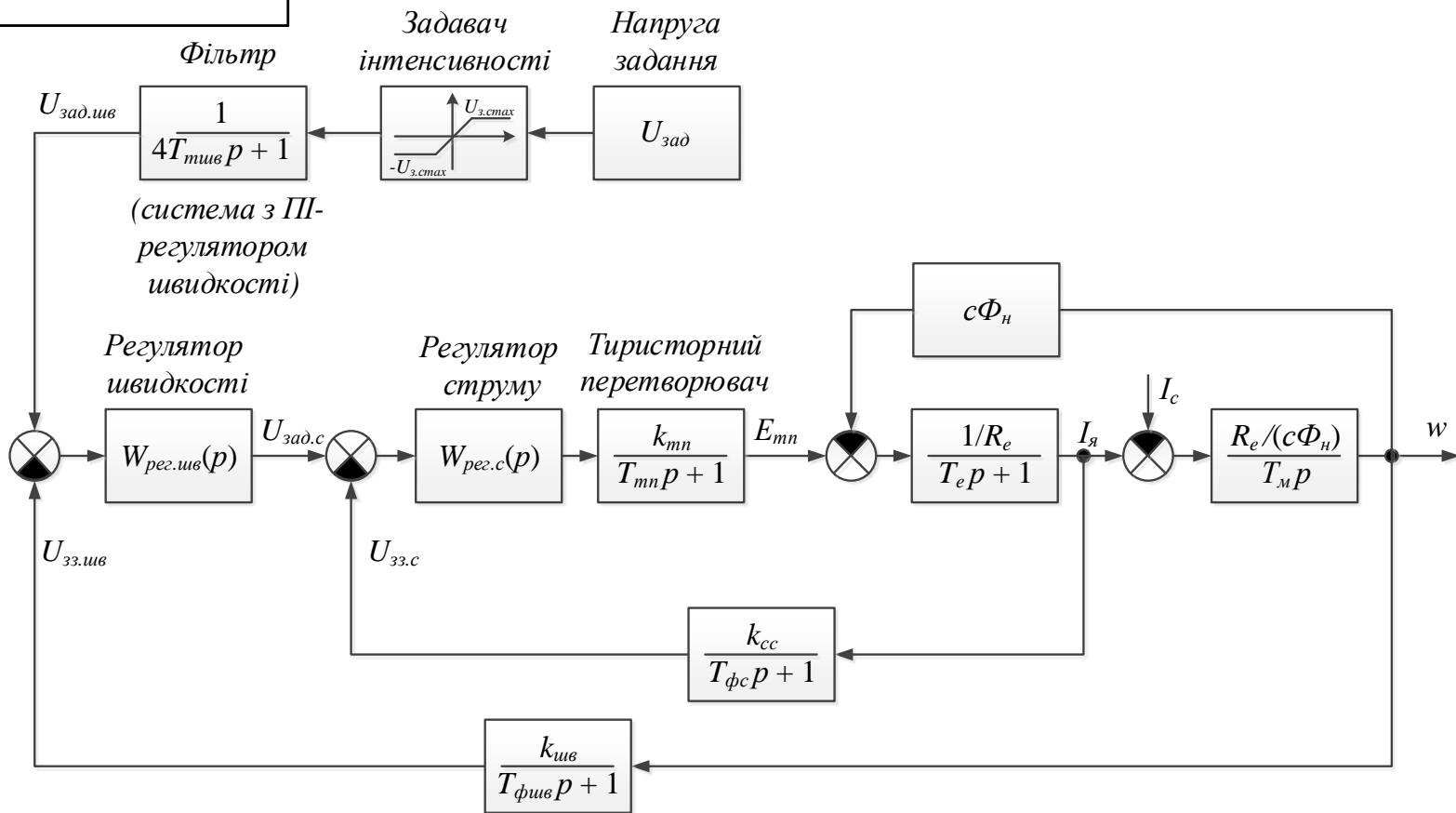
Зм.	Арх.	№ докумен.	Підпис	Дата
Розробив:	Нин Б.Ю.			
Перевірив:	Резоводж М.П.			
Т. контр.				
Норм.кон.				
Затверд.	Бугиш В.М.			

08-16.МКР.005.00.000 Е2

Дослідження системи керування електроприводом постійного струму з різними умовами налаштування контурів.  
Функціональна схема електропривода типу ПП-Д

Літ.	Маса	Масштаб
у		
Аркуш 1	Аркушів 1	

ВНТУ, гр. ЕПА-16м



Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Дослідження системи керування електроприводом постійного струму з різними умовами налаштування контурів. Структурна схема електропривода системи ТП-Д	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Нич Б.Ю.				y		
Перевірив:		Розводюк М.П.						
Т. контр.						Аркуш 1	Аркушів 1	
Норм.кон.						ВНТУ, гр. ЕПА-16м		
Затверд.		Кутін В.М.						

Інв. №	
Підпис та дата	
На зам. інв.	
На зам. інв.	
Підпис та дата	

## Узагальнені результати настройки контурів регулювання

Контур	Мала постійна часу контуру	Оптимум	Регулятор		Розрахункові вирази	
			Тип	Передавальна функція	Коефіцієнт підсилення, постійна часу регулятора	Коефіцієнт зворотного зв'язку контуру
струму	$T_{\mu c} = T_{mn} + T_{\phi c}$	МО	ПІ	$k_{рег.с} + \frac{1}{T_{рег.с}P}$	$k_{рег.с} = \frac{T_e R_e}{2T_{\mu c} k_{mn} k_{cc}}$ $T_{рег.с} = \frac{T_e}{k_{рег.с}}$	$k_{cc} = k_{ш} k_{n.сc}$
ШВИДКОСТІ	$T_{\mu шв} = 2T_{\mu c} + T_{\phi c}$	МО	П	$k_{рег.шв}$	$k_{рег.шв} = \frac{k_{cc} J}{2T_{\mu шв} k_{шв} \cdot c \Phi_n}$	$k_{шв} = k_{тг} k_{д.тг} k_{нтг}$
		СО	ПІ	$k_{рег.шв} + \frac{k_{рег.шв}}{4T_{\mu шв} P}$		

