

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ PID-КОНТРОЛЕРА СИСТЕМИ ЗБУДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА

Марченко А.А., к.т.н., доцент, Наухацька Т.А., студентка
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Автоматичний регулятор збудження (AVR – Automatic Voltage Regulator) системи управління забезпечує підтримання напруги на виході генератора із заданою точністю за зміни навантаження в статичних і перехідних режимах. Функціонально регулятор є системою підлеглого регулювання, в якій вихідний сигнал одного контуру регулювання є входним для наступного і включає пристрій обмеження задання напруги генератора в межах від 0,8 до 1,1 U_n , задатник інтенсивності, регулятори напруги і струму збудження генератора.

В даний час існують різні регулятори струму і напруги генератора. Одним з таких може бути ефективний пропорційно-інтегрально-диференціальний контролер (PID – Proportional-Integral-Derivative) [1]. Перевагою PID-контролера є те, що він може забезпечити надійну роботу в широкому діапазоні умов експлуатації. Такий контролер може зменшити похибку динамічного діапазону, усунути стаціонарну помилку та забезпечити допустиму величину перерегулювання.

Мета роботи. Метою даної статті є дослідження оптимізації параметрів PID-контролера системи збудження генератора використовуючи оператор Signal Constraint в середовищі Matlab опираючись на інтегральний квадратичний критерій.

Матеріали та результати досліджень. Для стабільної електроенергетичної системи важливим є створення автоматичного регулятора напруги (AVR) синхронного генератора з високою ефективністю та швидкою реакцією. До цих пір аналоговий PID-регулятор зазвичай використовується для AVR через його простоту та низьку вартість. Однак параметри PID-контролера нелегко налаштувати.

Головним завданням роботи є оптимізація показників якості процесу керування системи AVR, що керується PID-контролером, для вихідного сигналу в середовищі Simulink з такими параметрами: перерегулювання $\pm 20\%$, вихід на усталений режим ($\pm 5\%$) не більше 3 секунд після появи сигналу збурення (навантаження) шляхом відповідного вибору коефіцієнтів підсилення PID-контролера.

Для вирішення поставленого завдання по оптимізації пропонується використання інтегрального квадратичного критерію, який дає сумарну оцінку якості перехідного процесу, з урахуванням тривалості процесу і динамічного відхилення регульованої величини від заданого значення. У більшості випадків оптимальним вважається такий перехідний процес, для якого виконується рівність[2]:

$$I^2 = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt \rightarrow \min, \quad (1)$$

де ε – динамічна помилка для моменту часу t .

Модель системи AVR, керована PID-контролером, зображена на рис. 1., де v_s – вихідна напруга моделі датчика, v_e – різниця напруг між v_s та опорною вхідною напругою $v_{ref}(s)$, v_R – посилення напруги по моделі підсилювача, v_F – вихідна напруга на моделі збуджувача і v_t – вихідна напруга генератора.

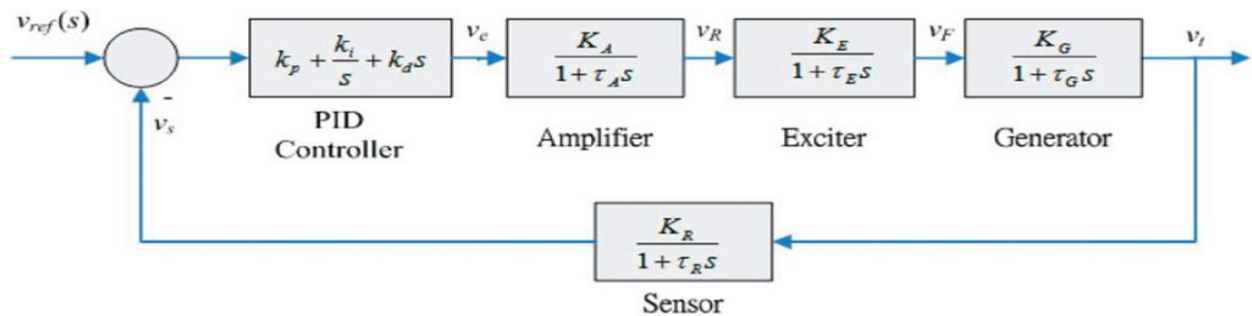


Рисунок 1 – Замкнута структурна схема системи AVR

Для реалізації структури AVR маємо 5 ланок : (а) модель PID-контролера, (б) модель підсилювача, (в) модель збуджувача, (г) модель генератора та (д) модель датчика. Їхні передаточні функції описуються наступними співвідношеннями:

