

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОГНОСТИЧНОГО РЕГУЛЯТОРА В ЗАМКНУТІЙ СИСТЕМІ ЗБУДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА З PID-КОНТРОЛЕРОМ

Марченко А.А., к.т.н., доцент, Лютер А.О., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. З метою покращення якостей енергії в енергосистемах, часте використання знайшли системи автоматичного регулювання збудження синхронних генераторів (AVR – Automatic Voltage Regulator). Однак, подібні системи не позбавлені таких недоліків, як висока стаціонарна помилка, неефективна коливальна перехідна реакція, значне максимальне перевищення, тощо. Поширеним методом вирішення наведених проблем є створення замкнутих систем AVR з PID-контролером (PID – Proportional-Integral-Derivative).

Однак, в зв'язку з високими темпами впровадження в об'єднану електромережу установок з розподіленою генерацією (РГ), стає нагальним питання можливості налаштування та регулювання систем AVR зміною лише одного параметру. Для вирішення цього питання пропонується перейти від керування за поточним значенням помилки $\varepsilon(t)$ до керування, що передбачає розрахунок значення прогнозу $\varepsilon(t+\tau_{for})$, завдяки чому вдається частково компенсувати інерційність об'єкту регулювання. Регулятор, що використовує вищезгаданий принцип керування отримав назву прогностичний.

Таким чином, використання прогностичних регуляторів дозволяє спростити керування системами AVR з використанням типових PID-контролерів, шляхом контролю і зміни лише однієї величини, та ще більше покращити якість електроенергії і показників перехідних процесів синхронних двигунів при змінах в системі.

Мета роботи. Метою статті є дослідження оптимізації основного параметру прогностичного регулятора, а саме сталої часу T_s задля досягнення вищої якості перехідних процесів та порівняння ефективності такого регулятора зі звичайним PID-контролером. Оптимізація виконуватиметься на основі квадратичного інтегрального критерію в блоці Signal Constraint бібліотеки Simulink середовища Matlab.

Матеріали та результати досліджень. Використання прогностичних регуляторів для керування системами автоматичного регулювання напруги потребує попереднього налаштування параметрів типового PID-контролера. Повна методика оптимізації за експериментальними даними параметрів контролера, наведена в [1].

Після попереднього налаштування контролера, завдання зводиться до оптимізації значення сталої T_s часу прогностичного регулятора.

В роботі використовується узагальнена схема автоматизованої системи регулювання збудження синхронного генератора, зображена на рис. 1. Структура схеми являє собою послідовне з'єднання ланок: (а) Прогнозуюча ланка; (б) Підсилювач; (в) PID-контролер; (г) Збуджувач; (д) Синхронний генератор. В

досліджуваній системі також наявний від'ємний зворотній зв'язок за помилкою сигналу та увімкнена в гілку зв'язку ланка (є) Сенсор.

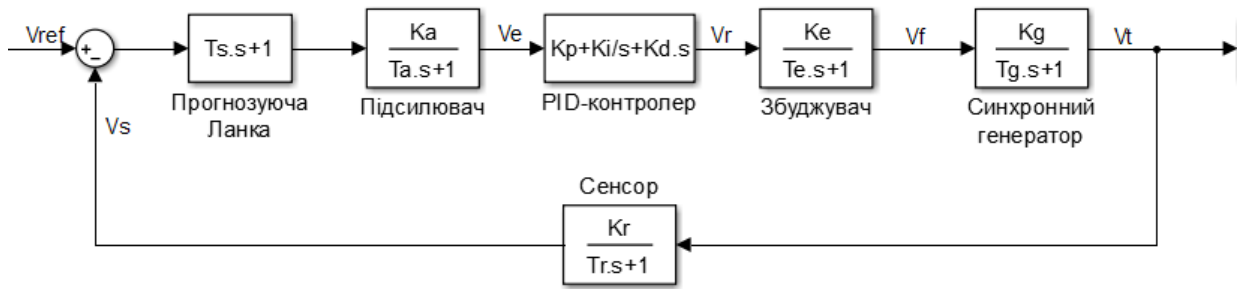


Рисунок 1 – Структура системи AVR з прогностичним регулятором

Позначення відповідних сигналів на схемі:

V_{ref} – задане значення напруги генератора; V_s – напруга на виході з сенсора; V_e – прогнозована та підсилена помилка величини напруги; V_r – відрегульована зміна напруги після контролера; V_f – вихідна напруга зі збуджувача; V_t – вихідна напруга генератора.