## Передавальні функції оптимізованих контурів

Кон-тур	Опти-мум	Регу-лятор	Передавальна функція контуру	
			розімкненого	замкненого
стру-му	МО	ІІІ	$\left( k_{рег.с} + \frac{1}{T_{рег.с}p} \right) \cdot \left( \frac{k_{mn}k_{cc}}{T_{\mu c}p + 1} \cdot \frac{1/R_e}{T_e p + 1} \right)$	$\frac{1/k_{cc}}{2T_{\mu c}^2 p^2 + 2T_{\mu c} p + 1}$
ШВИД-кості	МО	ІІ	$k_{рег.шв} \cdot \frac{1/k_{cc}}{T_{\mu шв} p + 1} \cdot \frac{с\Phi_n}{Jp} \cdot k_{шв}$	$\frac{1/k_{шв}}{2T_{\mu шв}^2 p^2 + 2T_{\mu шв} p + 1}$
	СО	ІІІ	$k_{рег.шв} \cdot \frac{4T_{\mu шв} p + 1}{4T_{\mu шв} p} \cdot \frac{1}{k_c} \cdot \frac{1}{T_{\mu шв} p + 1} \cdot \frac{с\Phi_n}{Jp} \cdot k_{шв}$	$\frac{(4T_{\mu шв} p + 1) \cdot 1/k_{шв}}{8T_{\mu шв}^2 p^2 \cdot (T_{\mu шв} p + 1) + 4T_{\mu шв} p + 1}$

Оптимізовані параметри:

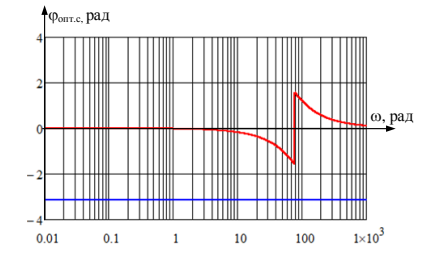
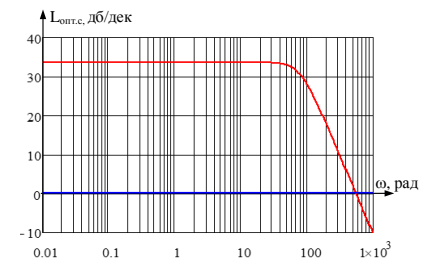
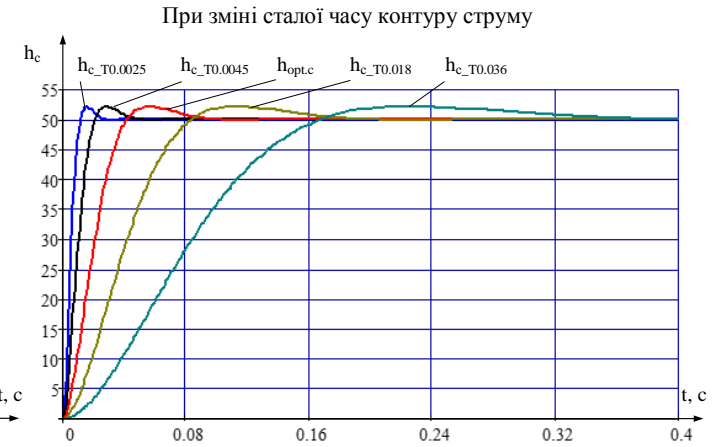
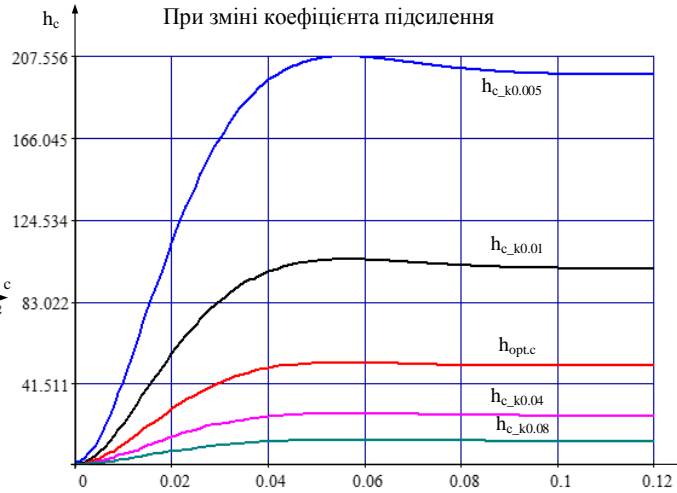
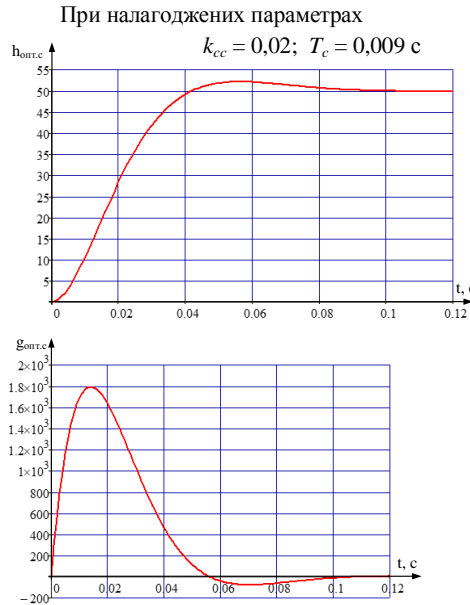
$$k_{cc} = 0,02; \quad T_c = 0,009 \text{ с}$$

