

Лабораторна робота № 1

Дослідження типових задавальних впливів та збурень в системах керування на основі бібліотеки моделей Simulink

Мета роботи: вивчити основні можливості системи автоматизованого моделювання Simulink, засвоїти методику й особливості застосування Simulink для формування блочно-структурних схем та дослідження аналітичних моделей типових впливів і зовнішніх збурень у системах управління шляхом моделювання складних функціональних залежностей.

Теоретичні відомості

Сигнали, що використовуються при аналізі САУ. Часові характеристики.

Поведінка САУ багато в чому залежить від величини та характеру впливу на систему. Таких впливів (сигналів) існує дуже багато. Це можуть бути аналогові, дискретні сигнали. Причому закон їх зміни може бути відомим наперед (*детерміновані сигнали*), або вони можуть розглядатися як випадкові функції часу (*випадкові сигнали*).

Однак, розглядаючи конкретні умови роботи САУ, можна вибрати такий вплив, який для даної системи є найбільш типовим. Обравши такий вплив і вивчивши викликаний ним перехідний процес, можна зробити висновок про динамічні властивості системи.

Під час аналізу та синтезу САУ як такі впливи використовують кілька типових (тестових) сигналів: одиничний ступінчастий вплив, одиничний імпульс, гармонічний вплив.

Одиничний ступінчастий вплив. Цей вплив має вигляд одиничного стрибка (рис.1.1). Його називають також одиничною функцією $1(t)$, яка набуває таких значень:

$$\begin{cases} 1(t) = 0, \text{ при } t < 0, \\ 1(t) = 1, \text{ при } t \geq 0. \end{cases} \quad (1.1)$$

Такому впливу відповідає, наприклад, збільшення навантаження в системах регулювання кутової швидкості електродвигуна, раптова зміна положення задавальної осі в слідкуючій системі, тощо.

Реакція системи на одиничний ступінчастий вплив за нульових початкових умов називається перехідною функцією $h(t)$ системи; графік цієї функції називається перехідною характеристикою.

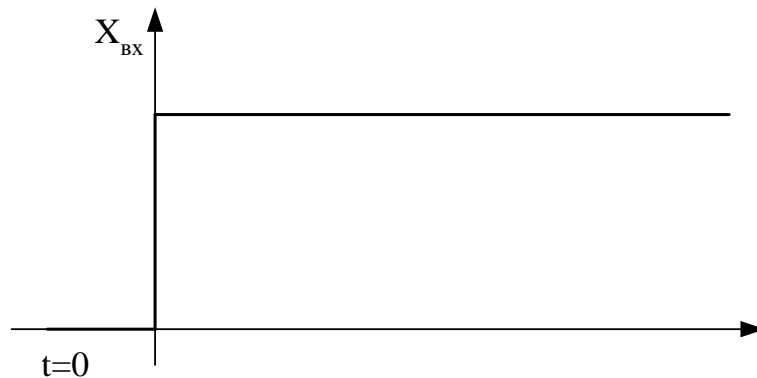


Рис. 1.1. Одиничний ступінчастий вплив

Це дуже важлива характеристика системи: за нею можна судити про стійкість системи, її швидкодію.

Якщо відоме рівняння, що описує САУ, перехідну функцію $h(t)$ можна отримати, розв'язавши це рівняння за нульових початкових умов і прийнявши $x(t)=1(t)$.

Одиничний імпульс (δ -функція). Цей вплив являє собою дуже вузький імпульс, що обмежує одиничну площу (рис. 1.2). Тобто δ -функція задовольняє умовам:

$$\begin{cases} \delta(t) = \infty, & \text{при } t = 0, \\ \delta(t) = 0, & \text{при } t \neq 0. \end{cases} \quad (1.2)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1.$$

За реальних умов вплив у вигляді δ -функції має місце, наприклад, у випадку раптового входження літака в струмінь повітря, що рухається перпендикулярно траєкторії руху літака.

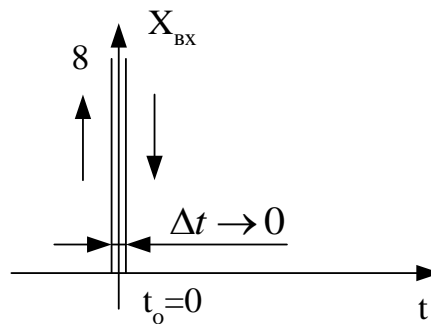


Рис.1.2. Вплив у вигляді δ -функції

Іншими словами, за вплив одиничного імпульсу може бути прийнятий вплив імпульсу будь-якої форми і малої довжини порівняно з очікуваним часом перехідного процесу.

