

МОДУЛЯЦІЯ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ СИЛОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА В КВАЗІОПТИМАЛЬНОМУ ПРОМИСЛОВОМУ РЕГУЛЯТОРІ

Вступ

Вихід економіки України з довготривалої кризи, пов'язаної з хаотичним переходом від адміністративного господарювання на ринкові рейки, кидає серйозний виклик вітчизняній науці. Зокрема, зберігає актуальність задача створення автоматизованих систем обробки інформації та керування для високотехнологічного матеріального виробництва як традиційної продукції, так і суперсучасної. Такі системи використовуються для:

- 1) управління виробничими процесами;
- 2) управління устаткуванням і пристроями (станками, роботами, генераторами, перетворювачами, електро-, гідро- і пневмоприводами, реакторами, печами і т. ін.);
- 3) управління параметрами (температурою, тиском, витрачанням, швидкістю, вологістю, струмом, напругою, частотою, фазою та ін.).

Вимоги, що висувають сучасні технологічні процеси до якості регулювання потрібного параметру в першому наближенні можна схарактеризувати такими параметрами перехідного процесу системи регулювання, як час усталення, величина перерегулювання та енергія, яка витрачається на керування. З цієї точки зору значного інтересу заслуговують *оптимальні регулятори*, що дозволяють перевести об'єкт керування з початкового стану в потрібний без перерегулювання за кінцевий і мінімальний час.

В [1] запропонований новий тип промислового регулятора для масових застосувань, який названий квазіоптимальним. Такий пристрій містить ієрархічну ітераційну систему керування з можливістю адаптації й автоматичної параметричної ідентифікації об'єкта керування. Розробка методів проектування адаптивних квазіоптимальних промислових регуляторів з автоматичною параметричною ідентифікацією об'єктів керування являє собою актуальну науково-технічну проблему, практичне вирішення якої стає можливим сьогодні за рахунок істотних досягнень в галузі інформаційної і силової електроніки.

Дана стаття торкається важливого питання, пов'язаного з дослідженням квазіоптимального регулятора, а саме – порівняння з класичним оптимальним цифровим регулятором.

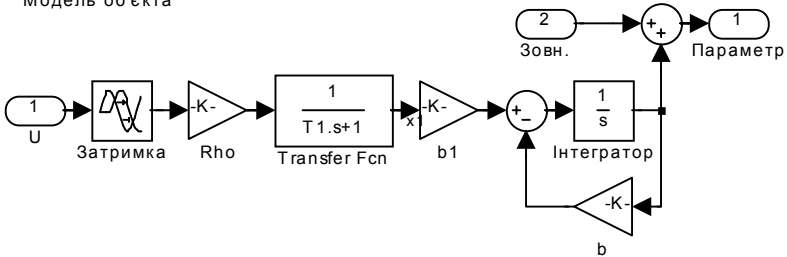
Об'єкт керування

В [1] висловлено гіпотезу про модель об'єкта керування промислового регулятора, згідно з якою існує широкий клас об'єктів, які в першому наближенні можна подавати лінійною моделлю другого порядку:

$$G(p) = \frac{\rho e^{-p\tau}}{(pT_1 + 1)(pT_2 + 1)}. \quad (1)$$

З метою підтвердження гіпотези про можливість оптимального керування промисловим об'єктом з передатною функцією (1), а також для пошуку методів ідентифікації потрібне проведення практичних досліджень за допомогою моделювання, а також експерименту. В якості об'єкта для подальших досліджень вибраний електронагрівач, оскільки, по-перше, температура, мабуть, – найбільш поширений параметр для регулювання на виробництві. По-друге, температуру можна з достатнім ступенем точності вимірювати за допомогою відносно дешевих датчиків. *Simulink*-модель електронагрівача зображено на рисунку 1.

Модель об'єкта



Рисунк 1 – *Simulink*-модель об'єкта керування

Параметри моделі вибиралися за результатами експериментальних досліджень.