$$k_{шв} = 0,06; \quad T_{шв} = 0,019 \text{ с}$$



# Дослідження стійкості та якості системи електроприводу в статичному режимі

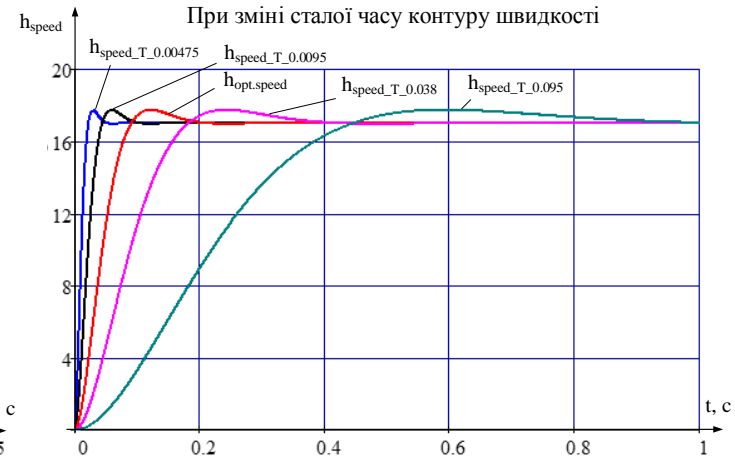
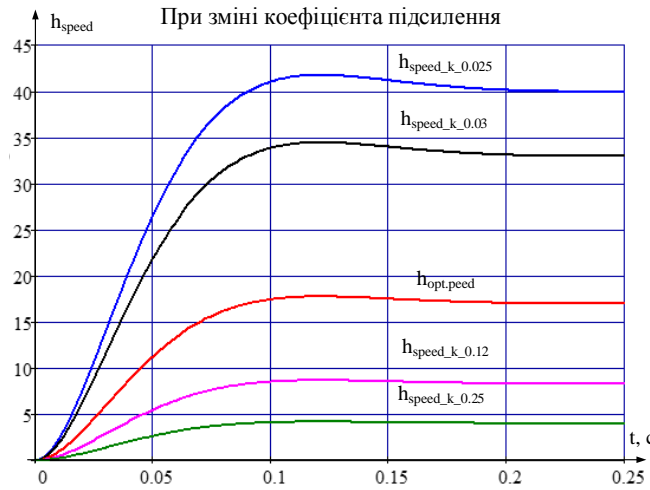
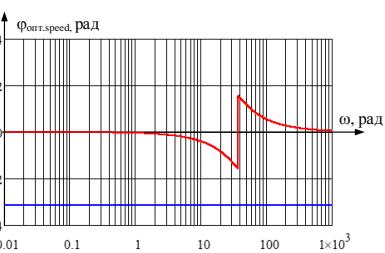
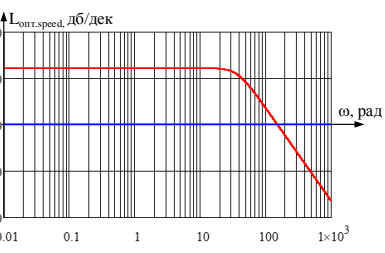
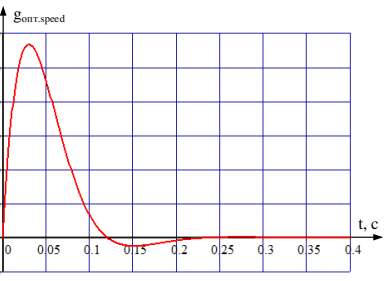
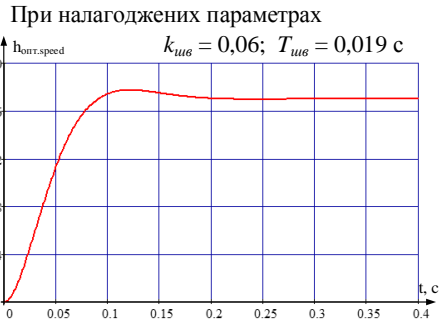
## Контур струму



$k_{cc}$	$T_{\mu c}$ , с	$h_{max}$	$h_{уст}$	$t_{im}$ , с	$t_{ny}$ , с	$\sigma$ , %	$\omega_{sp}$ , рад	$\omega_{кр}$ , рад	$\Delta L$ , дБ/дек	$\Delta \phi$ , рад
$k_{cc} = \text{var}$ та $T_{\mu c} = T_{\mu c, \text{opt}} = 0,09$ с										
0,005	0,09	207,56	198,68	0,106	0,042	4,49	1115	$\infty$	$\infty$	3,04
0,01	0,09	104,32	99,84	0,106	0,042	4,49	780,8	$\infty$	$\infty$	2,99
0,02	0,09	52,16	49,92	0,106	0,042	4,49	562,9	$\infty$	$\infty$	2,95
0,04	0,09	26,08	24,96	0,106	0,042	4,49	385,5	$\infty$	$\infty$	2,85
0,08	0,09	12,52	11,98	0,106	0,042	4,49	274,9	$\infty$	$\infty$	2,72
$k_{cc} = k_{cc, \text{opt}} = 0,02$ та $T_{\mu c} = \text{var}$										
0,02	0,0025	52,16	50	0,027	0,012	4,32	2000	$\infty$	$\infty$	2,95
0,02	0,0045	52,16	50	0,049	0,021	4,32	1115	$\infty$	$\infty$	2,95
0,02	0,018	52,16	50	0,196	0,084	4,32	274,9	$\infty$	$\infty$	2,95
0,02	0,036	52,16	49,94	0,415	0,168	4,46	138,6	$\infty$	$\infty$	2,94

## Дослідження стійкості та якості системи електроприводу в статичному режимі

### Контур швидкості, оптимізований на модульний критерій

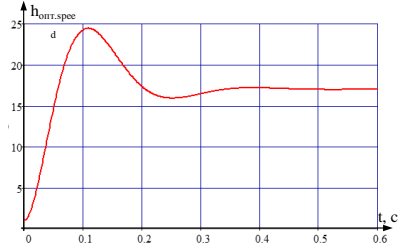


$k_{шв}$	$T_{шв}, \text{с}$	$h_{max}$	$h_{уст}$	$t_{ms}, \text{с}$	$t_{ny}, \text{с}$	$\sigma, \%$	$\omega_{sp}, \text{рад}$	$\omega_{kp}, \text{рад}$	$\Delta L, \text{дБ/дек}$	$\Delta\phi, \text{рад}$
$k_{шв} = \text{var}$ та $T_{шв} = T_{шв, opt} = 0,019 \text{ с}$										
0,025	0,019	44,73	40	0,21	0,08	4,32	562,9	$\infty$	$\infty$	2,95
0,03	0,019	34,43	33	0,21	0,09	4,32	217,2	$\infty$	$\infty$	2,9
0,06	0,019	17,74	17	0,21	0,09	4,32	151,95	$\infty$	$\infty$	2,79
0,12	0,019	8,66	8,3	0,21	0,08	4,32	107,8	$\infty$	$\infty$	2,64
0,25	0,019	4,2	4	0,21	0,08	4,32	73,3	$\infty$	$\infty$	2,37
$k_{шв} = k_{шв, opt} = 0,06$ та $T_{шв} = \text{var}$										
0,06	0,00475	17,73	17	0,052	0,022	4,32	615	$\infty$	$\infty$	2,8
0,06	0,0095	17,73	17	0,104	0,044	4,32	303,9	$\infty$	$\infty$	2,79
0,06	0,038	17,74	17	0,42	0,18	4,32	76,7	$\infty$	$\infty$	2,79
0,06	0,095	17,74	17	1,05	0,45	4,18	30,4	$\infty$	$\infty$	2,79

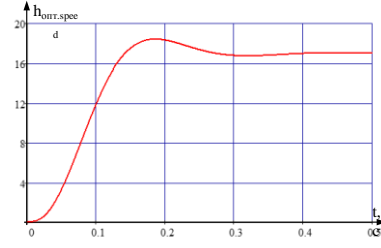
## Дослідження стійкості та якості системи електроприводу в статичному режимі