Реакція системи на одиничний імпульсний вплив за нульових початкових умов називається імпульсною перехідною функцією $w(t)$ системи. Графік цієї функції називається імпульсною перехідною характеристикою.

Перехідна та імпульсна перехідна функції називаються *часовими* функціями. Між ними існує зв'язок:

$$\frac{dh(t)}{dt} = w(t). \quad (1.3)$$

Аналогічно пов'язані між собою одинична функція та одиничний імпульс:

$$\frac{dl(t)}{dt} = \delta(t). \quad (1.4)$$

Гармонічний вплив. Цей вплив може бути записаний у вигляді:

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi), \quad (1.5)$$

де A - амплітуда коливань; ω - кругова частота.

Використання гармонічного впливу різної частоти дозволяє отримати математичний опис системи у вигляді частотних характеристик.

Крім наведених вище сигналів під час аналізу САУ використовують також сигнали вигляду: $x(t) = kt$; $x(t) = kt^2$; $x(t) = kt^3$ і т.д., які дозволяють визначити порядок астатизму системи (п. 1.6).

Якщо відома перехідна $h(t)$ або імпульсна перехідна $w(t)$ функція, можна визначити реакцію системи на вплив довільної форми. Для цього використовують *принцип динамічного подання сигналу*, відповідно до якого реальний сигнал приблизно описується сумою деяких елементарних сигналів, що виникають у послідовні моменти часу. Якщо довжина окремих елементарних сигналів наближається до нуля, то в границі буде отримано точне зображення вхідного сигналу.

Основні види автоматичного керування

Основними задачами автоматичного керування є: підтримання величини вихідної координати постійною; зміна вихідної координати за заданою програмою, зміна вихідної координати за деяким випадковим законом.

Відповідно до цих задач можна виділити такі групи САУ: системи стабілізації, системи програмного керування, слідкуючі системи. Окрім цього, виділяють системи екстремального керування, оптимальні системи, адаптивні системи.

Системи стабілізації призначені для підтримки постійного значення керованої величини. Алгоритм функціонування в таких САУ може бути

записаний у вигляді: $y(t)=const$. До систем стабілізації належать системи регулювання числа обертів двигуна, стабілізації напруги генератора, стабілізації температури, тощо.

Системи програмного керування – це системи, в яких вихідна координата змінюється за раніше визначеною програмою. Алгоритм функціонування таких систем може бути записаний у вигляді $y_0=F[x(t)]$, де функція F і дія $x(t)$ наперед визначені.

Програмне керування можна здійснювати за будь-яким принципом керування або за допомогою їх комбінації.

У реальних системах використовуються два види керування: з часовою програмою і з просторовою програмою. У першому випадку ЗП виробляє безпосередньо функцію $x(t)$. У системах з просторовою програмою рух виконавчого органу (інструменту верстатів, захвату роботів, тощо) здійснюється за заданою в просторі траєкторією.

Слідкуючі системи – це системи, в яких вихідна координата змінюється за випадковим, наперед невідомим законом. У таких системах алгоритм функціонування завчасно невідомий; його можна записати у вигляді: $y_0(t)=F[x(t)]$, де функція F задана, а закон зміни задавальної дії $x(t)$ невідомий. Власне слідкуюча система має алгоритм функціонування $y_0(t)=x(t)$, тобто вихідна координата повинна із заданою точністю відтворювати сам задавальний вплив. У більш загальному випадку слідкуючі системи не тільки слідкують за задавальним впливом, але й перетворюють його за певним законом. Тоді ці системи називають *перетворювальними*, а їх алгоритми функціонування можуть мати вигляд:

$$y_0(t) = m \cdot x(t) \text{ - для масштабних систем;}$$

$$y_0(t) = \int_0^t x(t)dt \text{ - для інтегруючих систем;}$$

$$y_0(t) = \frac{dx(t)}{dt} \text{ - для диференціюючих систем.}$$

Оскільки в слідкуючих системах вхідний вплив являє собою випадкову величину, то для забезпечення високої якості регулювання система повинна

мати регулятор (КП) з високою швидкістю і високою точністю.

