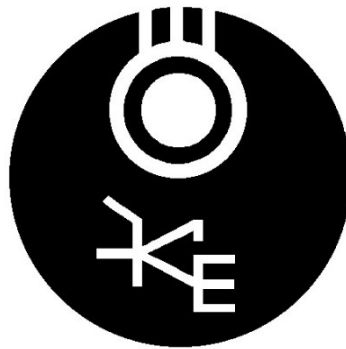


Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Електротехнічний факультет
Кафедра електропривода



**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторної роботи
«Налагодження ПЧ з ПІД-регулятором в системі електропривода
підлеглого керування за технологічним параметром. Насосна установка»**

для студентів спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Дніпро
НТУ «ДП»
2019

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Налагодження ПЧ з ПІД-регулятором в системи електропривода підлеглого керування за технологічним параметром. Насосна установка» з професійно-орієнтованої дисципліни «Вентильний електропривод загальнопромислових установок» для студентів спеціальності 141 «Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка» / Боровик Р.О.; НТУ «Дніпровська політехніка». — Д.: НТУ «ДП», 2019 — 10 с.

Упорядники: Р.О. Боровик

Мета роботи

Набуття студентами практичних навичок налагодження замкненої системи підлеглого керування насосної установки за технологічним параметром, шляхом розрахунку коефіцієнтів ПІД-регулятора перетворювача частоти.

Програма роботи

Налаштувати перетворювач частоти ATV71 (ATV61), що живить приводний двигун насоса, для підтримки заданого тиску в системі при наявності збурюючих впливів виходячи з умов забезпечення максимальної швидкодії системи і мінімального перерегулювання.

Результатом роботи є працююча система підтримки заданого тиску рідини в баку з манометром за наявності випадкового збурюючого впливу.

Для цього необхідно:

1. Визначити контур регулювання;
2. Вибрати метод розрахунку;
3. Ідентифікувати систему;
 - а) зняти характеристику датчика, як залежність $x_{\text{вих}} = f(x_{\text{вх}})$;
 - б) подати керуючий вплив на об'єкт;
 - в) простежити та зафіксувати динаміку зміни значень з датчиків;
 - г) описати систему математично;
4. Знайти оптимальні коефіцієнти регулятора на математичній моделі;
5. Скоригувати знайденні коефіцієнти на реальному об'єкті;
6. Демонстрація роботи налагодженої системи насосної установки.

Зміст звіту

- Обґрунтування вибору методики визначення параметрів ПІД-регулятора.
- Детальний опис ідентифікації системи (п. 3 Програми роботи).
- Графіки перехідних процесів, отримані при виконанні лабораторної роботи.
- Розраховані параметри ПІД-регулятора.
- Математична модель досліджуваної системи.
- Скориговані параметри ПІД-регулятора.
- Порядок налагодження ПЧ та перелік змінених параметрів для вирішення поставленої задачі.

Опис лабораторної установки

На рис. 1 приведена гідравлічна схема насосної установки (НУ). Установка являє собою замкнену систему наповнену водою. НУ складається з двох баків

(Е-1, Е-2), з'єднаних між собою п'ятьма трубопроводами, а також з'єднаних з насосами (Е-3 і Е-4). Всі трубопроводи (Р-1 - Р-19) забезпечені вентилями (V-1 - V-8). Вентиль V-7 є запобіжним, з рівнем спрацювання 2 атм. Робочий бак Е-2 обладнаний двома манометрами: І-1 – стрілочний, що показує; І-2 – електронний з аналоговим вихідним сигналом.

У процесі роботи НУ відбувається перекачування рідини з бака Е-1 насосами Е-3 і / або Е-4, створюючи в робочому баку Е-2 тиск. Якщо шиберні вентиля (V-3 – V-6) відкриті, то рідина вільно циркулює в системі, не створюючи тиску в робочому баку. Регулюючи шиберні вентиля (V-3 – V-6) можна задавати рівень витрати в робочому баку.

Дроти живлення двигунів (Е-5, Е-6) насосів забезпечені штекерними силовими роз'ємами, за допомогою яких вони підключаються до ПЧ.

Вихід манометра І-2 підключається до ПЧ і є сигналом зворотного зв'язку за тиском. В залежності від поточної серії та конфігурації ПЧ це може бути АІ2 чи АІ3. Цей аналоговий вхід необхідно сконфігурувати відповідно до сигналу датчика (напруга/струм, і діапазону зміни сигналу).