### Контур швидкості, оптимізований на симетричний критерій

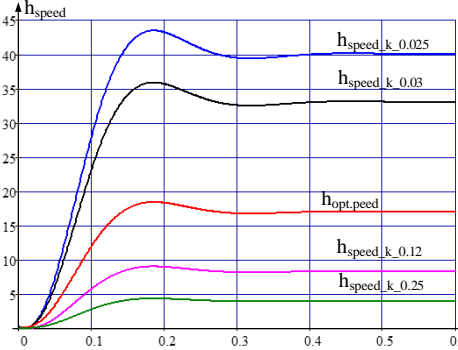
При налагоджених параметрах без фільтра на вході



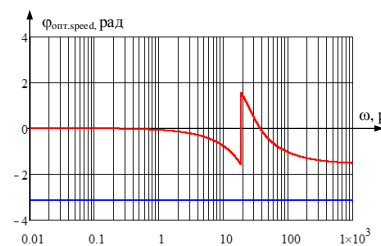
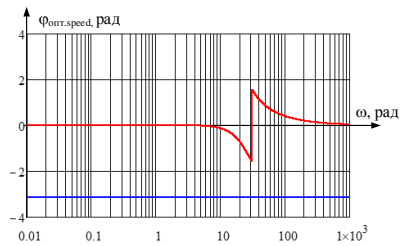
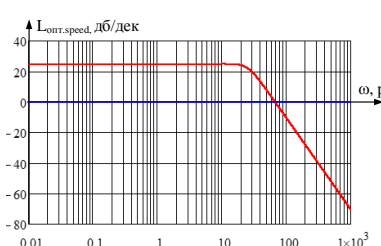
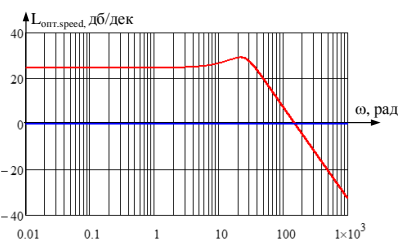
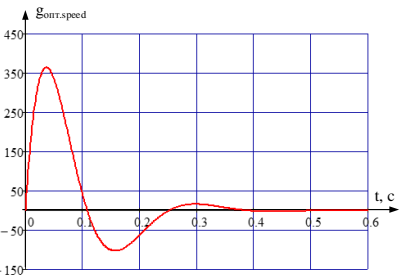
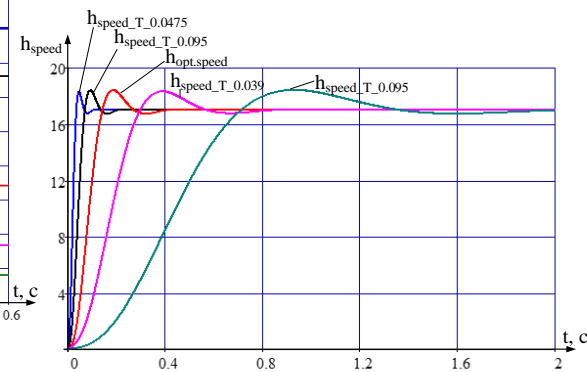
При налагоджених параметрах з фільтром на вході



При зміні коефіцієнта підсилення

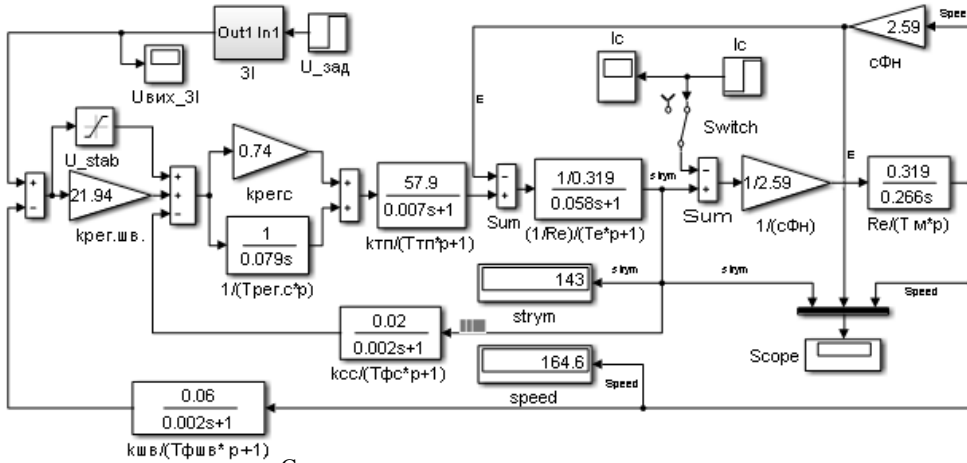


При зміні сталої часу контуру швидкості

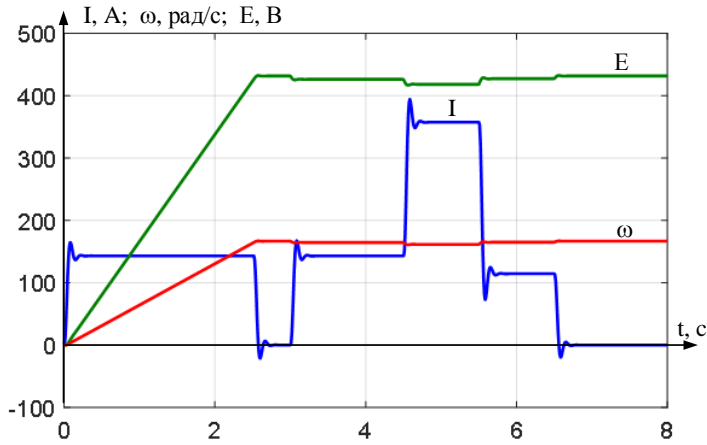
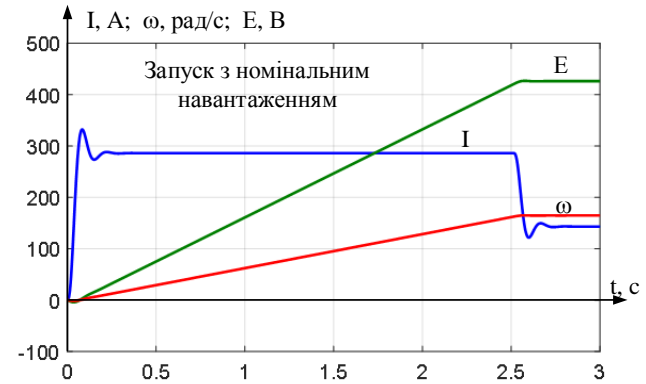
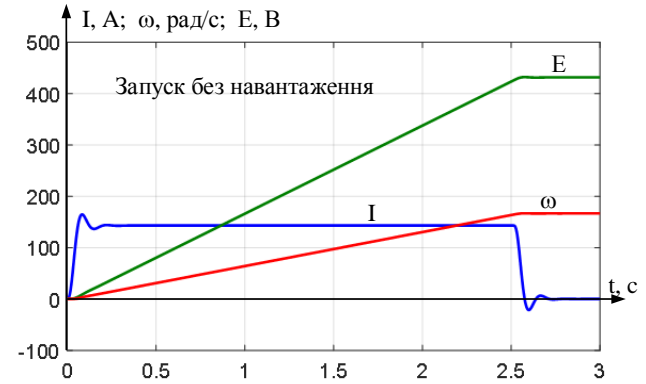