Прикладом можуть бути: система відпрацювання кута повороту командної осі, радіолокаційна система автоматичного супроводу літаків, системи керування об'єктами великої маси, тощо.

Слідкуюча система може бути виконана відповідно до будь-якого принципу керування.

Системи екстремального керування здійснюють пошук екстремуму деякої функції і забезпечують роботу в режимі, близькому до екстремуму. Наприклад, система, що забезпечує настроювання радіоприймача на частоту передавальної станції за найбільшою гучністю прийому або за найбільшою яскравістю свічення індикаторної лампи. Необхідним елементом у такій системі є чутливий елемент, що знаходить екстремум.

Оскільки в системах екстремального керування вимірюється значення керованої координати, вони належать до класу систем керування за замкнутим контуром.

Системи оптимального керування. Оптимальне керування використовується як у технічних системах для підвищення ефективності виробничих процесів, так і в системах організаційного керування для вдосконалення діяльності підприємств. Причому, в першому випадку оптимізація суттєва для перехідних процесів, а в організаційних системах звичайно цікавляться ефективністю конкретного результату. Оптимальні системи можуть бути як розімкнутими, так і замкнутими.

Адаптивні системи. Адаптивними називаються системи, які автоматично змінюють значення своїх параметрів або структуру при непередбачених змінах зовнішніх умов, щоб зберігати задану якість її роботи.

Адаптивні системи зі зміною значень параметрів називають системами із *самонастроюванням*, а системи зі зміною структури - системами із *самоорганізацією*.

Загальна характеристика бібліотеки типових блоків Simulink

У системі автоматизованого моделювання Simulink сформована бібліотека типових блоків, за допомогою яких можна створювати блочно-структурні схеми елементів і систем автоматичного управління для дослідження статичних та динамічних характеристик, стійкості й частотних характеристик, розв'язання задач параметричної ідентифікації, дослідження нелінійних систем управління та систем із змінною структурою. У довідковій системі Simulink наведені основні відомості про типові блоки Simulink.

Бібліотека Simulink містить наступні основні розділи:

- *Continuous* - лінійні блоки.
- *Discrete* - дискретні блоки.
- *Functions & Tables* - функції і таблиці.
- *Math Operations* - блоки математичних операцій.
- *Nonlinear* - нелінійні блоки.
- *Signals & Systems* - сигнали і системи.
- *Sinks* - реєструючі пристрої.
- *Sources* - джерела сигналів і впливів.
- *Subsystems* - блоки підсистем.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з обчислювальним середовищем Simulink, режимами моделювання розроблених моделей.

2. Визначити основні властивості типових блоків Simulink:

- генератори сигналів (*Simulink/Sources*);
- арифметичні блоки (*Simulink/Math Operations*);
- логічні блоки (*Simulink/Logic and Bit Operations*);
- приймачі сигналів (*Simulink/Sinks*).

3. Засвоїти правила і комп'ютерну технологію формування блочно-структурних схем у Simulink.

4. Здійснити моделювання типового ступінчастого сигналу з використанням генераторного блока *Simulink/Source/Step*, що формує при

дослідженні систем автоматичного управління типовий задавальний сигнал

$$g(t) = 1(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } t \geq 0; \\ 0 & \text{при } t < 0. \end{cases} \quad (1.6)$$

Приклад побудови модельної схеми для вивчення генераторного блоку наведено на рис. 1.3. Для зручної роботи з результатами моделювання рекомендується здійснити експорт даних симуляції в робоче середовище (*Workspace*) Matlab.

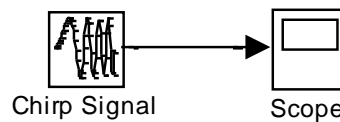


Рис. 1.3. Модельна схема Simulink для вивчення особливостей використання генераторного блоку Simulink/Sources/Chirp Signal

Для цього необхідно зайти в меню налаштування параметрів блоку *Scope*, на вкладці *Data History* зняти галочку, щодо обмеження кількості точок (*Limit data points to last*) та встановити режим збереження результатів моделювання до робочої області Matlab (*Save data to workspace*), ввести ім'я змінної для запису даних (за замовчуванням *ScopeData*) та вибрати *Format: Array*.

