

ВПЛИВ ЗАКОНУ РЕГУЛЮВАННЯ НА ДІАПАЗОН КЕРУВАННЯ

Д.Ю. Шарейко, кандидат технічних наук, доцент

І.Ю. Гріднєв, магістр

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова

У статті наведено аналіз двоконтурної системи підпорядкованого регулювання електроприводом постійного струму з метою отримання аналітичної залежності між діапазоном керування електропривода і типом регуляторів, які в ньому застосовані. Проведено чисельний експеримент з дослідження динамічних характеристик електропривода з різними регуляторами.

Ключові слова: електропривод, діапазон керування, спад швидкості, настройка регуляторів.

Актуальність проблеми. Застосування різних регуляторів в електроприводах (ЕП), з одного боку, примушує систему керування відповідати показникам якості, що наведені в початкових даних для синтезу, з другого боку – може впливати на погіршення жорсткості характеристик ЕП на зазначеному діапазоні керування. Як правило, ці задачі розглядаються окремо, але у сучасних системах із застосуванням комплексних електроприводів (КЕП) необхідно розглядати їх у комплексі з урахуванням умов технологічного процесу.

Метою нашого дослідження є визначення аналітичної залежності, яка б зв'язувала діапазон керування ЕП з типами регуляторів, що там встановлюються.

Результати дослідження. Дослідження проведено на прикладі електропривода постійного струму, що побудований за принципом двоконтурного підпорядкованого регулювання обертами вала двигуна постійного струму (ДПС) за допомогою зміни напруги його живлення тиристорним перетворювачем (ТП) (рис. 1). Для аналізу діапазону керування розглянемо математичну модель системи ТП – ДПС (рис. 2).