- (а) Модель PID-контролера

$$G_c(s) = k_p + k_d s + \frac{k_i}{s} \quad (2)$$

де k_p , k_d , k_i – відповідно коефіцієнт пропорційності, диференціальний коефіцієнт та інтегральний коефіцієнт.

- (б) Модель підсилювача

Передавальна функція моделі підсилювача:

$$\frac{V_R(s)}{V_e(s)} = \frac{K_A}{1 + \tau_A s} \quad (3)$$

де K_A – це підсилювач, а τ_A – постійна часу.

- (в) Модель збуджувача

Передавальна функція моделі збуджувача:

$$\frac{V_F(s)}{V_R(s)} = \frac{K_E}{1 + \tau_E s} \quad (4)$$

де K_E – це коефіцієнт підсилення, а τ_E – постійна часу.

- (г) Модель генератора

Передавальна функція моделі генератора:

$$\frac{V_t(s)}{V_F(s)} = \frac{K_G}{1 + \tau_G s} \quad (5)$$

де K_G – коефіцієнт підсилення, а τ_G – постійна часу.

- (д) Модель датчиків

Передавальна функція моделі датчика:

$$\frac{V_S(s)}{V_t(s)} = \frac{K_R}{1 + \tau_R s} \quad (6)$$

де K_R – коефіцієнт підсилення, а τ_R – постійна часу [3].

Виконаємо моделювання в середовищі Matlab цієї структури AVR (рис. 2), використовуючи оператор Signal Constraint [4], який має своє графічне вікно користувача і в інтерактивному режимі дозволяє виконувати такі операції:

- задати потрібні обмеження в часовій області на будь-який сигнал досліджуваної АСК;
- задати параметри ланок, які необхідно оптимізувати;
- задати невизначені параметри ланок;
- задати діапазон зміни невизначених параметрів ланок;
- здійснити параметричну оптимізацію АСК із урахуванням заданих обмежень.