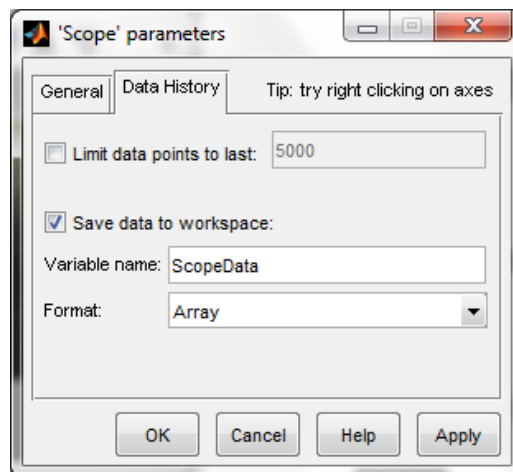


Рис. 1.4. Налаштування блоку *Scope* для експорту даних симуляції в робоче середовище Matlab

Після запуску моделювання в робочому середовищі Matlab з'явиться нова змінна, що представляє собою двовірний масив, в якому зберігаються вихідний сигнал та відповідний йому момент часу. Для побудови графіку слід застосувати команду *Plot*:

```
plot (ScopeData (:,1) , ScopeData (:,2) ) ;
```

Результат моделювання наведено на рис. 1.5.

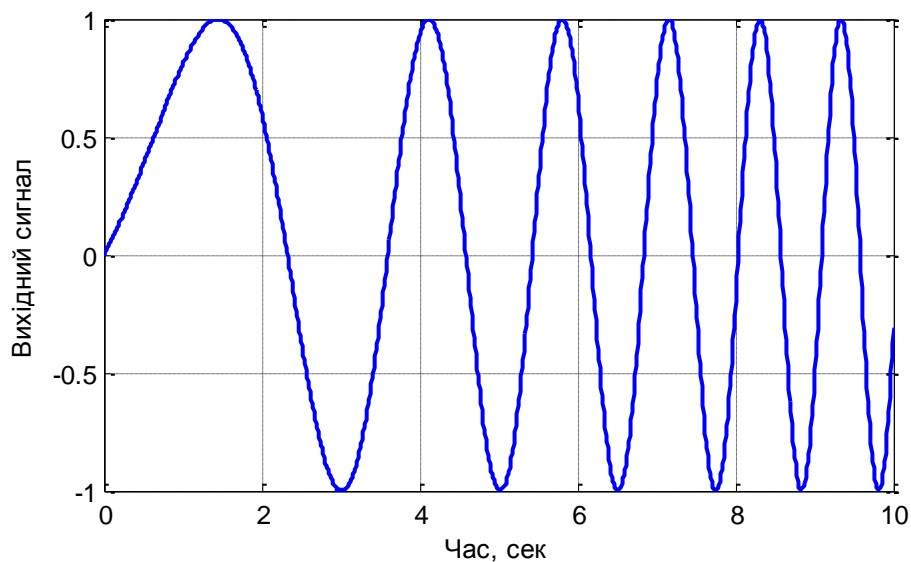


Рис. 1.4. Результат моделювання схеми рис. 1.3. Побудова графіка за допомогою команди *Plot*

5. Здійснити моделювання типових гармонічних (синусоїдальних) сигналів:

$$g_1(t) = A_1 \sin \omega t \quad (1.7)$$

з використанням генераторного блока *Simulink/Sources/Sine Wave*, що формує синусоїдальний сигнал при різних значеннях частоти й амплітуди (наприклад, $\omega = \{0,5;1\} \text{ c}^{-1}$, $A_1 = \{1;2;5\}$ для $t_0 = 0 \text{ c}$, $\Delta t = 0,01 \text{ c}$, $t_k = 20 \text{ c}$, де t_0 - початковий момент часу моделювання; Δt - величина кроку моделювання; t_k - кінцевий момент часу моделювання; значення кроку та часу моделювання задаються в

меню *Simulation/Configuration Parameters*, де необхідно обрати *type: fixed step*, *Start time: 0*, *Stop time 20*, *Fixed-step size: 0.01*);

$$g_2(t) = A_2 \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1.8)$$

За допомогою блоку *Simulink/Signal Routing/Mux* здійснити вивід функціональних залежностей (1.7) і (1.8) на один блок *Scope* та провести порівняльний аналіз результатів моделювання залежностей (1.7) і (1.8). Приклад подання кількох сигналів на один блок *Scope* наведено на рис. 1.5.