Заданий тиск встановлюється потенціометром на пульті, підключеному до аналогово входу АІ1 клемника ПЧ.

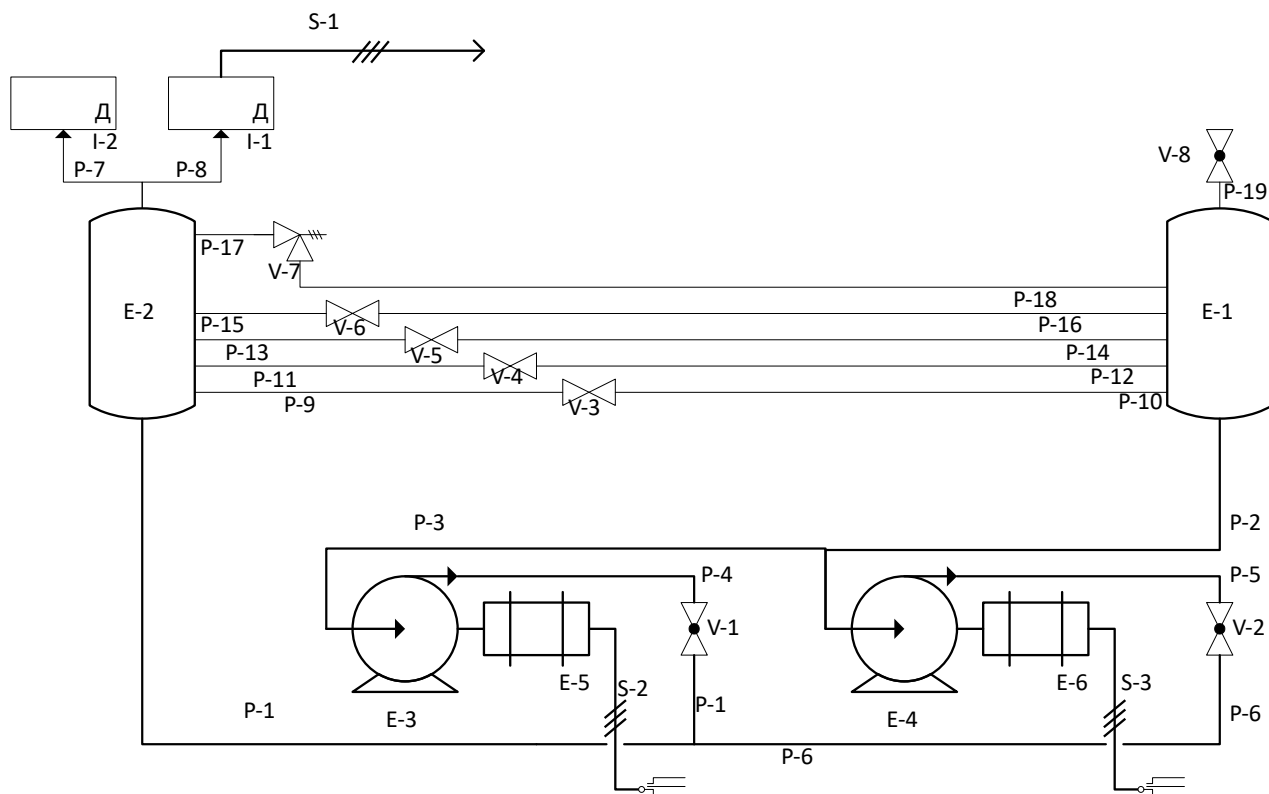


Рис. 1 Гідравлічна схема насосної установки

Розрахунок параметрів

Перед тим, як розраховувати параметри регулятора, необхідно сформулювати мету і критерії якості регулювання, а також обмеження на величини і швидкості зміни змінних в системі. Традиційно основні якісні показники формуються виходячи з вимог до форми реакції замкнутої системи на ступеневу зміну уставки. Однак такий критерій дуже обмежений. Зокрема, він нічого не говорить про величину ослаблення шумів вимірювань або впливу зовнішніх збурень, може дати хибне уявлення про робастність системи.

Робастність – це здатність системи зберігати заданий запас стійкості при варіаціях її параметрів, викликаних зміною навантаження (наприклад, при зміні завантаження печі змінюються її постійні часу), технологічним розкидом параметрів і їх старінням, зовнішніми впливами, похибками обчислень і похибкою моделі об'єкта. Використовуючи поняття чутливості, можна сказати, що робастність – це низька чутливість запасу стійкості до варіації параметрів об'єкта.