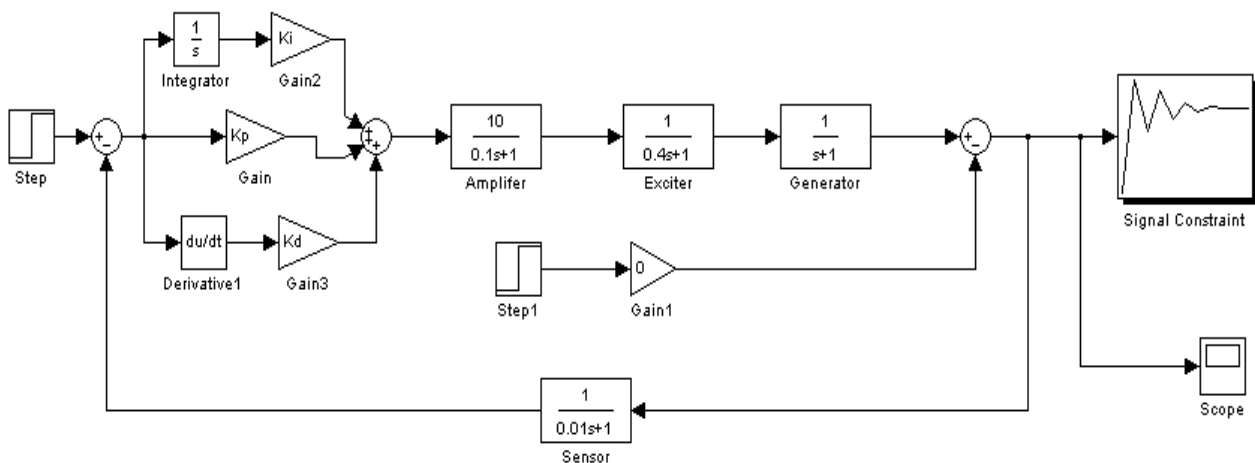


Рисунок 2 – Модель системи AVR, що керується PID-контролером

Процесу оптимізації передуює введення змінних в середовище Matlab $k_p = k_d = k_i = 0,1$ за допомогою командного рядка. Для реалізації поставленої задачі оптимізації у вікні оператора Signal Constraint необхідно налаштувати показники якості процесу керування, які мають вигляд ділянок з верхньою і нижньою обмежувальними лініями. Для розглянутої моделі ці обмежувальні лінії необхідно розбити на п'ять ділянок (табл. 1).

Таблиця 1 – Значення необхідних обмежень ділянок

Верхні обмежувальні лінії			
Початок		Кінець	
Час	Амплітуда	Час	Амплітуда
0	1,2	4	1,2
4	1,2	9	1,2
9	1,01	12	1,01
12	1,05	14	1,05
14	1,01	20	1,01

Нижні обмежувальні лінії			
Початок		Кінець	
Час	Амплітуда	Час	Амплітуда
0	0	4	0
4	0,8	9	0,8
9	0,99	12	0,99
12	0,75	14	0,75
14	0,99	20	0,99

Після встановлення обмежень необхідно налаштувати межі зміни параметрів, що оптимізуються, та метод оптимізації. В даній роботі використано метод градієнтного спуску.

В кінцевому рахунку в результаті виконання оптимізації необхідно дати сумарну оцінку якості перехідного процесу з використанням отриманих значень коефіцієнтів підсилення PID-контролера.

Виконаємо аналіз системи при допустимому відхиленні (навантаження 5%) в номінальному режимі, час моделювання – 20с, час ввімкнення навантаження – через 13с (рис. 3,4):