Передавальна функція прогнозуючої ланки визначається як [2]:

$W_{for}(s) = \tau_{for}s + 1$, де τ_{for} – постійна часу прогнозуючої ланки, s – комплексна змінна перетворення Лапласа.

Оптимальні значення параметрів пропорційної, інтегральної та диференційної ланок PID-контролера були визначені в результаті оптимізації в [1] та використані в даній роботі. Визначення передавальних функцій та параметрів інших ланок наведені в [1] та є незмінними в досліді.

Сама прогнозуюча ланка має структуру, представлену на рис. 2.

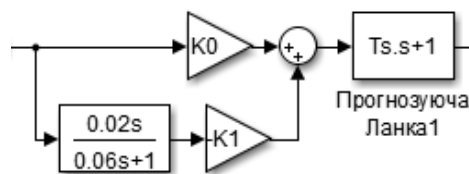


Рисунок 2 – Структура прогнозуючої ланки

Параметри підсилювачів та ланки Transfer Function визначені з теоретичних залежностей системи, наведених у [3].

Структурна схема досліджуваної системи зображена на рис. 3

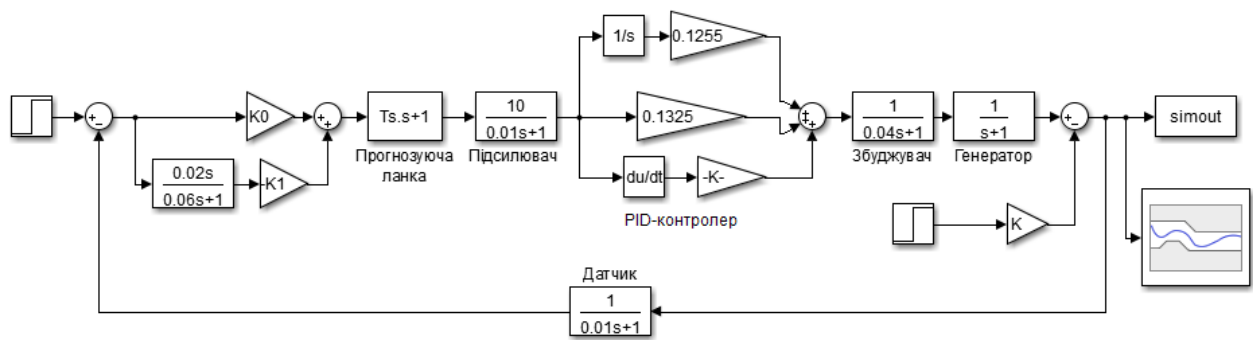


Рисунок 3 – Структурна схема досліджуваної системи AVR

Для оптимізації сталої часу прогнозуючої ланки використовується блок Signal Constraint зі своїм графічним інтерфейсом користувача, серед можливостей якого [4]:

- Задання амплітудно-часових обмежень для довільного сигналу досліджуваної системи;
- Задання параметрів ланок, що підлягають оптимізації;
- Здійснення параметричної оптимізації автоматизованої системи з врахуванням встановлених обмежень.

Перед проведенням оптимізації необхідно встановити значення відповідних амплітудно-часових обмежень для перехідного процесу, які будуть забезпечувати його високу якість.

Оскільки використання прогностичного регулятора суттєво підвищує якість перехідного процесу, встановлені вимоги є дещо жорсткішими за ті, що стандартно використовуються при оцінці, а саме:

- Перерегулювання +10, -20% в номінальному режимі;
- Вихід на усталений режим ($\pm 2\%$) за 8 секунд від початку симуляції;
- Перерегулювання $\pm 5\%$ при накиданні навантаження в 5% від номіналу;
- Вихід на усталений режим ($\pm 2\%$) за 2,5с після додавання навантаження.

