МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Навчально-науковий інститут енергетики та комп'ютерних технологій

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з навчальних дисциплін

ЕЛЕКТРОПРИВОД ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

Затверджено
на засіданні кафедри «Інтегровані електротехнології та процеси»
Протокол № 11 від 31.08.2017 р.

Затверджено
на засіданні Методичної ради навчально-наукового інституту енергетики та комп'ютерних технологій
Протокол № 1 від 5.09.2017 р.

Харків 2017

6Ф 6.5
Ж 91
ББК-62-52 (075)

Автори укладачі: Кунденко М. П., проф., д.т.н., завідувач кафедри ІЕТП; Бровко К. Ю., ст. викладач (Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка).

Під редакцією: Кунденко М. П., проф., д.т.н., завідувач кафедри ІЕТП (Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка).

Методичні вказівки до лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Електропривод та автоматизація» / М. П. Кунденко, К. Ю. Бровко. - Х.: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2017. – 21 с.

Рецензенти:

Єгоров Олексій Борисович, к.т.н., доцент Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка (м. Харків)

Методичні вказівки призначені для виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Електропривод та автоматизація».

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ MATLAB

1.1 Мета роботи

Освоєння методики одержання передавальних функцій цифрових систем управління за допомогою MATLAB.

Вивчення функцій MATLAB, що перетворюють моделі безперервних систем в дискретні, і навпаки – моделі дискретних систем в безперервні.

Моделювання дискретних систем автоматичного управління з використанням функції step, impulse і lsim.

1.2 Підготовка до лабораторної роботи

Для успішного виконання лабораторної роботи необхідно ознайомитися із змістом роботи, вивчити рекомендовану літературу і відповісти на питання для самоперевірки.

1.3 Основні теоретичні положення

Моделі об'єктів у вигляді дискретних передавальних функцій отримуються в MATLAB за допомогою функції **tf**. Подібно до того, як це робиться в безперервних системах. Застосування функції **tf** проілюстроване на рис. 1.1. Там же показано, як за допомогою функцій **c2d** і **d2c** можна виконати перетворення моделі системи. Функція **c2d** перетворить безперервну систему в дискретну, а функція **d2c** - навпаки.

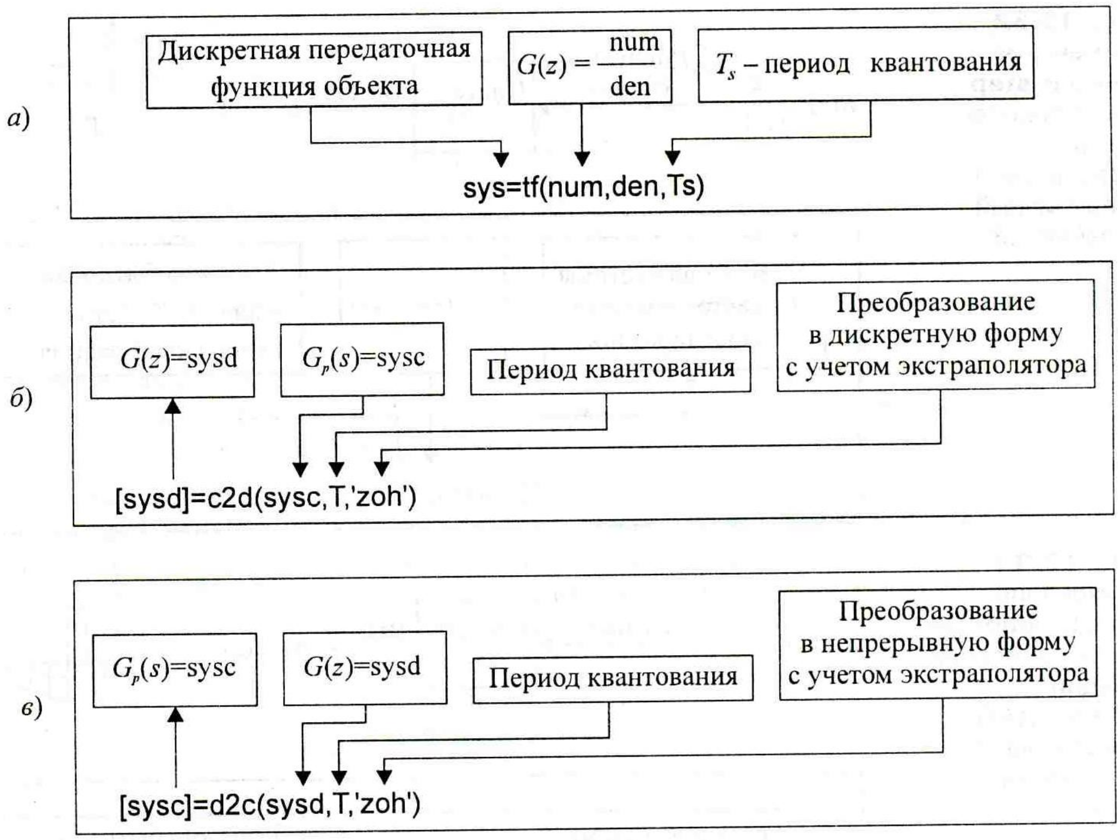
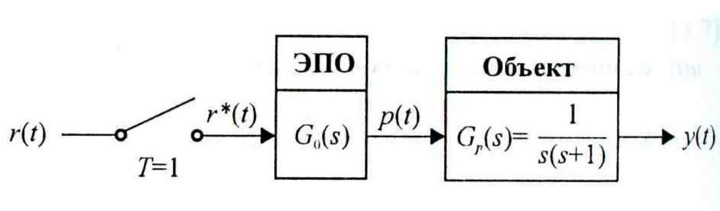