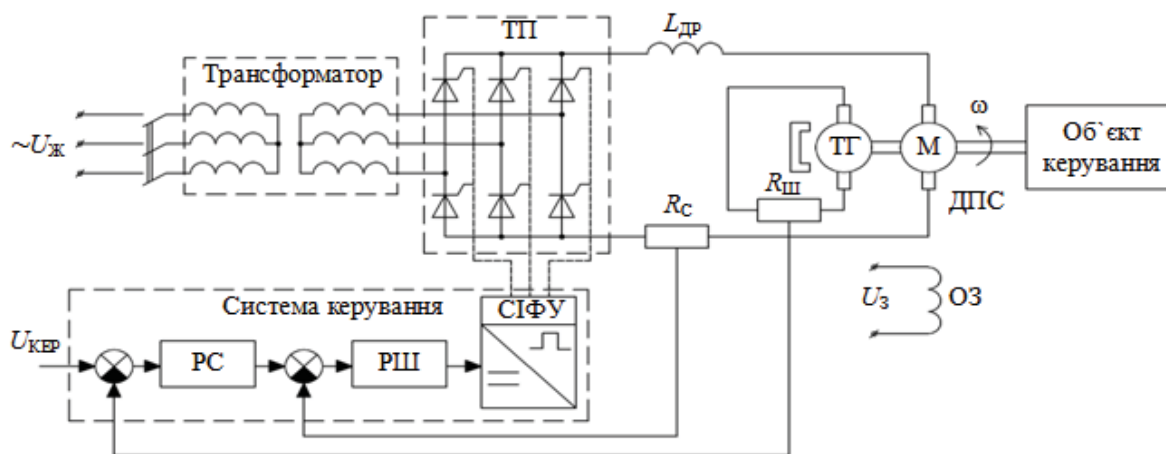


Рис. 1. Система підпорядкованого регулювання ТП — ДПС

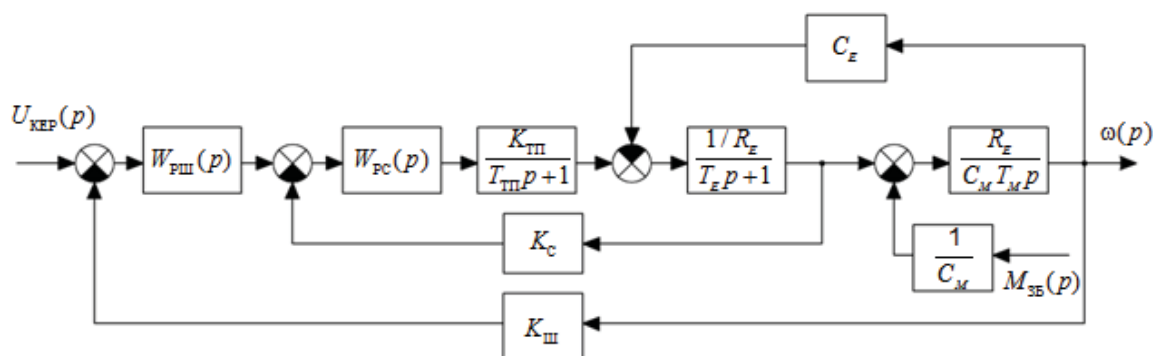


Рис. 2. Математична модель системи ТП - ДПС

Як відомо з [1], діапазон керування привода визначається як номінальна швидкість (для однозонного регулювання) чи максимальна (для двозонного) віднесена до мінімальної, яку може підтримувати привод за умови навантаження номінальним моментом, тобто $D\omega_n / \omega_{\min}$. Відносна точність регулювання швидкості визначається через відносну похибку регулювання $\delta = \Delta \omega_{с.з} \cdot 100\% / \omega_{\min}$. Звідки діапазон можна представити як:

$$D = \frac{\delta}{100} \frac{\omega_n}{\Delta \omega_{с.з}} \quad (1)$$

де $\Delta \omega_{с.з}$ – статичний спад швидкості замкненої системи, що залежить від параметрів привода та його системи керування.

Встановимо залежність діапазону керування від параметрів регуляторів системи за рахунок визначення $\Delta \omega_{с.з}$ через параметри привода. Для цього розглянемо передаточну функ-

цію системи керування (рис. 2) за збуренням $W_{зБ}(p)$, звідки визначимо $\Delta\omega_{с.з}$ в динаміці як:

$$\Delta\omega_{с.з}(p) = \Delta M_{зБ}(p)W_{зБ}(p). \quad (2)$$

Спад швидкості розімкненої системи:

$$\Delta\omega_p(p) = \frac{\Delta M_{зБ}(p)R_E}{C_M^2}. \quad (3)$$

Отже, з виразів (2) та (3) видно, що в статиці (оператор Лапласа $p = 0$, тобто $t \rightarrow \infty$) матиме вид:

$$\Delta\omega_{с.з} = \Delta\omega_p \frac{C_M^2}{R_E} W_{зБ}(0). \quad (4)$$

Таким чином, діапазон керування визначатиметься з (1) та (4) як:

$$D = \frac{\delta \omega_H}{100 \Delta\omega_p} \frac{R_E}{C_M^2 W_{зБ}(0)}. \quad (5)$$

Тоді результуючий вираз для діапазону отримаємо з (5) розписавши $W_{зБ}(0)$ – з урахуванням передаточних функцій (ПФ) регуляторів:

$$D = \frac{\delta \omega_H}{100 \Delta\omega_p} \frac{R_E W_{рш}(0)}{C_M \left(K_C + \frac{R_E}{K_{тп} W_{рс}(0)} \right) \left(\frac{C_E}{K_{тп} W_{рш}(0) W_{рс}(0)} + \frac{1}{K_{ш}} \right)}. \quad (6)$$

де $W_{рс}(0)$, $W_{рш}(0)$ - ПФ регуляторів струму та швидкості при $p = 0$.

Проаналізуємо (6) для різних типів регуляторів системи (рис. 2).

П-регулятор швидкості та ІІІ-регулятор струму з такими ПФ:

$$W_{PC}(p) = \frac{T_{pc}p + 1}{T_{pic}p} ; W_{рш}(p) = K_{рш}. \quad (7)$$

У такому випадку діапазон керування системи визначимо, підставивши вирази (7) в (6):

$$D = \frac{\delta}{100} \frac{\omega_H}{\Delta \omega_P} \frac{R_E K_{III} K_{PIII}}{C_M K_C}. \quad (8)$$

Як видно з (8), його величина пропорційна коефіцієнту підсилення П-регулятора швидкості. На рис. 3 можна бачити графіки статичного спаду швидкості при раптовому накиді навантаження за умови відсутності задаючого впливу для двигунів Lenze MGFQU різної потужності з П-регулятором швидкості, настроєним на технічний оптимум.