Крім того був поставлений ряд експериментів із використанням персонального комп'ютера і сполучених з ним датчика температури і силового перетворювача, до виходу якого було підключено електронагрівач. При цьому на останній подавалися тестові впливи у вигляді широтно-імпульсно модульованої мережевої напруги з заданою тривалістю і коефіцієнтом заповнення.

На рисунку 2 представлено перехідні процеси в реальному об'єкті керування, а також – у його *Simulink*-моделі при достатньо складному тестовому впливі. Протягом 2445 с на об'єкт подавалося 20% потужності, потім – відключення нагрівання на 275 с. Далі вихідна потужність підтриму-

валася на рівні 8,4%.

За допомогою добору параметрів моделі удалось домогтися гарного збігу результатів моделювання з експериментальними даними.

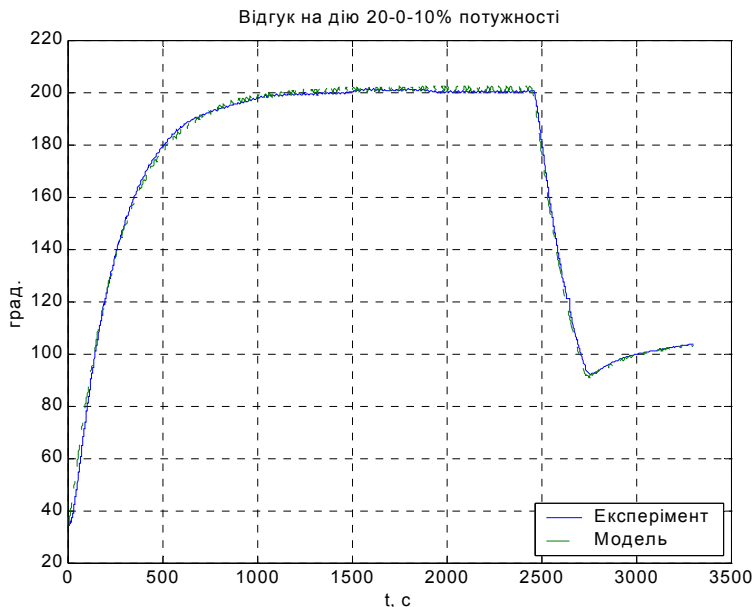


Рисунок 2 – Перехідні процеси в системі при тестовому впливі 20%-0-10%

Отримані дані однозначно підтверджують висунуту гіпотезу щодо можливості моделювання вказаного об'єкту за допомогою (1) з прийнятною точністю. Це відкриває широкі можливості проектування та дослідження квазіоптимального регулятора, зокрема – вирішення проблеми параметричної ідентифікації об'єкта керування.

Порівняння методів модуляції вихідної напруги

Першою ланкою промислового квазіоптимального регулятора є система автоматичного позиціонування (САП) [1]. Її призначено для відпрацьовування завдання по регульованому параметру, а також грубих збурень за мінімальний час і з мінімальним перерегулюванням. По суті, САП являє собою одноконтурну цифрову систему автоматичного керування, що містить оптимальний цифровий регулятор. Але, на відміну від класичного регулятора, в квазіоптимальному застосовується широтно-імпульсна модуляція напруги на об'єкті керування. Коефіцієнти регулювання на трьох

кроках регулювання визначаються за результатами ідентифікаційних експериментів. Тоді ж вибирається і тривалість кроку позиціювання h_p . Зв'язок між параметрами САП можна описати виразами (6) [1].

Класичний оптимальний цифровий регулятор (ОЦР) на виході генерує сигнал з амплітудно-імпульсною модуляцією (АІМ), причому амплітуди імпульсів на кроках регулювання можна визначити в такий спосіб:

$$u[n]=Q[n]\cdot U/Q_m; u[n+1]=Q[n+1]\cdot U/Q_m; u[N]=Q[N]\cdot U/Q_m, \quad (2)$$

де $Q[n], Q[n+1], Q[N]$ – коефіцієнти заповнення на трьох кроках регулювання ШІМ-системи [1];

U – середньквадратичне значення мережевої напруги;

Q_m – максимальний сигнал на виході цифрового регулятора.