Рисунок 1.1 – Функції системи MATLAB

а – функція **tf**; б – функція **c2d**; в – функція **d2c**

У якості прикладу, розглянемо замкнену дискретну систему, зображену на рис 1.2.

Рисунок 1.2 – Розімкнена дискретна система



Об'єкт управління має передавальну функцію

$$G_p(p) = \frac{1}{p(p+1)}$$

У прикладі 4.3 курсу лекцій [1] при періоді квантування T= 1 с була одержана передавальна функція (див. вираз 4.15)

$$G(z) = \frac{0,3678(z+0,7189)}{(z-1)(z-0,3678)} = \frac{(0,3678z+0,2644)}{z^2-1,3678z+0,3678} \tag{1.1}$$

На рис. 1.3 показано, як та ж сама передавальна функція може бути одержана за допомогою MATLAB.

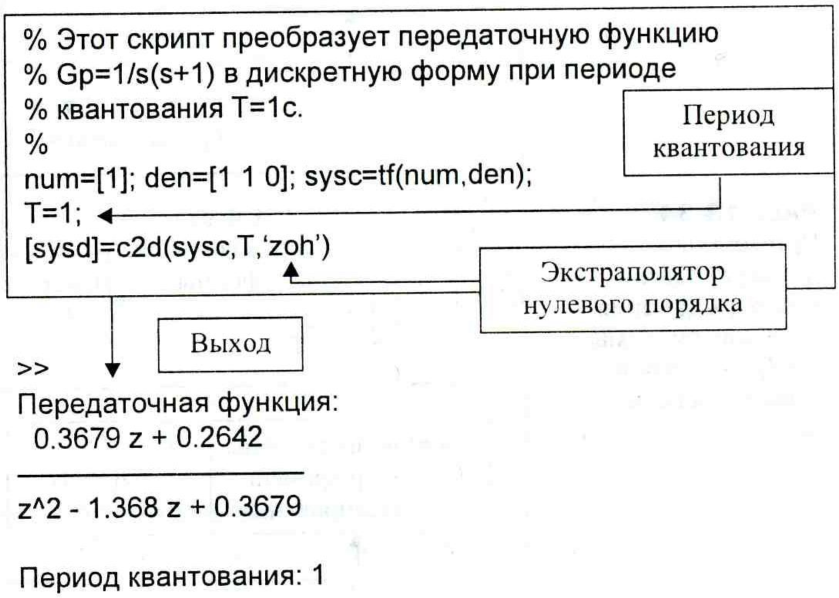


Рисунок 1.3 – Використання функції **c2d** для перетворення

$G(p) = G_0(p)G_p(p)$ в $G(z)$

При моделюванні дискретних систем також використовуються функції step, impulse і lsim. Застосування функції step, за допомогою якої визначається перехідна характеристика системи, проілюстровано на рис. 1.4. Реакція системи на одиничний імпульсний сигнал знаходиться