Таким чином, обмеження в блоці Signal Constraint розбиті на 5 ділянок, амплітуди та часові границі яких наведені в табл. 1. Тривалість симуляції становить 20 с.

Таблиця 1 – Амплітудно-часові обмеження сигналу

| Початок | | Кінець | |
|-------------|-----------|--------|-----------|
| Час | Амплітуда | Час | Амплітуда |
| Верхні межі | | | |
| 0 | 1.1 | 2 | 1.1 |
| 2 | 1.1 | 7 | 1.1 |
| 7 | 1.02 | 12 | 1.02 |
| 12 | 1.05 | 16 | 1.05 |
| 16 | 1.02 | 20 | 1.02 |
| Нижні межі | | | |
| 0 | 0 | 2 | 0 |
| 2 | 0.8 | 7 | 0.8 |
| 7 | 0.98 | 12 | 0.98 |
| 12 | 0.95 | 16 | 0.95 |
| 16 | 0.98 | 20 | 0.98 |

Накидання навантаження в 5% від номіналу відбувається на 13й секунді. Початкова симуляція при $T_s = 1$ дає результати зображені на рис. 4:

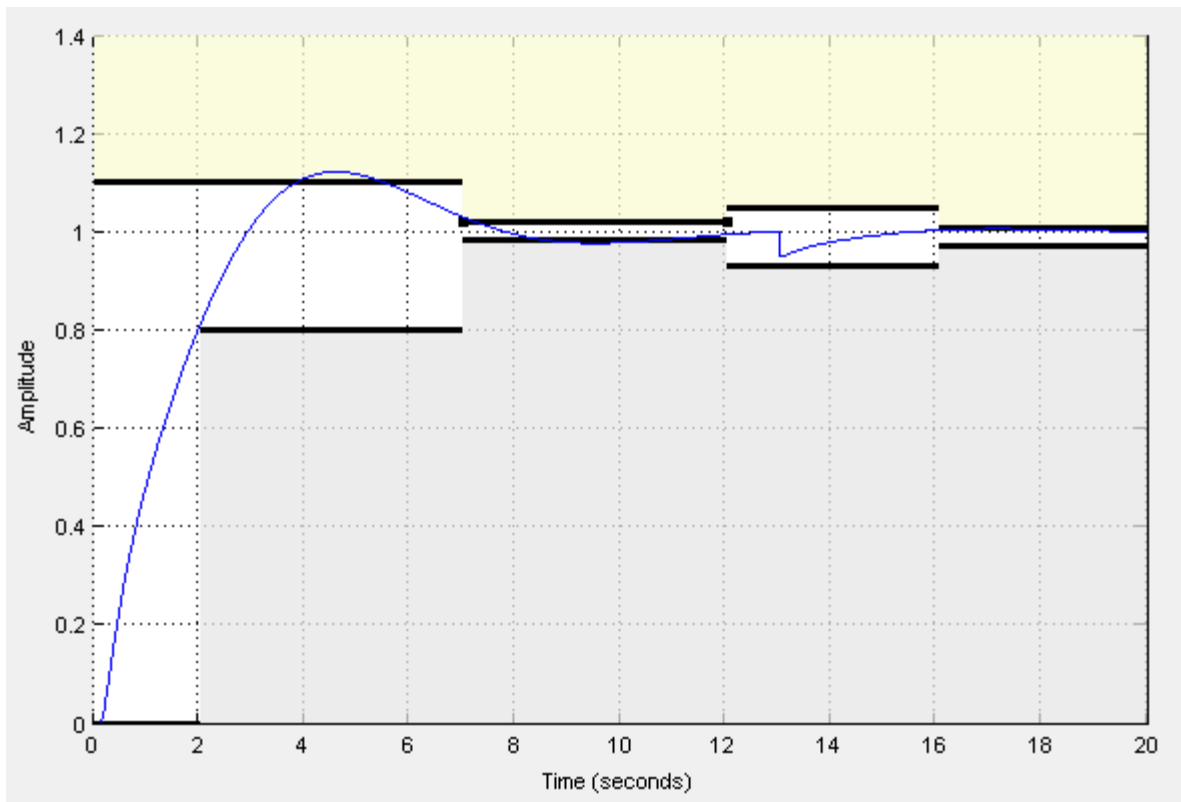
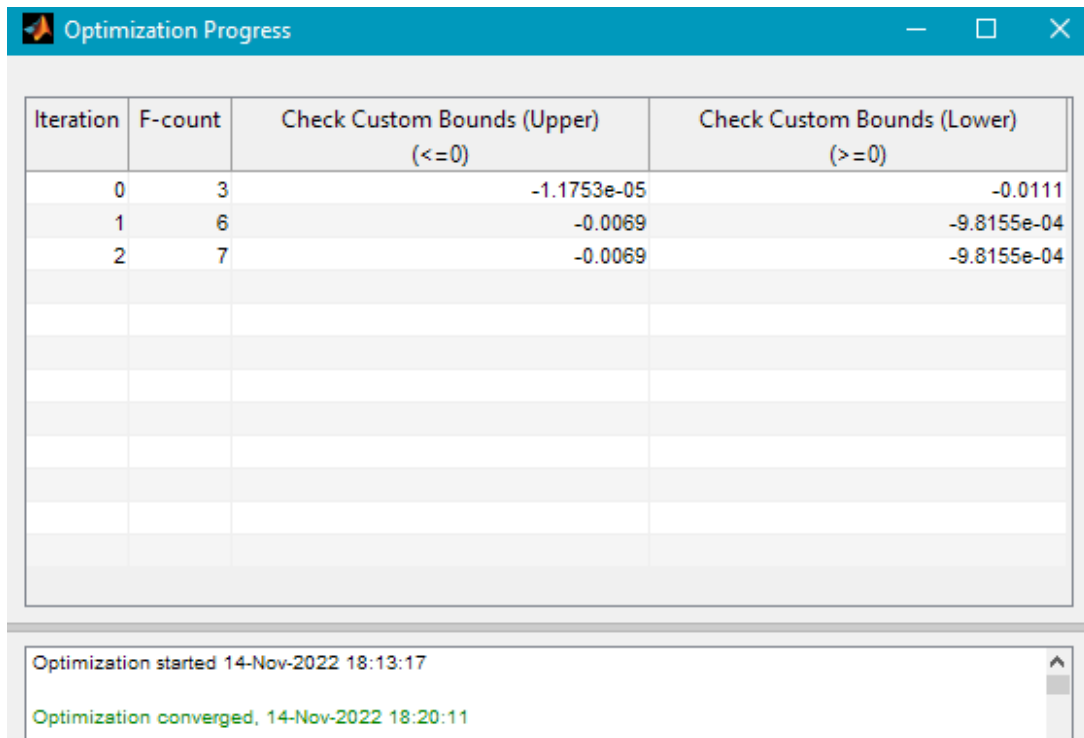