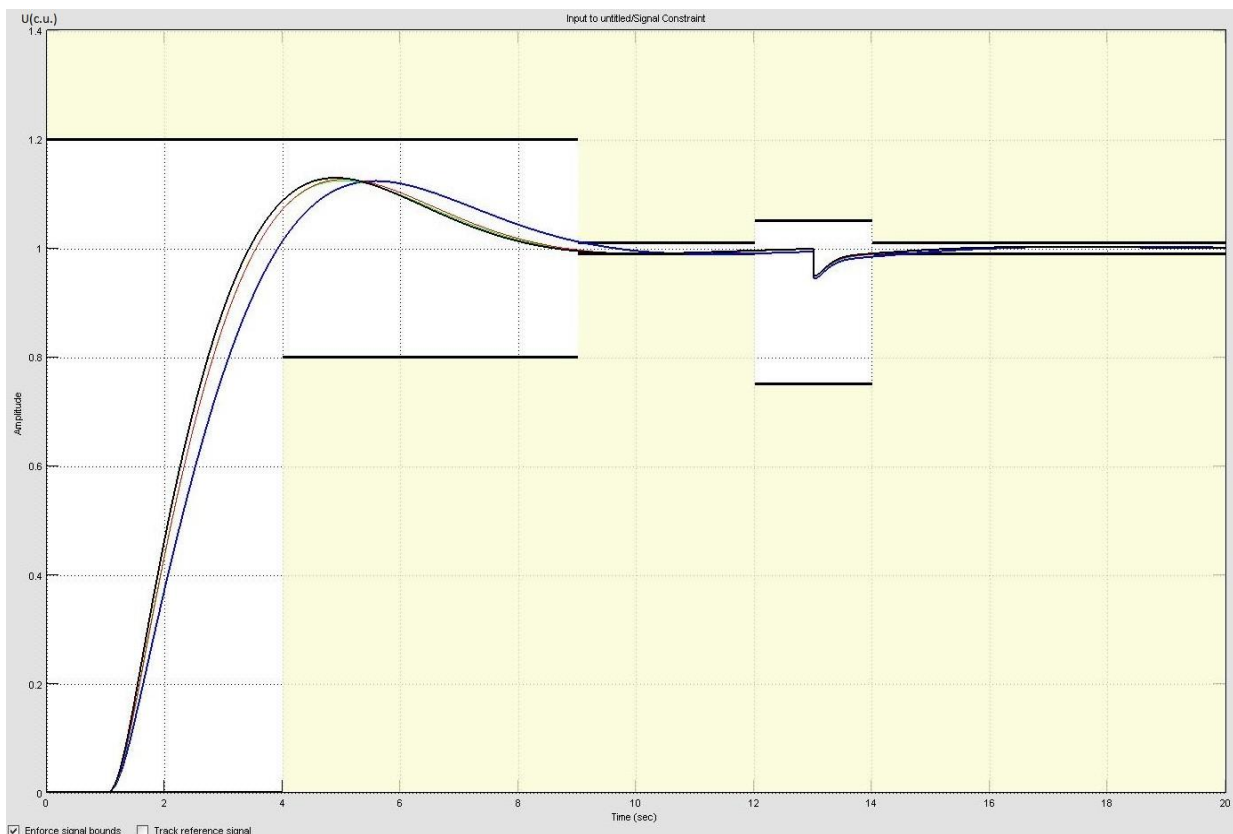


Рисунок 3 – Ітераційна зміна напруги на шинах генератора при 5% збуренні в системі (допустиме відхилення в номінальному режимі)

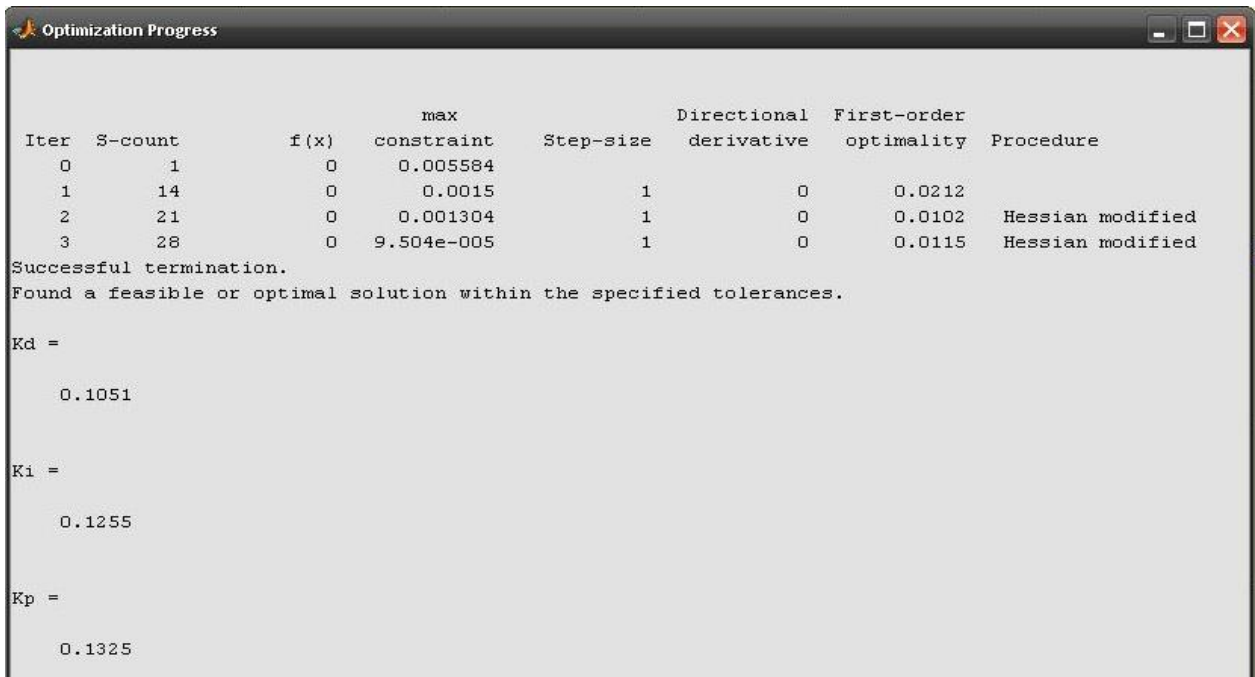


Рисунок 4 – Ітераційний процес оптимізації та оптимальні значення параметрів PID-контролера при допустимому навантаженні 5%

За результатами моделювання при 5% навантаженні процес збігся за 4 ітерації з такими оптимальними значеннями коефіцієнтів підсилення PID-контролера: $k_d = 0.1051$, $k_i = 0.1255$, $k_p = 0.1325$ (рис. 5).