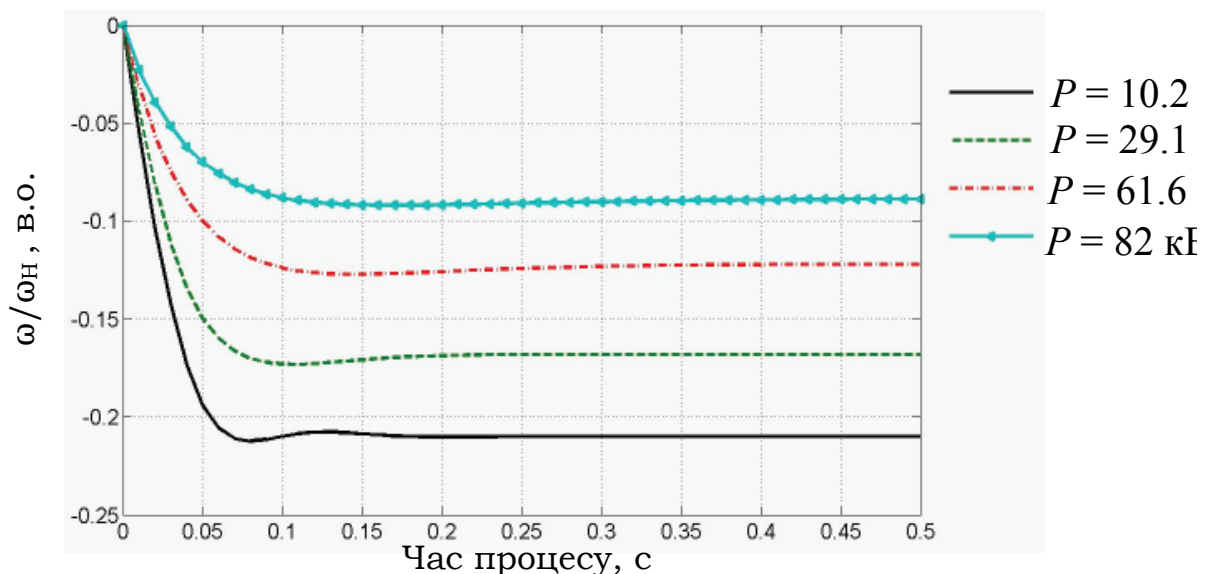


Рис. 3. Статичний спад швидкості при накиді навантаження

При настройці на технічний оптимум [2] K_{PIII} можна визначити як:

$$K_{PIII} = \frac{C_E T_M K_C}{a^2 T_{III} K_{III} R_E}. \quad (9)$$

Тобто діапазон виражатиметься з (8) при урахуванні (9):

$$D = \frac{\delta}{100} \frac{\omega_H}{\Delta \omega_p} \frac{T_M}{a^2 T_{III}}. \quad (10)$$

де a – коефіцієнт оптимізації (для технічного оптимуму $a = 2$).

Для аналізу виразу (10) було використано *Matlab*, де розглянуто систему для різних реальних параметрів двигунів та тиристорних перетворювачів, що випускаються промисловістю. При $a = 2$ та відносній похибці регулювання $d = 10\%$ діапазон не перевищує значення $D \leq 10$. За рахунок зміни коефіцієнта оптимізації a можна підвищити діапазон до приблизних значень у 40 – 50. Але при цьому суттєво погіршується динаміка системи, що приводить до збільшення перерегулювання до 60% та підвищення коливальності системи. Це приводить систему до границі стійкості, що робить неможливим використання такого підходу збільшення діапазону на практиці.

ПД-регулятор швидкості та ПІ-регулятор струму з такими ПФ:

$$W_{PC}(p) = \frac{T_{pc}p + 1}{T_{pic}p}; \quad W_{PII}(p) = K_{дш} (T_{дш}p + 1). \quad (11)$$

Діапазон керування системи визначимо з (6) та (11) як:

$$D = \frac{\delta}{100} \frac{\omega_H}{\Delta \omega_p} \frac{R_E K_{III} K_{дш}}{C_M K_C}. \quad (12)$$

Як і в попередньому випадку, збільшення коефіцієнту підсилення дозволяє збільшувати діапазон. Але різниця для ПД-регулятора полягає в тому, що за рахунок диференціюючої складової можна впливати на запас стійкості системи, а тому стає можливим збільшення підсилюючої складової в дещо більших межах у порівнянні з ПІ-регулятором (рис. 4).