за допомогою функції impulse, а функція lsim дозволяє знайти реакцію системи на довільний вхідний сигнал. Застосування функцій impulse і lsim проілюстровано відповідно на рис. 1.5 і 1.6. Ці функції стосовно дискретних систем діють по суті так само, як аналогічні функції для безперервних систем.

Рисунок 1.4 – Використання функції step для визначення реакції системи $y(kT)$ на одиничний ступінчатий сигнал

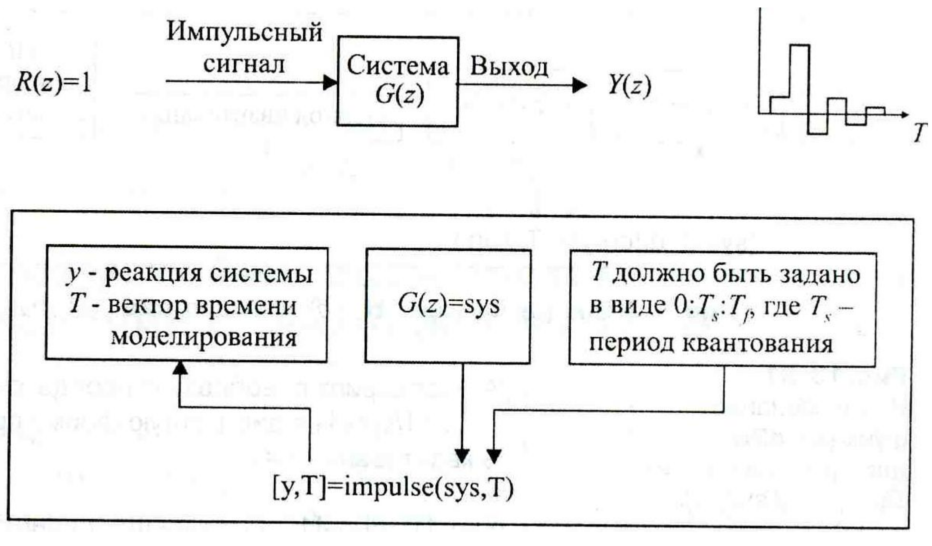


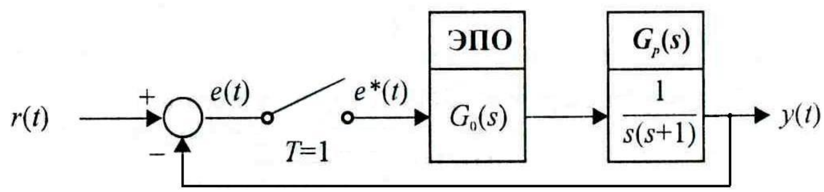
Рисунок 1.5 – Використання функції impulse для визначення реакції системи $y(kT)$ на одиничний імпульсний сигнал

Рисунок 1.6 – Використання функції lsim для визначення реакції системи $y(kT)$ на сигнал довільного виду

Знову повернемося до розімкненої дискретної системи, представленої на рис 1.2. У прикладі 4.3 [1] була одержана перехідна характеристика системи шляхом утомливого ділення чисельника на знаменник. Той же результат, але набагато простіше, можна одержати за допомогою функції step, як показано на рис. 1.4.