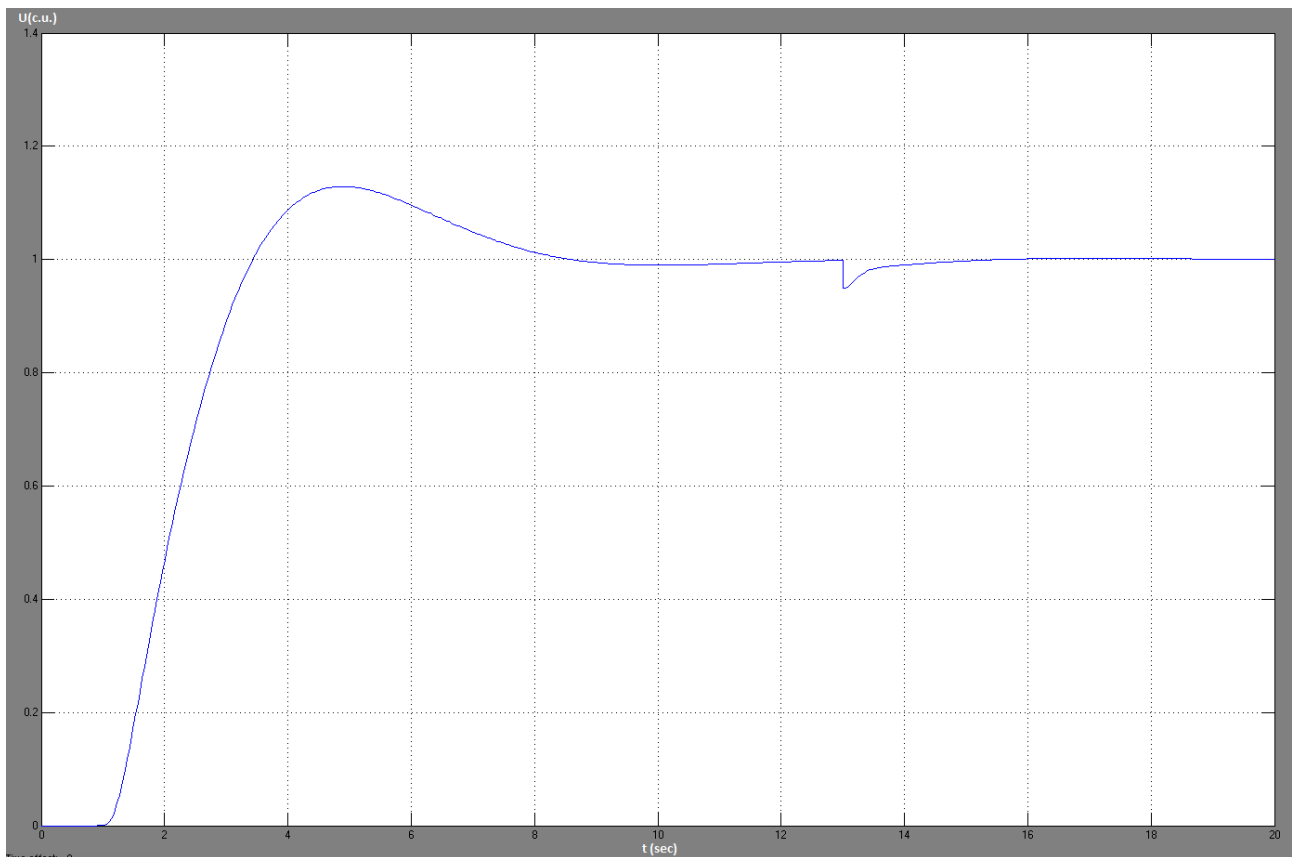


Рисунок 5 – Зміна напруги на шинах генератора при навантаження 5% з встановленими оптимальними значеннями параметрів PID-контролера