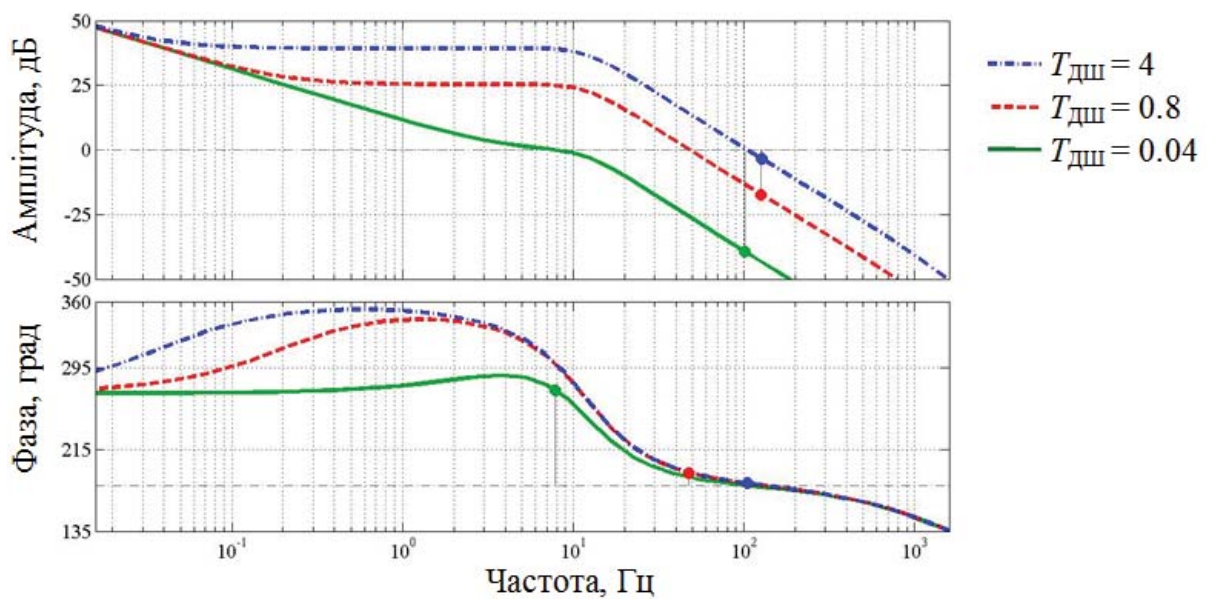


Рис. 4. Частотні характеристики з ПД-регулятором

За результатами чисельного експерименту для різних двигунів вдавалося збільшувати діапазон приблизно до 100 і при цьому мати перерегулювання 50 – 60% та підвищену коливальність. З практичної точки зору, такий підхід також не є задовільним, хоча і забезпечує певне збільшення діапазону.

ПІ-регулятор швидкості та ПІ-регулятор струму з такими ПФ:

$$W_{PC}(p) = \frac{T_{pc}p + 1}{T_{pic}p} ; W_{PI}(p) = \frac{T_{pi}p + 1}{T_{pi}p} . \quad (13)$$

У цьому випадку діапазон за виразом (6) та (13): $D \rightarrow \infty$. Ввід інтегралу до закону регулювання повністю знищує статичний спад швидкості [1], але при цьому не враховується динаміка системи (рис. 5).