Рисунок 4 – Результати початкової симуляції

Як видно, отриманий перехідний процес не задовольняє поставлені умови до якості, отже необхідно виконати оптимізацію сталої часу прогностичної ланки. Для процесу оптимізації використовується метод градієнтного спуску. На рис. 5 зображений ітераційний процес оптимізації.



| Iteration | F-count | Check Custom Bounds (Upper) (<=0) | Check Custom Bounds (Lower) (>=0) |
|-----------|---------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 0 | 3 | -1.1753e-05 | -0.0111 |
| 1 | 6 | -0.0069 | -9.8155e-04 |
| 2 | 7 | -0.0069 | -9.8155e-04 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Optimization started 14-Nov-2022 18:13:17
Optimization converged, 14-Nov-2022 18:20:11

Рисунок 5 – Ітераційний процес оптимізації.

Як видно, процес зійшовся за 3 ітерації. Оптимальне значення сталої часу $T_s = 0.5046$.

Результат симуляції за оптимального значення сталої часу прогностичного регулятора зображено на рис. 6

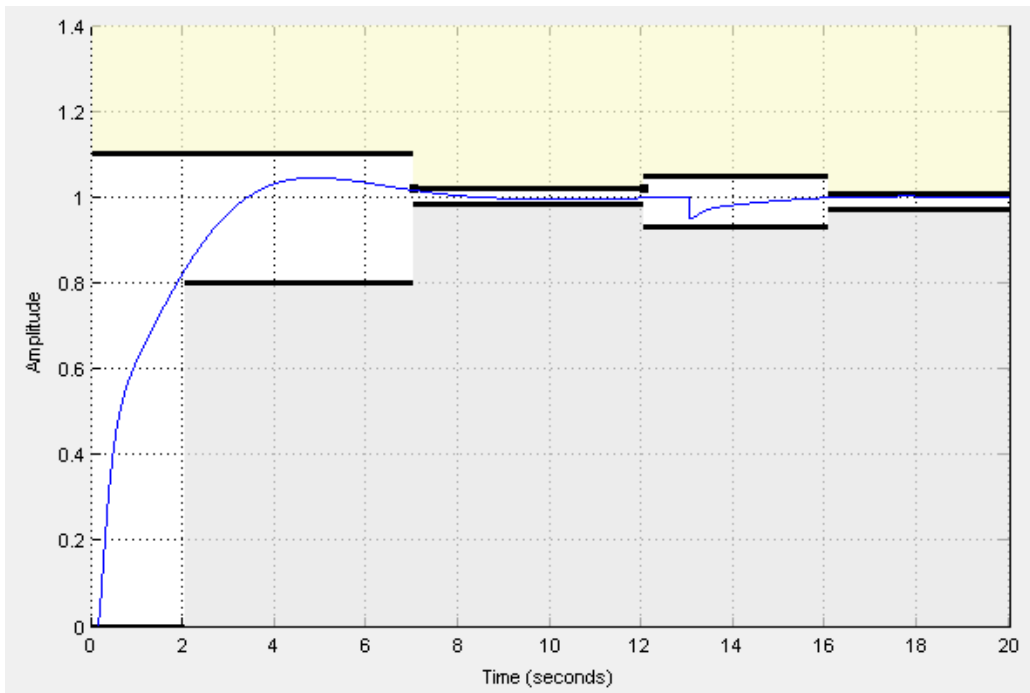


Рисунок 6 – Результати оптимізації сталої часу

Для оцінки ефективності використання наведеного способу регулювання, порівняємо отримані результати з результатами оптимізації тієї ж системи тільки з PID-контролером, які наведені в [1]. Порівняння наведені на рис. 7, 8