Виконаємо моделювання та аналіз системи при навантаженні 25%, час моделювання – 20с, час ввімкнення навантаження – через 13с (рис. 6,7):

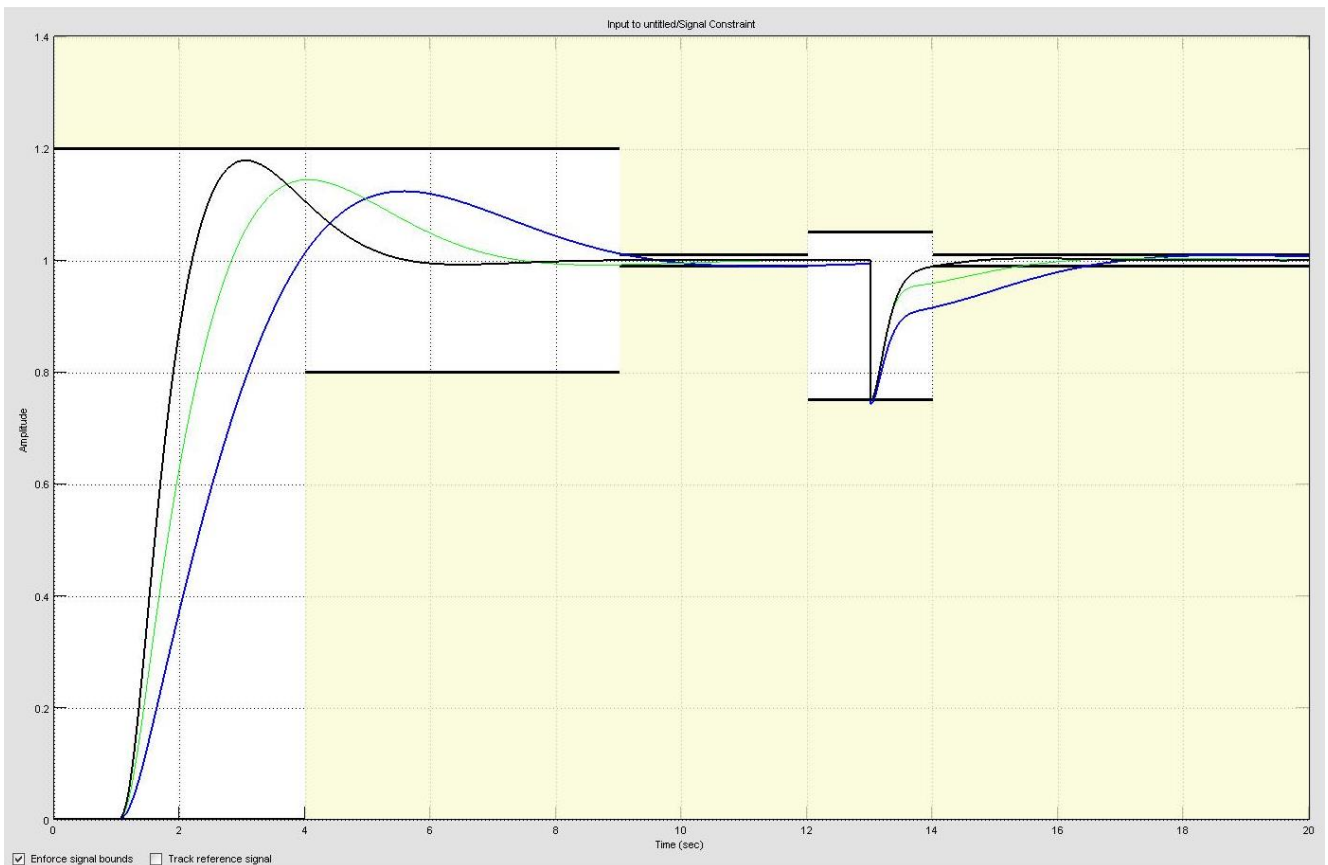


Рисунок 6 – Ітераційна зміна напруги на шинах генератора при 25% збуренні в системі