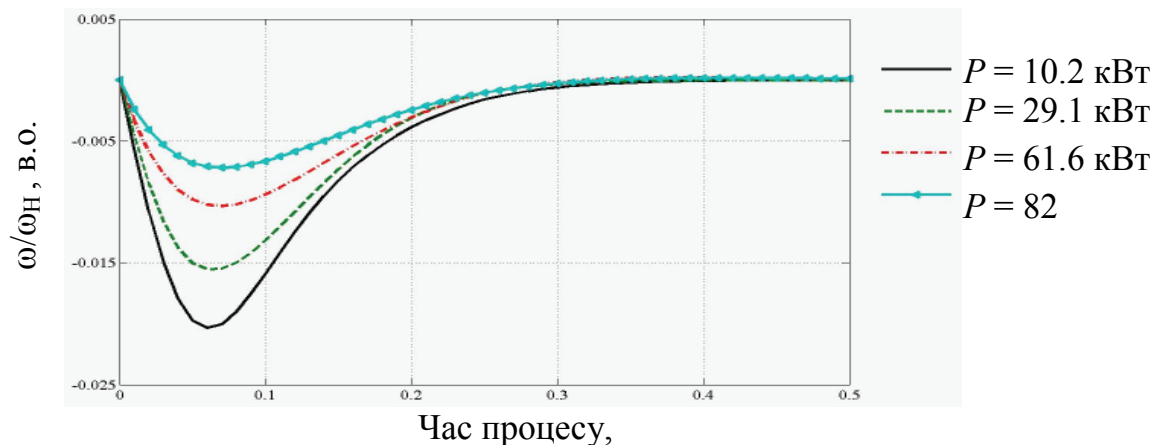


Рис. 5. Динамічне відпрацювання ПІ- регулятора

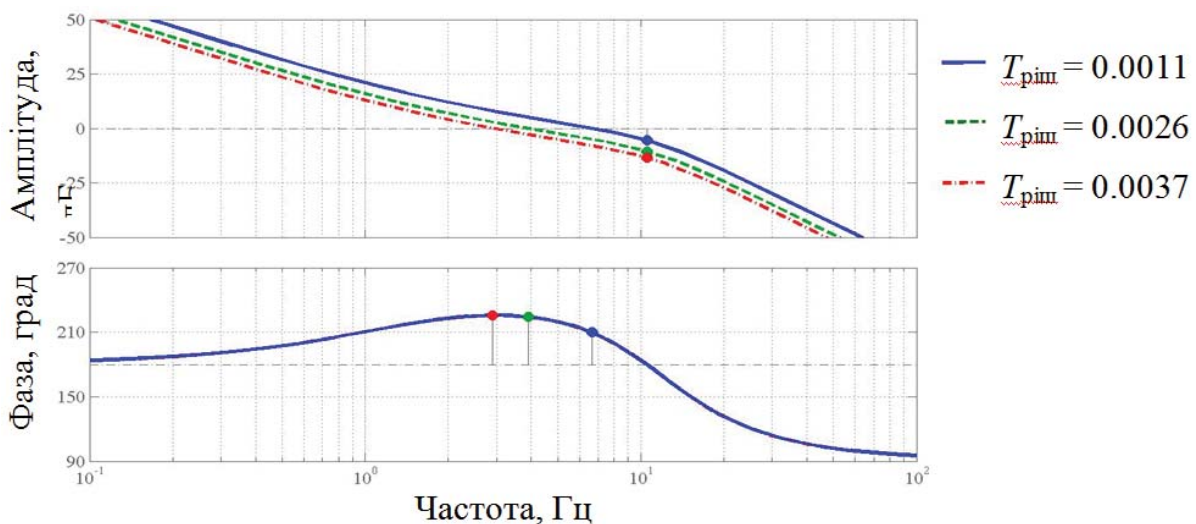


Рис. 6. Частотні характеристики з ПІ-регулятором

Завдяки чисельному експерименту у системі Matlab, для різних значень параметрів ПІ-регулятора було визначено, що зсув частоти зрізу праворуч суттєво покращує динамічне відпрацювання стрибку навантаження, а отже і збільшує діапазон регулювання. Слід зазначити, що при цьому зменшуються запаси за фазою та амплітудою, що знижує ступінь стійкості. За дослідними даними, при різних значеннях параметрів ПІ-регулятора діапазон регулювання можна отримати в межах 150.