$k_{ш}$	$T_{дшв}, c$	$h_{max}$	$h_{уст}$	$t_{ms}, c$	$t_{ny}, c$	$\sigma, \%$	$\omega_{зр}, рад$	$\omega_{кр}, рад$	$\Delta L_s, дБ/дек$	$\Delta \varphi, рад$
без фільтра										
0,06	0,019	24,4	17	0,34	0,058	43,79	153,81	$\infty$	$\infty$	2,88
з фільтром										
$k_{шв} = var$ та $T_{дшв} = T_{дшв.опт} = 0,019 c$										
0,025	0,019	43,44	40	0,409	0,14	8,59	89,81	$\infty$	$\infty$	4,13
0,03	0,019	35,86	33	0,409	0,14	8,67	84,1	$\infty$	$\infty$	4,08
0,06	0,019	18,42	17	0,409	0,14	8,34	67,45	$\infty$	$\infty$	3,92
0,12	0,019	9	8,3	0,409	0,14	8,7	53	$\infty$	$\infty$	3,66
0,25	0,019	4,35	4	0,409	0,14	8,7	41,16	$\infty$	$\infty$	3,3
$k_{шв} = k_{шв.опт} = 0,06$ та $T_{дшв} = var$										
0,06	0,00475	18,31	17	0,07	0,036	7,88	269,4	$\infty$	$\infty$	3,91
0,06	0,0095	18,4	17	0,2	0,07	8,34	133,3	$\infty$	$\infty$	3,89
0,06	0,039	18,32	17,03	0,91	0,3	7,55	32,6	$\infty$	$\infty$	3,9
0,06	0,095	18,42	17,03	2,12	0,71	8,18	13,3	$\infty$	$\infty$	3,89

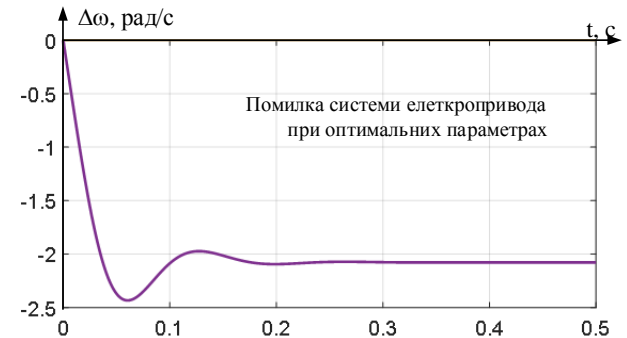
# Схема та результати моделювання при оптимізації контуру швидкості на модульний критерій



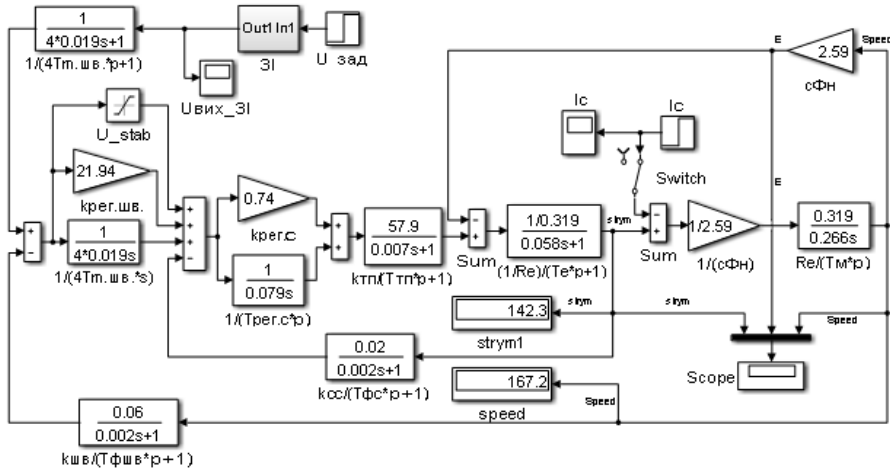
Структурна схеми система електропривода при оптимізації контуру швидкості на модульний критерій в середовищі Simulink (Matlab)



Запуск без навантаження з подальшим його накидом та скидом

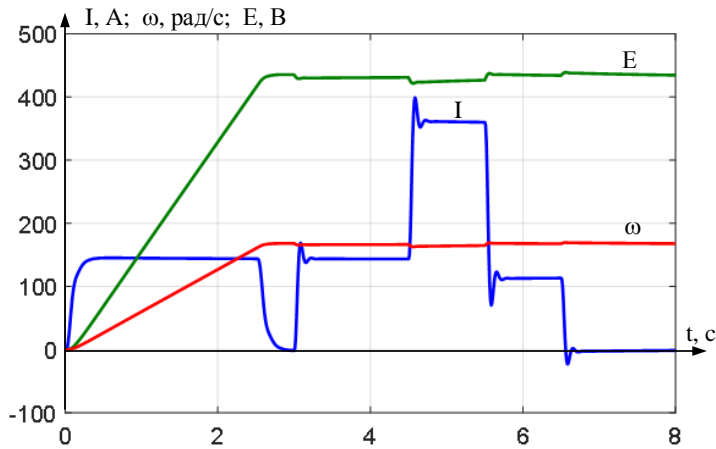
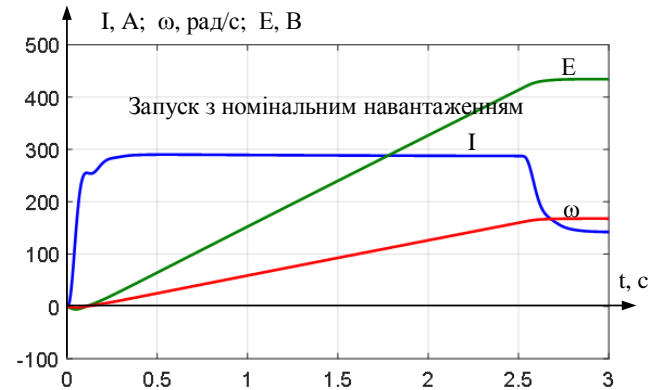
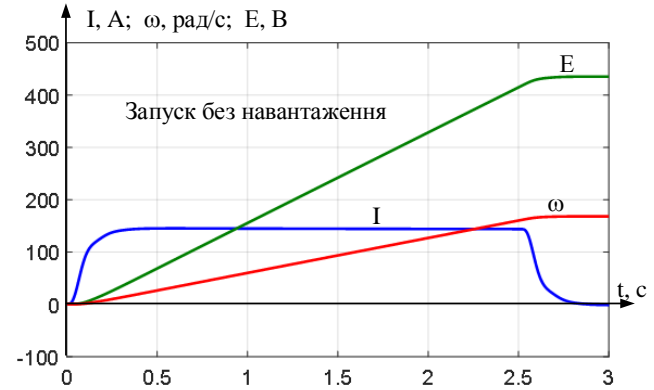