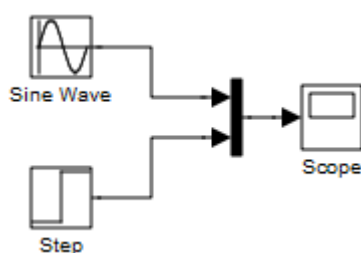


Рис. 1.5. Подання кількох сигналів на один блок *Scope* за допомогою блоку *Simulink/Signal Routing/Mux*

6. Здійснити моделювання типових задавальних сигналів для програмних та слідкуючих систем автоматичного керування:

$$g_1(t) = k_1 t \quad \text{при } t \geq 0; \quad (1.9)$$

$$g_2(t) = k_2 t^2 \quad \text{при } t \geq 0 \quad (1.10)$$

Приклад побудови схеми $g_3(t) = k_3 t^3$ при $t \geq 0$; для моделювання степеневих задавальних впливів наведено на рис. 1.6. В схемі для генерації модельного часу t використано блок *Simulink/Sources/Clock*. Степенева функція t^3 задана за допомогою блоку *Simulink/Math Operations/Math Function*, де в якості функції обрано зведення до степеня (*pow*), показник якого задається константою *Simulink/Sources/Constant*. Блок *Simulink/Math Operations/Gain* задає значення коефіцієнта k_3 .

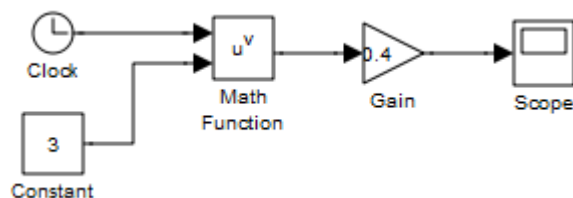


Рис. 1.6. Модельна схема Simulink для моделювання степеневих задавальних впливів

З використанням блоку *Simulink/Math Operations/Sum* здійснити моделювання сукупної залежності степеневих функцій:

$$g_4(t) = k + k_1 t + k_2 t^2 + k_3 t^3 + k_4 t^4 \quad \text{при } t \geq 0 \quad (1.11)$$

Проаналізувати результати моделювання при різних значеннях коефіцієнтів k_0, k_1, k_2, k_3, k_4 . Наприклад, для $t_k = 10$ с доцільно дослідити типові впливи при $k_0 = 3,5$; $k_1 = 0,8$; $k_2 = 0,2$; $k_3 = 0,04$; $k_4 = 0,005$. Порівняти типові сигнали (1.9)-(1.11).

7. Здійснити моделювання типових задавальних сигналів для слідкуючих САУ радіолокаційних станцій за функціональною залежністю

$$g(t) = \arctg(\alpha t) \quad (1.12)$$

Проаналізувати результати моделювання при різних значеннях коефіцієнта α . Наприклад, доцільно дослідити типові впливи при $t_0 = -20$ с, $\Delta t = 0,01$ с, $t_k = 20$ с для $\alpha_1 = 0,25$; $\alpha_2 = 0,75$.

8. Здійснити моделювання типових задавальних сигналів для електромашинних слідкуючих САУ та слідкуючих САУ з тиристорними перетворювачами за функціональною залежністю

$$\beta(t) = |\beta_0| t + \beta_{\max} \sin \omega_p t, \quad (1.13)$$

де $|\beta_0|$ – постійна складова швидкості зміни задавального впливу;

β_{\max}, ω_p – амплітуда та робоча частота гармонічної складової задавального впливу.

При проектуванні електромашинних слідкуючих систем автоматичного управління замовник найчастіше задає значення таких параметрів:

$\dot{\beta}_{\max}$ – максимальне значення першої похідної задавального впливу;

$\ddot{\beta}_{\max}$ – максимальне значення другої похідної задавального впливу;

$\dddot{\beta}_{\max}$ – максимальне значення третьої похідної задавального впливу.