Якість регулювання

Вибір критерію якості регулювання залежить від мети, для якої використовується регулятор. Такою метою може бути:

- підтримання постійного значення параметра (наприклад, температури чи тиску);
- стеження за зміною уставки або програмне управління;
- управління демпфером в резервуарі з рідиною тощо.

Для тієї чи іншої задачі найбільш важливими можуть бути такі чинники:

- форма відгуку на зовнішнє збурення (час встановлення, перерегулювання, коефіцієнт загасання та ін);
- форма відгуку на шуми вимірювань;
- форма відгуку на сигнал уставки;
- робастність по відношенню до розкиду параметрів об'єкта управління;
- вимоги до економії енергії в керованій системі;
- мінімум шумів вимірювань та ін.

Для класичного ПІД-регулятора параметри, які є найкращими для стеження за уставкою, в загальному випадку відрізняються від параметрів, найкращих для ослаблення впливу зовнішніх збурень. Для того, щоб обидва параметри одноча-

сно були оптимальними, необхідно використовувати ПІД-регулятори з двома ступенями свободи.

Наприклад, точне стеження за зміною уставки необхідно в системах управління рухом, у робототехніці. У системах управління технологічними процесами, де уставка зазвичай залишається тривалий час без змін, потрібно максимальне ослаблення впливу навантаження (зовнішніх збурень).

*Для ослаблення впливу зовнішніх збурень (зокрема, впливу навантаження) можна зменшити постійну інтегрування T_i .
У тимчасовій області реакцію на зовнішні збурення оцінюють по відгуку на одиничний стрибок $d(t)$ ¹.*

ПІД-регулятор [Помилка: джерело посилання не знайдено]

Незважаючи на розвинені сучасні методи проектування складних регуляторів, переважна більшість промислових систем управління засновані на регуляторах першого і другого порядку. Ці регулятори в багатьох випадках можуть забезпечити прийнятне управління, легко налаштовуються і дешеві при масовому виготовленні.

Найпростіший регулятор —пропорційний або **П-регулятор** — це простий підсилювач з функцією передачі $C(s) = K$. Його вихід — це *помилка управління* $e(t)$, помножена на коефіцієнт K . За допомогою **П-регулятора** можна керувати будь-яким стійким об'єктом, проте він дає відносно повільні перехідні процеси і ненульову статичну помилку.

Щоб прибрати статичну помилку в сталому режимі, в регулятор вводять *інтегральний канал* з коефіцієнтом посилення K_I , так що

$$C(s) = K + \frac{K_I}{s}, \quad u(t) = Ke(t) + K_I \int_0^t e(t) dt.$$

Такий регулятор називається пропорційно-інтегральним або **ПІ-регулятором**. Інтегратор видає сигнал, пропорційний *накопиченій* помилці, тому перехідний процес дещо сповільнюється. Однак за рахунок інтегрального каналу забезпечується нульова помилка в сталому стані при ступінчастому збуренні і ступеневій зміні сигналу завдання.

Для прискорення перехідних процесів додають диференційний канал з коефіцієнтом посилення K_D :

¹http://www.bookasutp.ru/Chapter5_3_4.aspx

$$C(s) = K + \frac{K_I}{s} + K_D s, \quad u(t) = K e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}.$$

Такий регулятор називається **ПІД-регулятором** (пропорційно-інтегрально-диференціальний). Регулятори цього типу дуже добре зарекомендували себе в практичних застосуваннях. Крім того, іноді використовуються ПД-регулятори (пропорційно-диференціальні), у яких немає інтегрального каналу.

Управління за похідною — це швидкий спосіб управління. Сигнал диференціального каналу найбільш важливий при змінах входів і зникає в сталому режимі. Він дозволяє реагувати не на саме збільшення помилки, а на тенденцію її зміни, і прийняти «превентивні заходи». Головний недолік диференціального каналу — великий вплив високочастотних перешкод, наприклад, шумів вимірювань. Для того, щоб зробити регулятор фізично реалізованим, замість чистого диференціювання використовують інерційну диференціальну ланку:

$$C(s) = K + \frac{K_I}{s} + \frac{K_D s}{T_D s + 1},$$

де T_D — мала постійна часу. Чим менше T_D , тим в більшому частотному діапазоні виконується точне диференціювання, але сильніше впливають високочастотні перешкоди.