Вираз (2) визначає зв'язок між ШІМ і АІМ методами регулювання вихідної напруги силового перетворювача. На рисунку 3 представлено часові діаграми, що ілюструють поведінку двох регуляторів – із широтною й амплітудною модуляцією вихідної напруги. Параметри об'єкта керування аналогічні представленим раніше. Тривалість кроку позиціювання $h_p=100$ с. Використано низькочастотну ШІМ з періодом $T_{pwm}=h_p/5$.

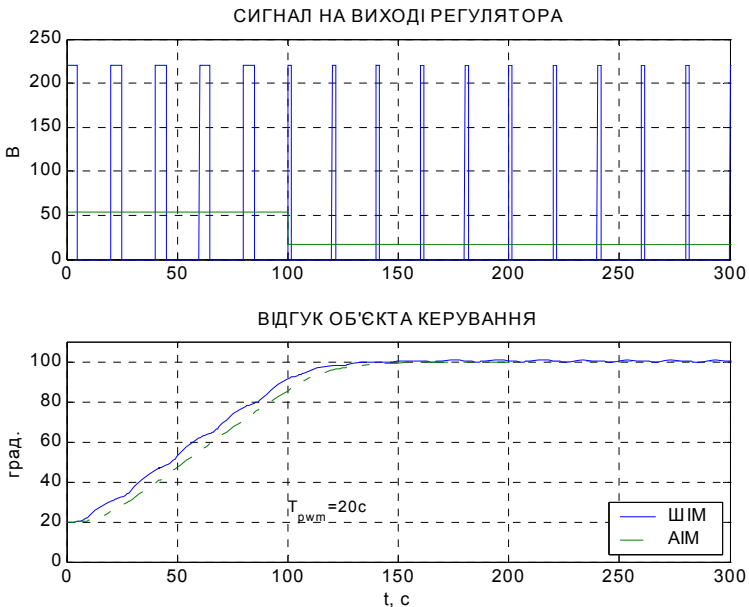


Рисунок 3 — Часові діаграми роботи ОЦР із ШІМ і АІМ вихідної напруги силового перетворювача ($T_{pwm}=h_p/5$)

Як впливає з результатів моделювання, до кінця другого кроку позиціювання (момент часу $t=2h_p=200$ с) координата ОУ досягає значення,

ідентичного АІМ, а далі спостерігається характерна для ШІМ пульсація щодо номінального значення регульованого параметра з частотою ШІМ. Перерегулювання практично відсутнє. Звідси випливає висновок про те, що динамічні характеристики ШІМ для розглянутого об'єкта керування ідентичні (або не уступають) АІМ.

Розглянемо вплив частоти ШІМ на час і точність позиціонування. На рисунку 4 представлено результати аналогічного попередньому експерименту, однак обрана гранично низька частота ШІМ, при якій період T_{pwm} у точності дорівнює кроку регулювання h_p . І в цьому випадку за два кроки регулювання (а в даному випадку – і за два періоди ШІМ) середнє значення регульованого параметра досягає заданої величини. Однак у даному випадку, як і слід було очікувати, одночасно зі зниженням частоти ШІМ спостерігається збільшення амплітуди пульсацій. Крім того, при збільшенні заданого значення (тобто – з ростом початкової неузгодженості) виникає перерегулювання, тим більше, ніж вище необхідне значення параметра.