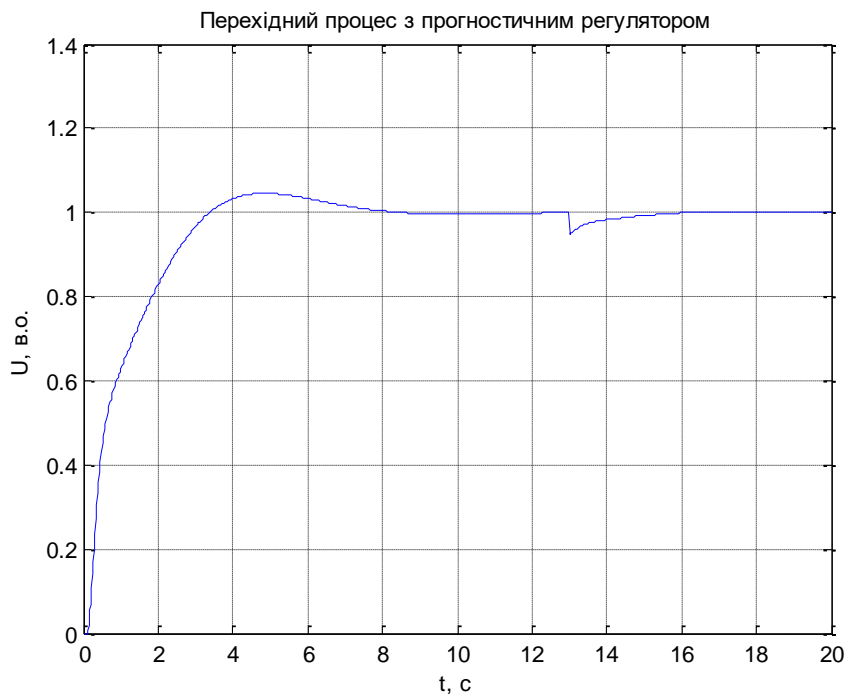


Рисунок 7 – Оптимальний перехідний процес з прогностичним регулятором

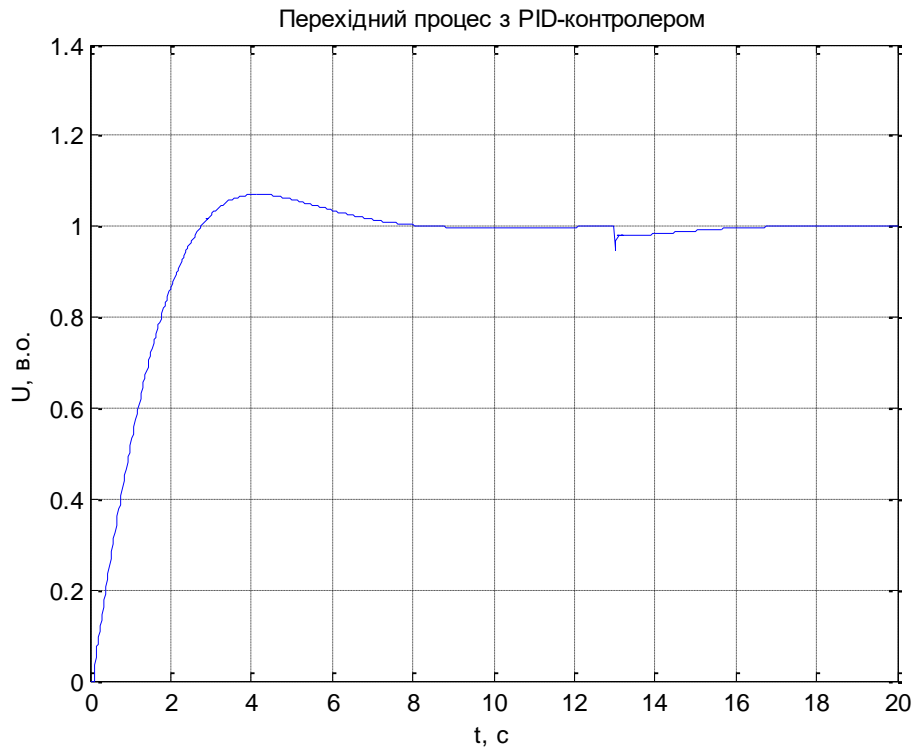


Рисунок 8 – Оптимальний перехідний процес з PID-контролером

Висновки: Досліджена модель автоматичної системи збудження синхронного генератора з прогностичним регулятором та проведена оптимізація сталої часу T_s прогностичної ланки регулятора. Аналіз результатів доводить перевагу застосованого методу керування над використанням лише типового PID-контролеру. А саме, переваги виражені наступними показниками:

- Перерегулювання $\pm 4,52\%$, проти $\pm 7,1\%$ для PID-контролеру в номінальному режимі роботи;
- Повернення на усталене значення за 2,2с (з 13 по 15,2с), проти 3,6с (з 13 по 16,6с) після додавання навантаження (рис. 7, 8);

Таким чином, запропонований спосіб керування може бути рекомендований для використання в комплексі з типовими PID-контролерами для якіснішого регулювання збудження синхронних генераторів, особливо, при необхідності оперативного введення їх в експлуатацію в системах з розподіленою генерацією.

Перелік посилань

1. Наухацька Т. А., Марченко А. А. Оптимізація параметрів PID-контролера системи збудження генератора // В кн.: Міжнародн. наук.-техн. журнал «Сучасні проблеми електроенерготики та автоматики». – Київ: ФЕА НТУУ «КПІ», 2017.
2. Michel Fliess, Richard Marquez & Hugues Mounier (2002) An extension of predictive control, PID regulators and Smith predictors to some linear delay systems, International Journal of Control, 75:10, 728-743 p.
3. Camacho E.F., Bordons C. Model Predictive Control, 2nd edition Springer, 2007. 405 p.
4. Д'яконов В. П. Simulink 5/6/7 Самовчитель. 2008. С.418-435.