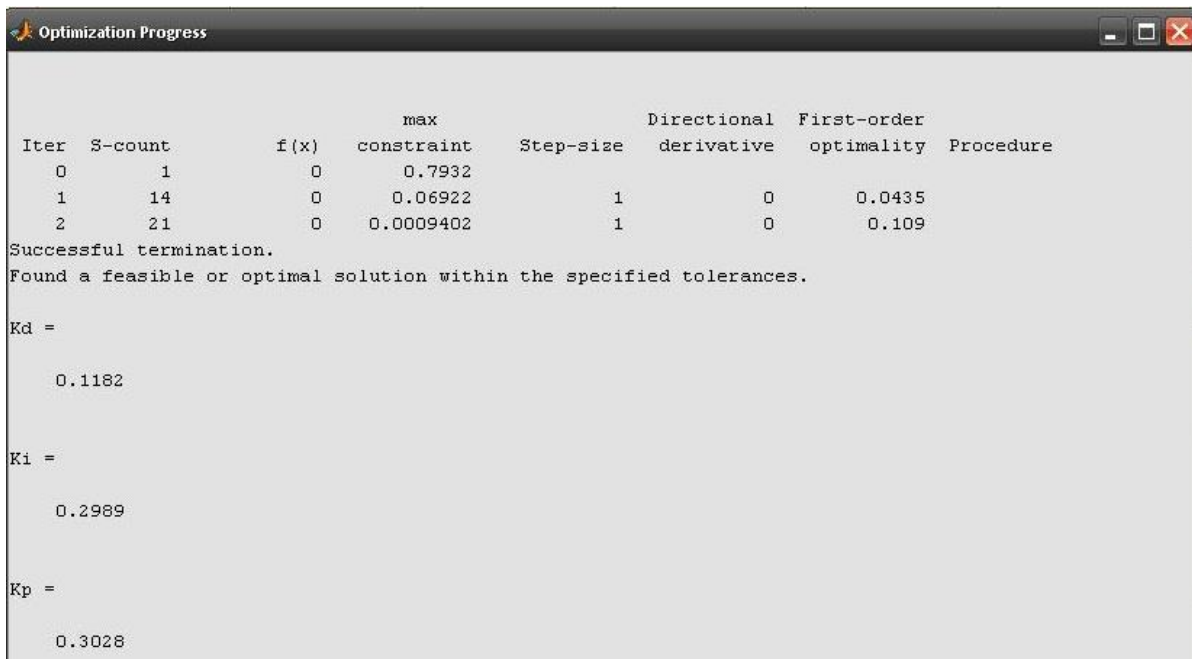


Рисунок 7 – Ітераційний процес оптимізації та оптимальні значення параметрів PID-контролера при навантаженні 25%

Таким чином, за результатами моделювання при 25% навантаженні процес збігся за 3 ітерації з такими оптимальними значеннями коефіцієнтів підсилення PID-контролера: $k_d = 0.1182, k_i = 0.2989, k_p = 0.3028$ (рис. 8).