Для стійкого об'єкта можна вибрати коефіцієнти регулятора досвідченим шляхом, виконуючи експерименти з реальним об'єктом. Запропоновано декілька методів вирішення цього завдання, наприклад, правила Зіглера-Нікольса або Коена-Куна.

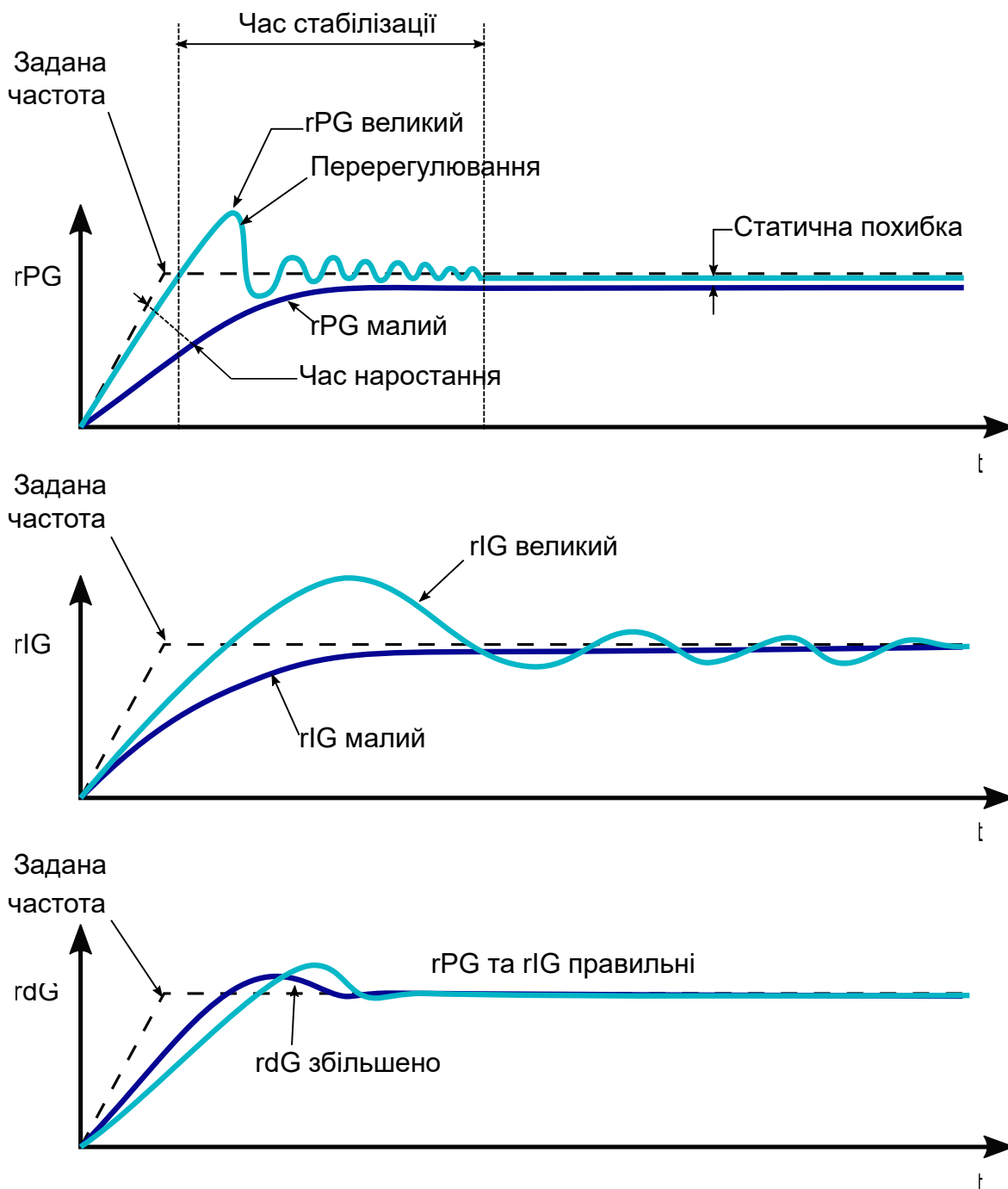
Рекомендації щодо виконання роботи

Для розрахунку коефіцієнтів регуляторів пропонується спосіб, що передбачає попереднє зняття характеристики розімкненої системи. Отже необхідно переконатися, що зворотній в'язок за тиском від'єднаний від ПЧ і вимкнений ПІД-регулятор.