ПІД-регулятор швидкості та ПІ-регулятор струму

Застосування ПІД регулятора дозволить істотно покращити результати, адже він поєднує переваги ПІ регулятора з відсутньою статичною похибкою та ПІД регулятора, що дозволяє корегувати запаси за фазою та амплітудою. На основі застосування можливостей інструментів Matlab, проведено чисельний експеримент для різних значень параметрів ПІД-регулятора. В моделі (рис. 2) було застосовано оптимізаційний блок Signal Constraint, що впроваджує чисельний метод розрахунку бажаних коефіцієнтів, які дозволяють отримувати перехідний процес з урахуванням бажаних границь. Роботу блоку, за умови відсутності задаючого впливу та при раптовому накиді навантаження у початковий момент часу (режим динамічного відпрацювання навантаження) для двигуна Lenze MGFQU 100-22 потужністю 10.2 кВт, представлено на рис. 7.

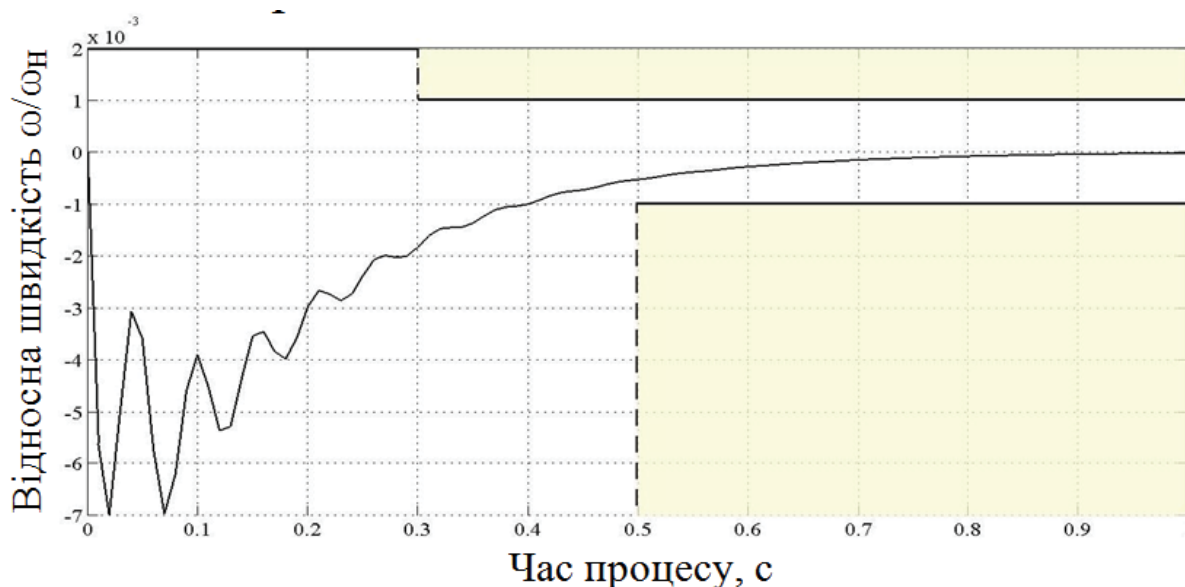


Рис. 7. Відпрацювання навантаження з ПІД-регулятором

Застосування такого підходу дозволяє знизити динамічний стрибок при навантаженні до значень, виражених у десятитисячних долях процента від номінальної швидкості. Це свідчить про діапазон у межах 10000, але при цьому як і раніше спостерігаються характерні проблеми зі стійкістю.

Висновки:

1) на підставі ЕП постійного стуму підпорядкованого регулювання отримано аналітичну залежність (6), яка зв'язує передаточні функції регуляторів і діапазон керування ЕП;

2) за допомогою аналітичної залежності (6) проведено чисельний експеримент, який свідчить, що глибоко регульований привод можна отримати за рахунок застосування ПІД регулятора, але залежно від вимог технологічного процесу до діапазону керування можна застосувати у кожному контурі ПІ, ПД, П регулятор.

Література:

1. Попович М. Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи / М. Г. Попович О. Ю., Лозинський, В. Б. Клепиков — К. : Либідь, 2005. — 680 с.
2. Автоматизированный электропривод промышленных установок / [Онищенко Г. Б., Аксенов М. И., Грехов В. П., и др.]; под ред. Г.Б. Онищенко. — М. : РАСХН, 2001. — 520 с.