# Схема та результати моделювання при оптимізації контуру швидкості на симетричний критерій

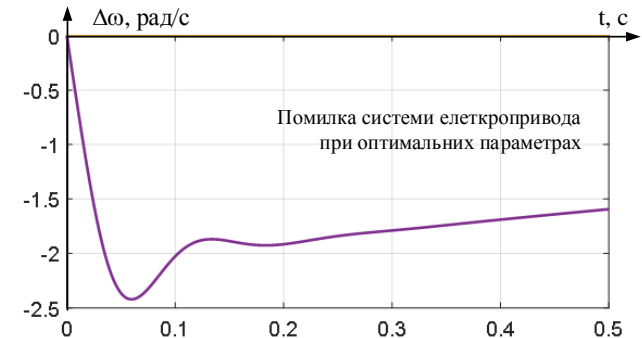


Структурна схема система електропривода

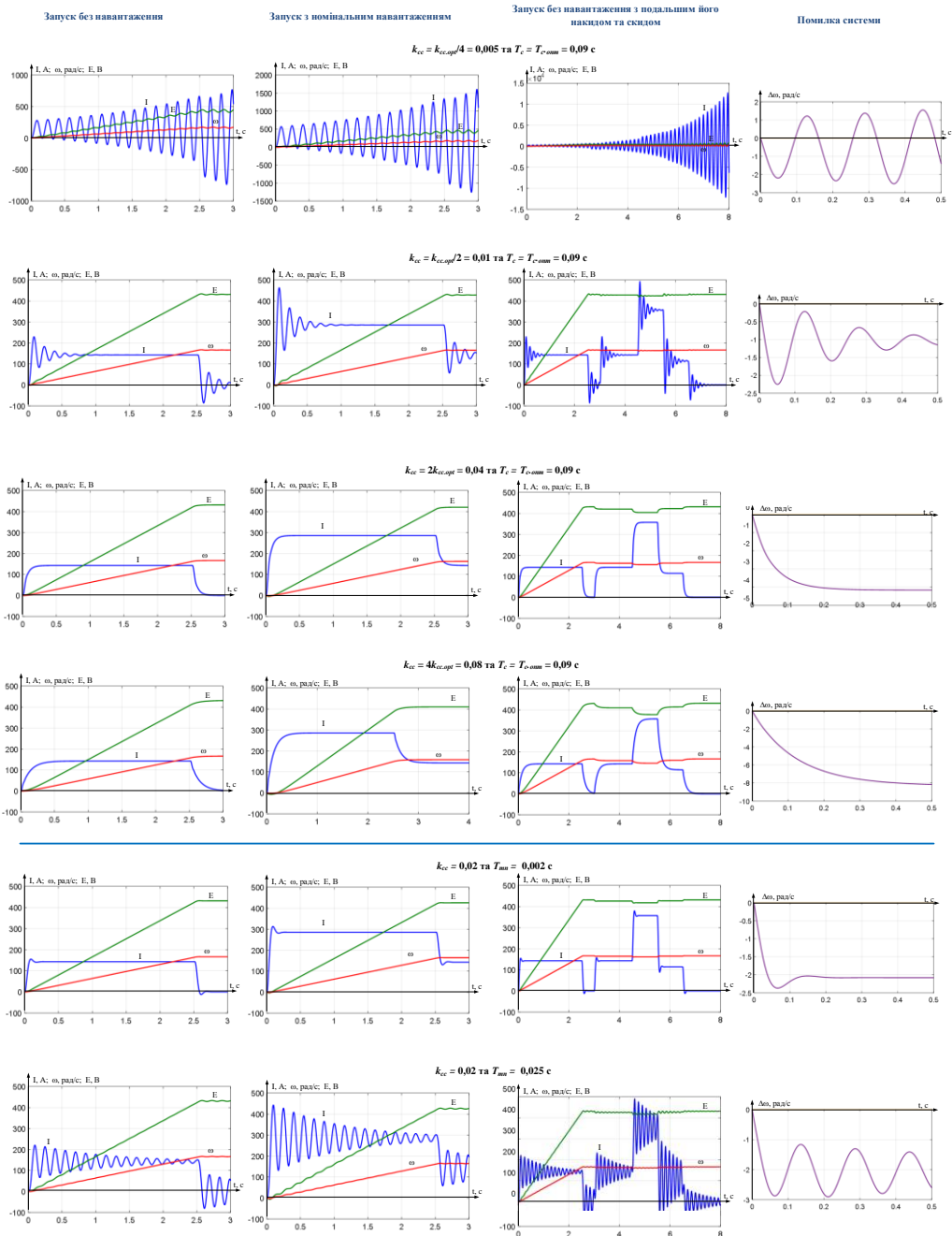
при оптимізації контуру швидкості на симетричний критерій в середовищі Simulink (Matlab)



Запуск без навантаження з подальшим його накидом та скидом



**Дослідження системи електроприводу при неоптимізованих параметрах  
за умови налагодження контуру швидкості на модульний критерій.  
Неоптимальні параметри контуру струму та оптимальні параметри контуру швидкості**



# Дослідження системи електроприводу при неоптимізованих параметрах за умови налагодження контуру швидкості на модульний критерій.