При цьому можна визначити наступні параметри задавального сигналу (1.13):

$$\omega_p = \frac{\dddot{\beta}_{\max}}{\ddot{\beta}_{\max}}; \quad \beta_{\max} = \frac{\left(\ddot{\beta}_{\max}\right)^3}{\left(\dddot{\beta}_{\max}\right)^2}; \quad |\beta_0| = \dot{\beta}_{\max} - \omega_p \beta_{\max} = \dot{\beta}_{\max} - \frac{\left(\ddot{\beta}_{\max}\right)^2}{\left(\dddot{\beta}_{\max}\right)};$$

У результаті чого вказаний сигнал набуває вигляду

$$\beta(t) = \left(\dot{\beta}_{\max} - \frac{\left(\ddot{\beta}_{\max}\right)^2}{\left(\dddot{\beta}_{\max}\right)} \right) t + \frac{\left(\ddot{\beta}_{\max}\right)^3}{\left(\dddot{\beta}_{\max}\right)^2} \sin \left(\frac{\dddot{\beta}_{\max}}{\ddot{\beta}_{\max}} t \right). \quad (1.14)$$

Далі необхідно проаналізувати результати моделювання типових задавальних сигналів для електромашинних слідкуючих САУ за функціональною залежністю (1.14) для двох різних варіантів (варіанти задає викладач) та дослідити вплив початкових даних ($t_0 = 0$ с, $\Delta t = 0,01$ с, $t_k = 20$ с) на вигляд типового сигналу.

Приклад побудови модельної схеми для моделювання задавальних сигналів слідкуючих САУ для виразу (1.15) наведено на рис. 1.7.

$$\beta(t) = \left(\ddot{\beta}_{\max} - 1 \right) t + \frac{\left(\dot{\beta}_{\max} \right)^2}{\left(\ddot{\beta}_{\max} \right)^3} \sin \left(3 \frac{\ddot{\beta}_{\max}}{\dot{\beta}_{\max}} t \right). \quad (1.15)$$

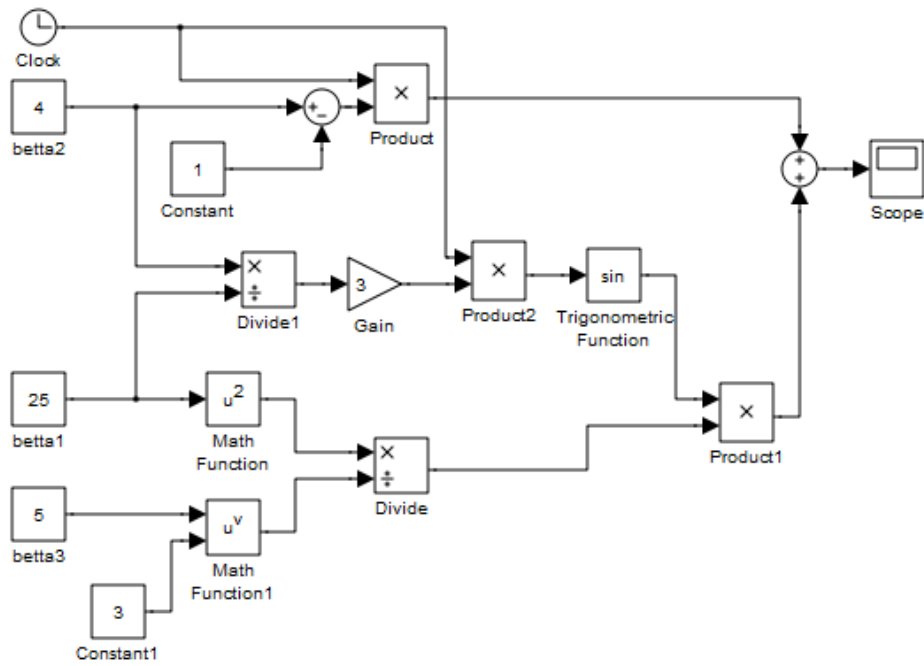


Рис. 1.7. Схема для моделювання задавальних сигналів слідкуючих САУ на прикладі залежності (1.15)

За допомогою налаштувань блоку *Scope* (пп. 4) здійснити експорт даних симуляції в робоче середовище Matlab та побудувати її графік із застосуванням команди *Plot*.