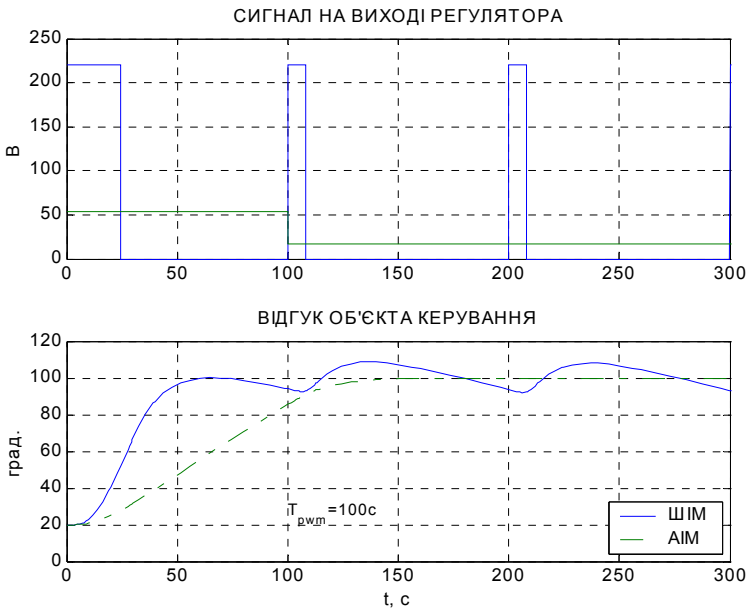


Рисунок. 4 — Часові діаграми роботи ОЦР із ШІМ і АІМ вихідної напруги силового перетворювача ($T_{pwm} = h_p$)

Отже, проведені дослідження дають можливість зробити однозначний висновок про перспективність розробки квазіоптимальних регуляторів.

Порівняно з класичними, запропоновані регулятори мають значні переваги в реальних виробничих застосуваннях. По-перше, широтно-імпульсна модуляція вихідної напруги силового перетворювача дозволяє суттєво підвищити енергетичну ефективність системи керування. По-друге, динамічні характеристики при застосуванні ШІМ аніскільки не погіршуються. В той же час, принципи розрахунку квазіоптимальних регуляторів побудовано на добре відомих методах оптимальних регуляторів [2].

Практична реалізація системи позиціонування в складі квазіоптимального регулятора можлива із застосуванням універсальних мікроконтролерів [3, 4]. Для систем із підвищеними вимогами до швидкодії (наприклад, електропривод), найбільш доцільними є сигнальні мікропроцесори [4]. Підкреслимо, що рішення із застосуванням засобів мікропроцесорної техніки виглядає перспективнішим, аніж програмуємих логічних інтегральних схем, з огляду на необхідність реалізації достатньо складного алгоритму ідентифікації параметрів об'єкта керування.

Висновки

1. Запропоновано *Simulink*-модель реального об'єкта керування, а також експериментально підтверджено гіпотезу про можливість застосування такої моделі для дослідження квазіоптимального регулятора.

2. Визначено зв'язок між ШІМ і АІМ методами регулювання вихідної напруги силового перетворювача.

3. Шляхом моделювання показано, що у квазіоптимальному регуляторі застосування широтно-імпульсної модуляції вихідної напруги силового перетворювача, коефіцієнт заповнення якої лінійно пов'язаний з амплітудою вихідної напруги в класичному оптимальному регуляторі, дозволяє отримати гарні динамічні показники системи .

ЛІТЕРАТУРА

1. В.П.Войтенко. Автоматическая параметрическая идентификация в квазиоптимальных промышленных регуляторах// Технічна електродинаміка, тем. випуск «Силова електроніка та енергоефективність». – Київ-2004, ч. 3. – С. 85 – 90.
2. Ю.Ту. Современная теория управления: Пер. с англ. Я.Н.Гибадулина, под ред. В.В.Солодовникова. – М.: Машиностроение, 1971. – 472с.
3. В.П.Войтенко. Мікроконтролери для пристроїв промислової електроніки// Вісн. Чернігівського державного технологічного університету, 2001. – № 13. – С. 130 – 134.
4. В.П.Войтенко. Архитектура и резидентные аппаратные средства микроконтроллеров Atmel AVR®. – Чернигов: Красавцев, 2002. – 132 с.
5. В.П.Войтенко. Сигнальні процесори в оптимальних системах керування// Вісн. Чернігівського державного технологічного університету, 2004. – № 21. – С. 196 – 200.