## Неоптимальні параметри контуру швидкості та оптимальні параметри контуру струму

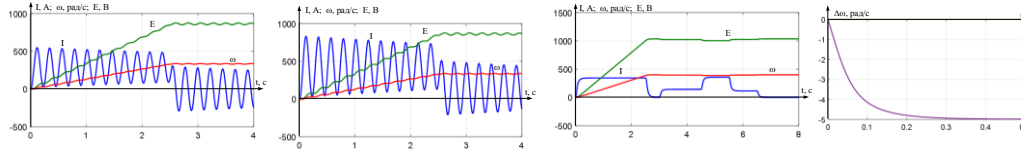
Запуск без навантаження

Запуск з номінальним навантаженням

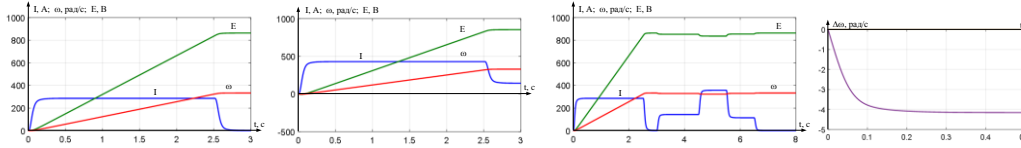
Запуск без навантаження з подальшим його навідом та скидом

Помилка системи

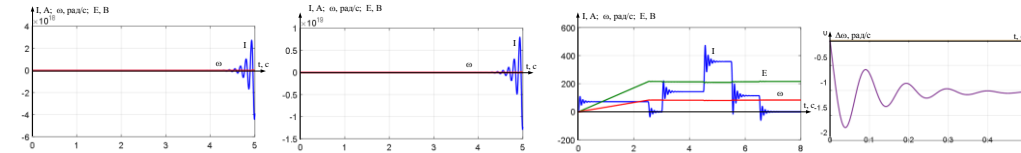
$$k_{int} = 0,025 \text{ та } T_{int} = T_{инт.ом} = 0,019 \text{ с}$$



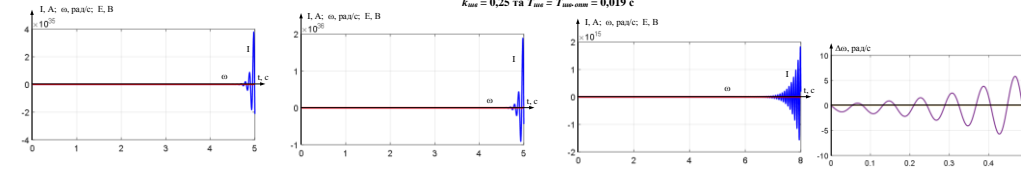
$$k_{int} = 0,03 \text{ та } T_{int} = T_{инт.ом} = 0,019 \text{ с}$$



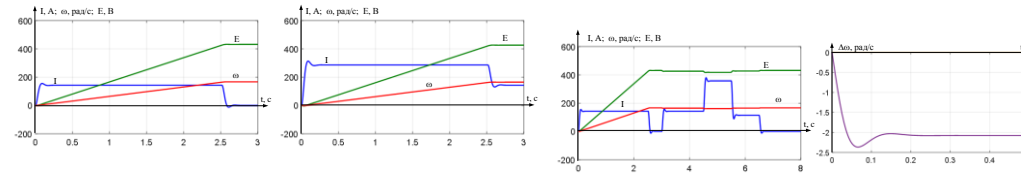
$$k_{int} = 0,12 \text{ та } T_{int} = T_{инт.ом} = 0,019 \text{ с}$$



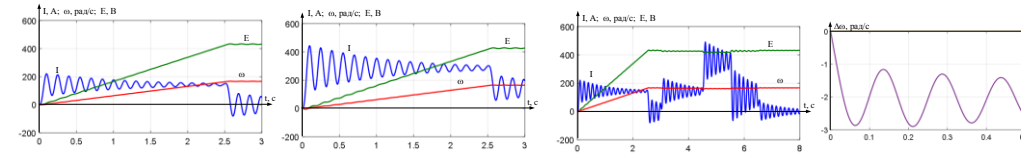
$$k_{int} = 0,25 \text{ та } T_{int} = T_{инт.ом} = 0,019 \text{ с}$$



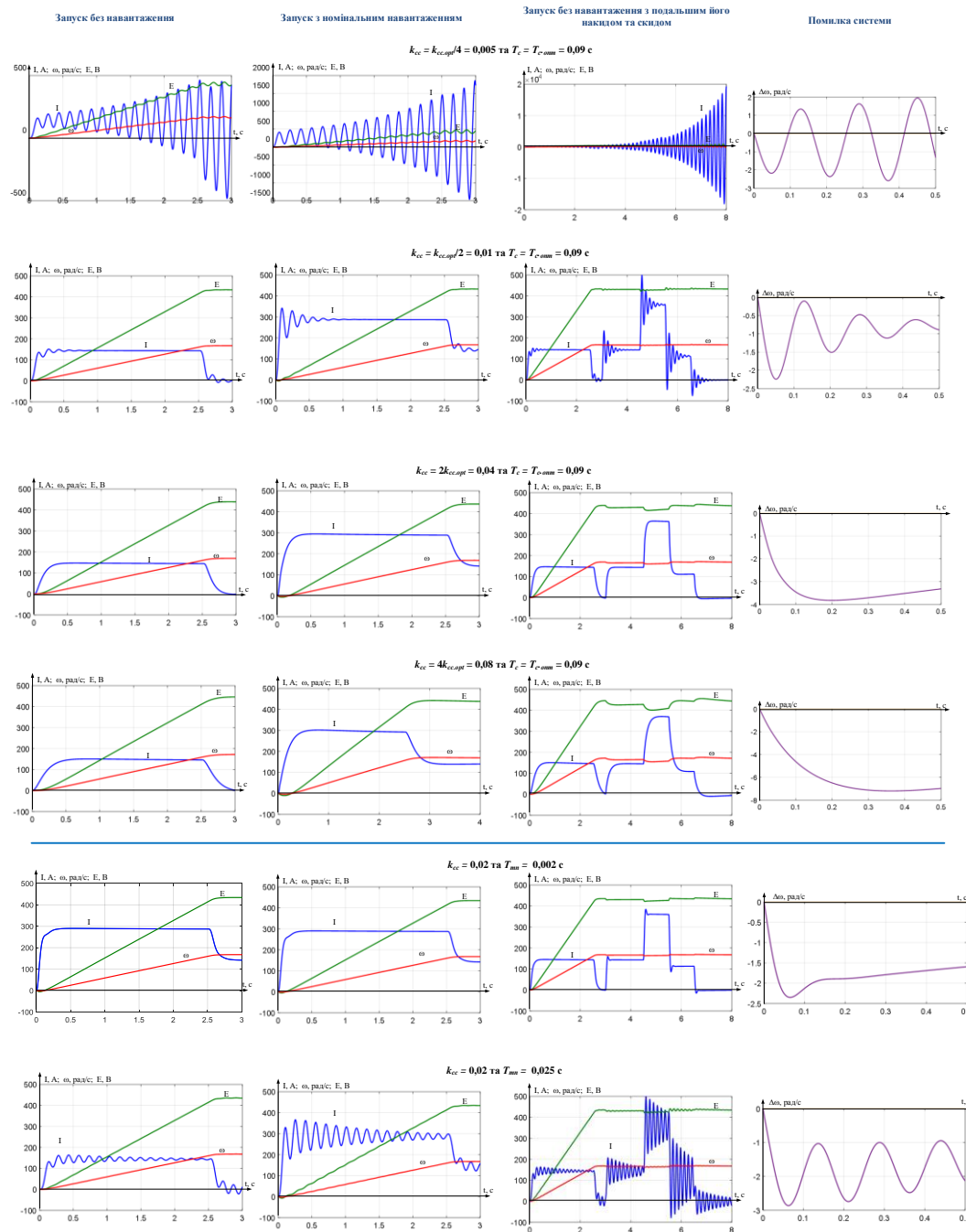
$$k_{int} = k_{инт.ом} = 0,06 \text{ та } T_{int} = 0,002 \text{ с}$$