Розглянемо замкнуту дискретну систему, представлену на рис 1.7.

Рисунок 1.7 – Замкнена дискретна система



Передавальна функція цієї системи була отримана в прикладі 5.1 [1]

$$\frac{Y(z)}{R(z)} = \frac{0,3678z + 0,2644}{z^2 - z + 0,6322}$$

На рис 1.8 показано, як знаходиться перехідна характеристика досліджуваної системи. Відповідна перехідна характеристика дискретної системи зображена на рис. 5.4 [1].

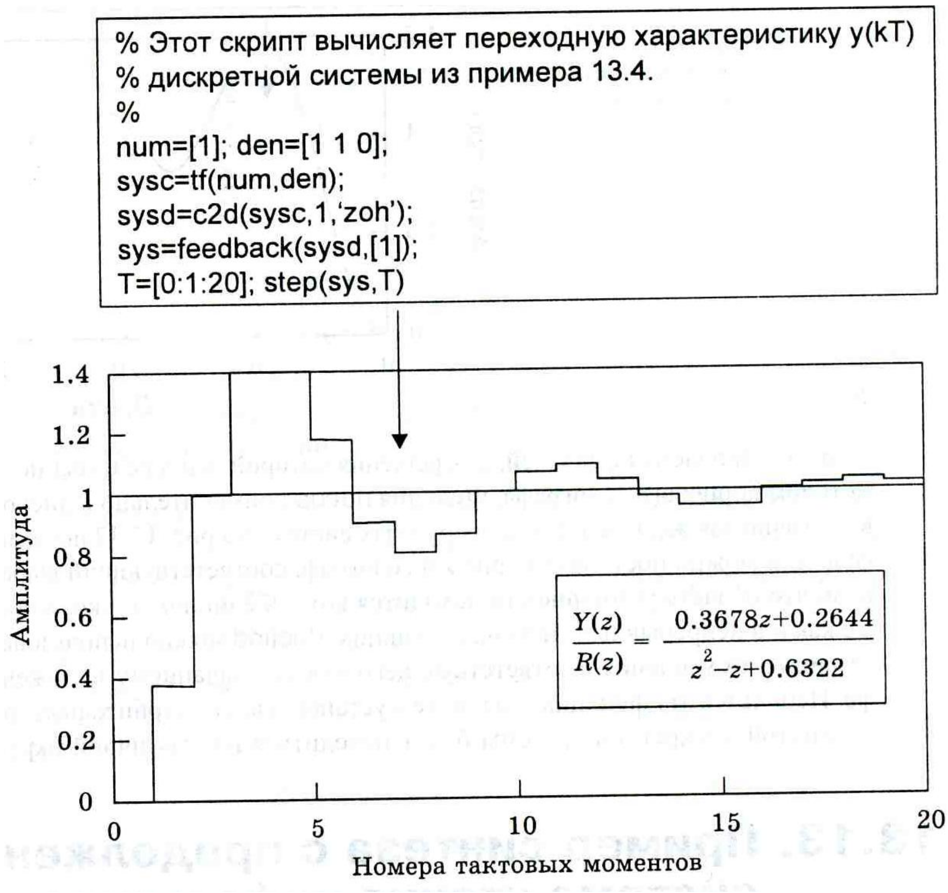


Рисунок 1.8 – Реакція $y(kT)$ дискретної системи другого порядку на одиничний ступінчастий вхідний сигнал

Для визначення дійсної реакції системи у вигляді безперервної функції $y(t)$ може бути використаний скрипт MATLAB. приведений на рис. 1.9. У цьому скрипті член e^{pT} був апроксимований дрібно-раціональним виразом за допомогою функції pade другого порядку при періоді квантування $T = 1\ c$.