По-перше, необхідно отримати передавальну характеристику датчика, як залежність вихідної напруги датчика від виміряного тиску. Поступово збільшуючи вихідну частоту ПЧ треба фіксувати вихідну напругу датчика. Скориставшись отриманою характеристикою можна отримати коефіцієнт передачі датчика.

По-друге, треба отримати перехідний процес розімкненої системи за допомогою осцилографа чи програмного забезпечення (PowerSuite або SoMove) одночасно зафіксувавши 1) сигнал завдання; 2) сигнал з датчика тиску для ви-

значення коефіцієнтів регуляторів [Помилка: джерело посилання не знайдено]. При цьому слід встановити найбільший можливий для поточного механізму темп розгону і гальмування та найбільше завдання на вихідну частоту ПЧ. Важливо зафіксувати на осцилограмі момент подачі завдання.



Методики отримання коефіцієнтів недосконалі, до того ж запропонована методика пов'язана з похибкою емпіричного вимірювання, отже отримані коефіцієнти це тільки «відправна точка». Для їх уточнення треба скласти математичну модель досліджуваної системи керування. Всі параметри моделі можна визначити з графіка перехідного процесу.

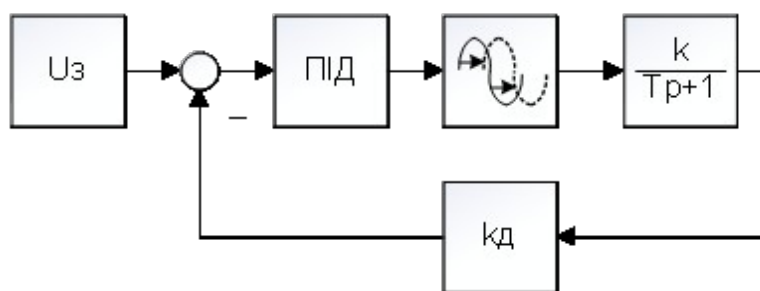


Рис. 2 Структурна схема математичної моделі

Параметри ПІД-регулятора підбираються вручну виходячи з умови забезпечення найбільшої швидкодії та найменшого перерегулювання.

Отримані коефіцієнти треба випробувати на насосній установці.

Питання для самоперевірки

1. Чи потрібно використовувати додаткові фізичні датчики для реалізації регулювання за технологічним параметром?
2. Яку макроконфігурацію необхідно вибрати в ПЧ для швидшого його налаштування на регулювання за технологічним параметром?
3. Яка роль диференційної частини регулятора?
4. З якою метою треба визначати передавальну характеристику датчика?
5. Як визначити коефіцієнт підсилення системи розімкнутої системи?
6. До яких змін перехідного процесу замкненої системи призводить додавання інтегральної частини до пропорційного регулятора?
7. До яких змін перехідного процесу замкненої системи призводить додавання диференційної частини до пропорційного регулятора?
8. Чи можна регулювати інтенсивність зворотного зв'язку регулюваного технологічного параметра?
9. До яких клем необхідно під'єднувати дроти датчика? Чи потрібен додатковий перетворювач сигналу?
10. Як впливає на діапазон регулювання застосування зворотного зв'язку?
11. Який закон керування необхідно вибрати в налаштуваннях ПЧ?

Перелік корисної літератури

1. Программирование преобразователя частоты Altivar 61. 2008. – 96 с. (http://elprivod.nmu.org.ua/ru/student/disciplines/skep/ATV61_progr_08_.pdf)
2. Программирование преобразователя частоты Altivar 71. 2007. – 104 с. (http://elprivod.nmu.org.ua/ru/student/disciplines/skep/ATV71_programming_07_.pdf)
3. Программа PowerSuite для настройки преобразователей частоты, сервоприводов и устройств плавного пуска (версия 2.4.0). 2007. – 46 с.

([http://elprivod.nmu.org.ua/ru/student/disciplines/skep/PowerSuite %D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_FULL_07_.pdf](http://elprivod.nmu.org.ua/ru/student/disciplines/skep/PowerSuite_%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_FULL_07_.pdf))