Лістинг для побудови графіку функції (1.15) наведено нижче:

<code>plot(ScopeData(:,1),ScopeData(:,2));</code>	Побудова графіка функції
<code>grid on;</code>	Побудова сітки на графіку
<code>xlabel('t, sec');</code>	Введення назви осі x
<code>ylabel('betta(t)');</code>	Введення назви осі y
<code>title('Tracking control system');</code>	Введення назви графіку

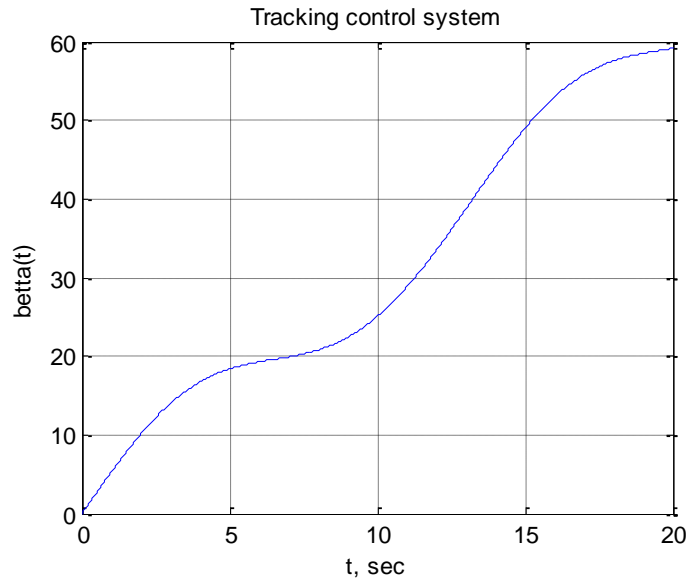


Рис. 1.8. Результат моделювання задавальних сигналів слідкуючих САУ на прикладі залежності (1.15)

9. Здійснити моделювання збурювальних впливів стохастичного характеру на основі генераторних блоків формування випадкових сигналів:

а) з рівномірним законом розподілу для граничних параметрів з використанням блоку *Simulink/Sources/Uniform Random Number*

$$Y_{\min} = 0, Y_{\max} = 1;$$

$$Y_{\min} = -5, Y_{\max} = 5;$$

б) з нормальним законом розподілу для значення дисперсії (*Mean*) $D = 1$ і двох значень математичного сподівання (*Variance*) $m_0 = 0$ та $m_0 = 4,5$ з використанням блоку *Simulink/Sources/Random Number*.

Проаналізувати результати моделювання при $t_0 = 0$ с, $\Delta t = 0,01$ с, $t_k = 10$ с.

10. Побудувати за допомогою системи Simulink графік функції $y = f(t)$, яка визначається на інтервалі $t_0 \dots t_{\max}$ згідно з варіантами, що задаються викладачем.

При цьому необхідно:

- синтезувати блочно-структурну схему моделі в Simulink;
- дослідити блочно-структурну Simulink-схему в режимі моделювання;
- проаналізувати табличні і графічні результати моделювання.

11. Підготувати до захисту звіт. Файли з моделями Simulink зберігати до захисту роботи, щоб при необхідності мати можливість продемонструвати чи додатково проаналізувати результати моделювання.

У звіт необхідно включити:

а) назву та мету виконання лабораторної роботи, загальну характеристику системи Simulink;

б) опис типових блоків Simulink з класифікацією за призначенням (генераторні блоки; динамічні блоки, або блоки динамічних структурних ланок; функціональні блоки; нелінійні блоки; логічні блоки, або блоки логічних функцій);

в) всі функціональні залежності згідно з варіантами, що задаються викладачем згідно пп. 4-10;

г) Simulink-моделі (1.1)-(1.14) згідно з пп. 4-10, що забезпечують схемну реалізацію відповідних функціональних залежностей;

д) результати моделювання згідно з пп. 4-10 в графічному вигляді та їх аналіз.

Контрольні питання

1. Призначення і можливості Simulink.
2. Режими моделювання системі автоматизованого моделювання Simulink.
3. Основні правила і методика формування блочно-структурних схем у Simulink.
4. Основні характеристики типових блоків Simulink.
5. Типові сигнали і впливи в САУ.
6. Методи настроювання параметрів типових сигналів САУ за допомогою Simulink-моделей.
7. Формування блочно-структурних моделей за заданими функціональними залежностями на основі бібліотеки типових блоків Simulink.