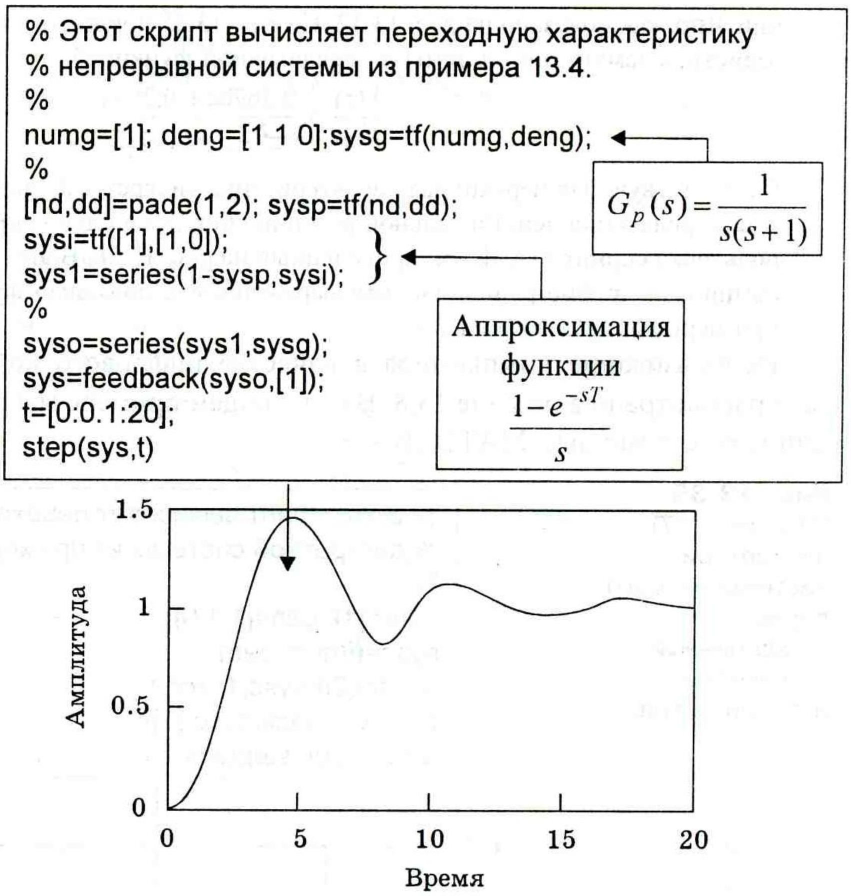


Рисунок 1.9 – Реакція $y(kT)$ системи, зображеної на рис 13.16 [1], на одиничний ступінчастий вхідний сигнал

1.4 Устаткування лабораторної установки

Лабораторна робота виконується на обчислювальному центрі академії. Для виконання лабораторної роботи необхідні:

1 – персональний комп’ютер;

2 – принтер;

3 – пакет прикладних програм MATLAB.

1.5 Порядок виконання роботи

1. Для розімкненої дискретної системи, зображеної на рис 1.2. з передавальною функцією $G_p(p)$. що задається викладачем, який проводить заняття, і заданим періодом квантування *T*, одержати передавальну функцію $G(z)$ в z-області за допомогою функцій **c2d** (див рис.1.3).

2. Застосування функції **d2c** виконати перетворення моделі дискретної системи в безперервну.

3. Визначити передатну функцію замкненої дискретної системи (див. рис 1.7).

4. Виконати моделювання замкненої дискретної системи, використовуючи функції step, $\mathrm{impulse}$ і lsim.

5. Виконати пункти 1÷4 для декількох інших передавальних функцій $G_p(p)$ і періодів квантування *T*, що задаються викладачем.

1.6 Оформлення звіту.

Звіт оформляється і пред'являється індивідуально кожним студентом на підпис і співбесіду викладачу наприкінці лабораторного заняття. Усі необхідні розрахунки і побудови відповідних графіків виконуються в процесі виконання лабораторної роботи. Лабораторна робота вважається виконаною тільки після перевірки викладачем звіту і проведення співбесіди по суті питань, що є предметом дослідження. Звіт про роботу повинний бути затверджений і предявлений на заліку по лабораторному практикумі після виконання всіх робіт, передбачених планом по дисципліні.