$$k_{int} = k_{инт.ом} = 0,06 \text{ та } T_{int} = 0,025 \text{ с}$$

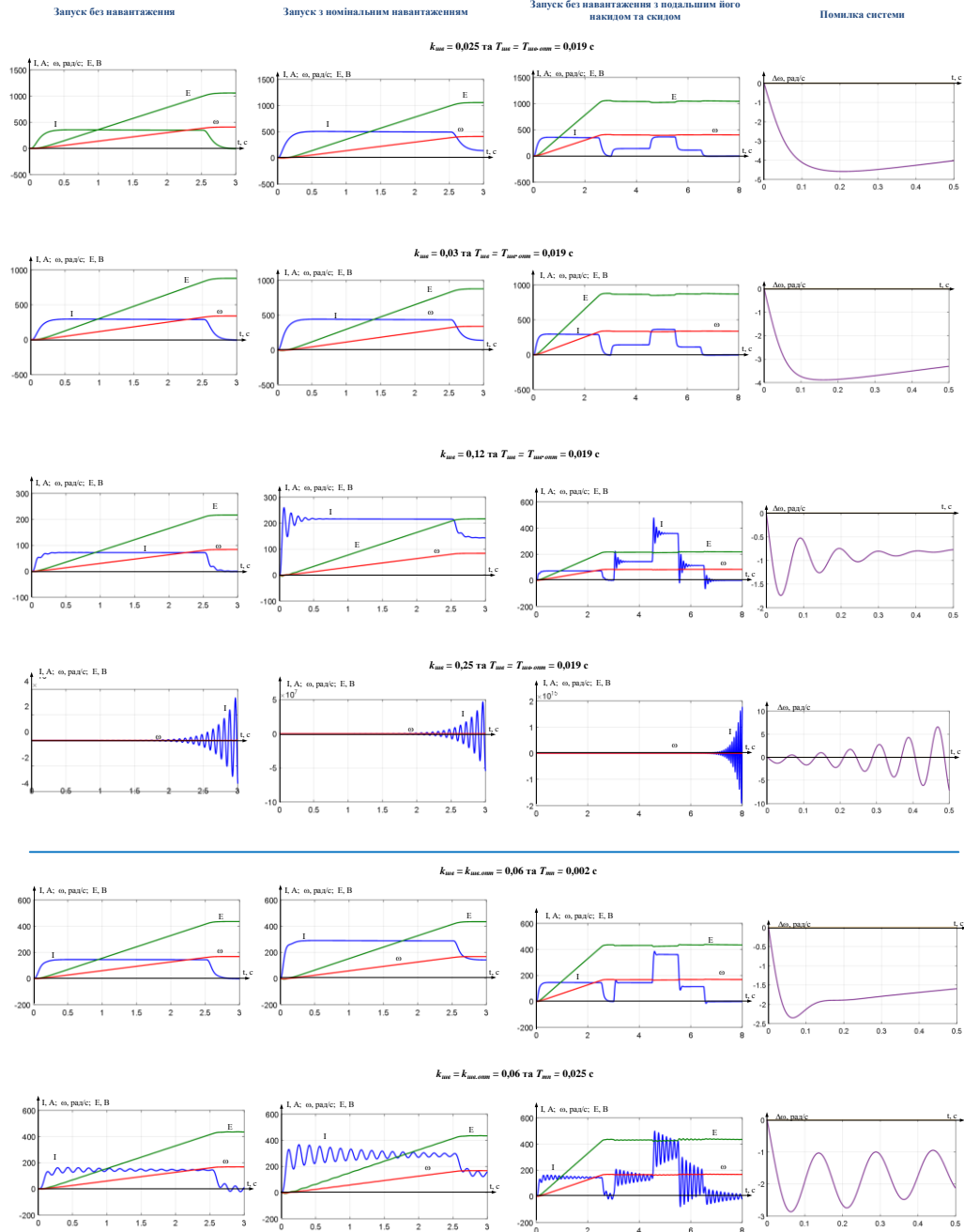


**Дослідження системи електроприводу при оптимізованих параметрах  
за умови налагодження контуру швидкості на симетричний критерій з фільтром на вході.  
Неоптимальні параметри контуру струму та оптимальні параметри контуру швидкості**





**Дослідження системи електроприводу при неоптимізованих параметрах  
за умови налагодження контуру швидкості на симетричний критерій.  
Неоптимальні параметри контуру швидкості та оптимальні параметри контуру струму**



# **Наукова новизна та практичне значення одержаних результатів**

**Наукова новизна одержаних результатів.** У роботі отримано такий новий науковий результат:

– досліджено вплив параметрів налагодження контурів регулювання електроприводом постійного струму підпорядкованого регулювання на його статику та динаміку, що дозволяє здійснювати оптимальний вибір їх налаштування для забезпечення якісних процесів.

**Практичне значення одержаних результатів.** Використання одержаних результатів дозволить підвищити точність та якість керування електроприводом постійного струму підпорядкованого регулювання, що забезпечить можливість зменшення споживання електроенергії.

**Дякую за увагу!**

**Доповідь завершено.**