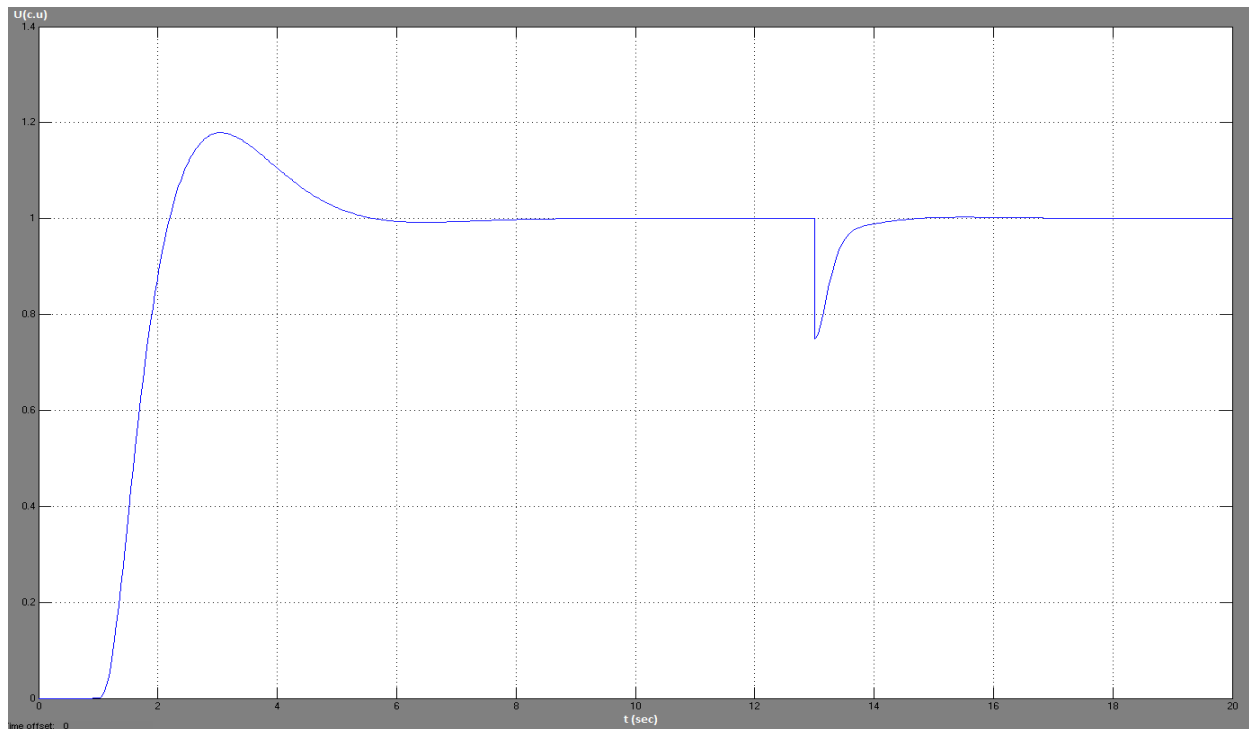


Рисунок 8 – Зміна напруги на шинах генератора при навантаженні 25% з встановленими оптимальними значеннями параметрів PID-контролера

Висновки. Створена модель системи AVR синхронного генератора, що керується PID-контролером. Використання даної моделі дозволило дати сумарну оцінку якості перехідного процесу регулювання напруги синхронного генератора. Аналіз результатів показав, що оптимізація параметрів PID-контролера дозволила зменшити перерегулювання до $\pm 12,3\%$, вихід на усталений режим ($\pm 5\%$) за 0,01 секунду після сигналу збурення (навантаження 5%) та $\pm 17,8\%$, вихід на усталений режим ($\pm 5\%$) за 0,5 секунди після сигналу збурення (навантаження 25%), що відповідає рекомендованим показникам якості перехідного процесу та підтверджує ефективну роботу регулятора.

Перелік посилань

1. Kansit S., Assawinchaichote W. (2016). Optimization of PID Controller based on PSO GSA for an Automatic Voltage Regulator System. *Procedia Computer Science* 86, 87 – 90.
2. Яндутьський О.С., Марченко А.А., Хоменко О.В., Мацейко В.В. Підвищення ефективності роботи центрального регулятора САРЧП при регулюванні частоти та перетоків потужності в ОЕС України // Вісник Чернігівського державного техноло-гічного університету: Серія: Технічні науки - Чернігів: ЧНТУ, 2013. – №3 (67). – С. 233-238
3. Wong C., Li S., Wang H. (2009). Optimal PID Controller Design for AVR System. *Tamkang Journal of Science and Engineering*, Vol. 12, No. 3, 259-270.
4. Теория автоматического управления в среде MATLAB: учеб. пособие / В. И. Будин, Ф. В. Дремов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2014. – 127 с.: ил. 36, табл. 7. Библиогр.: 9 назв.