Звіт по лабораторній роботі повинний містити такі пункти.

1. Мету роботи.

2. Схему розімкненої і замкненої дискретної системи, задані передавальні функції $G_p(p)$ та отримані передавальні функції $G(z)$.із зазначенням величини T.

3. Графіки всіх перехідних процесів, одержаних за допомогою функційstep, impulse і lsim.

4. Тексти всіх скриптів, які використовувались при виконанні роботи.

5. Висновки по лабораторній роботі.

2.9 Питання для самоперевірки

1. За допомогою якої функції отримуються моделі об'єктів у вигляді дискретних передавальних функцій в MATLAB?

2. За допомогою яких функцій можна виконати перетворення моделі безперервної системи в дискретну і навпаки?

3. Як визначається передавальна функція замкненої дискретної системи?

4. Що називається перехідною і імпульсною перехідною характеристиками системи?

5. Як визначається перехідна і імпульсна перехідна характеристики системи в MATLAB?

6.За допомогою якої функції в MATLAB визначається реакція системи на довільний вхідний сигнал?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА МЕТОДОМ КОРЕНЕВОГО ГОДОГРАФА НА z–ПЛОЩИНІ З ВИКОРИСТАННЯМ MATLAB

2.1 Мета роботи

Вивчення методики корекції цифрової системи методом кореневого годографа на z–площині з використанням MATLAB

2.2 Підготовка до лабораторної роботи

Для успішного виконання лабораторної роботи необхідно ознайомитися із змістом роботи, вивчити рекомендовану літературу і відповісти на питання для самоперевірки.

2.3 Основні теоретичні положення

Використання комп'ютера як цифрового коректуючого пристрою розглянуто в розділі 4 [1]. У даній лабораторній роботі ми розглянемо те ж завдання, але вирішимо його за допомогою MATLAB.

Розглянемо систему, зображену на рис. 2.1.

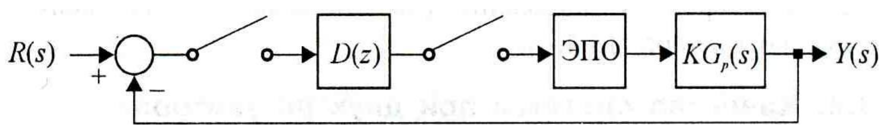


Рисунок 2.1 - Замкнута система з цифровим регулятором

Нагадаємо, що $G(p) = G_0(p)G_p(p)$. У замкнутому стані система має передавальну функцію

$$\frac{Y(z)}{R(z)} = \frac{kG(z)D(z)}{1 + kG(z)D(z)} \qquad (2.1)$$

Характеристичне рівняння системи має вигляд

$$\boxed{1 + kG(z)D(z) = 0}$$

що за формою аналогічне характеристичному рівнянню безперервної системи, що має в розімкненому стані передавальну функцію $kG(p)$. Тому. шляхом варіювання коефіцієнта підсилення k, можна побудувати кореневий годограф дискретної системи. Правила побудови кореневого годографа приведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Кореневий годограф на z-площині

1. Кореневий годограф починається в полюсах і закінчується в нулях передавальної функції $G(z)D(z)$.
2. Кореневий годограф включає відрізки дійсної осі, розташовані зліва від непарного числа полюсів і нулів.
3. Кореневий годограф симетричний щодо дійсної осі.
4. Кореневий годограф може відриватися від дійсної осі і повертатися на неї. Точки відриву і точки входу визначаються з рівняння

$$k = \frac{N(z)}{D(z)} = F(z)$$

при $z = \sigma$. Значення σ знаходяться шляхом рішення рівняння

$$\frac{dF(\sigma)}{d\sigma} = 0$$

5. Крапки, що належать кореневому годографу, повинні задовольняти рівнянню

$$1 + kG(z)D(z) = 0$$

або

$$\left| kG(z)D(z) \right| = 1 \quad \text{і} \quad \arg\, G(z)D(z) = 180^0 \pm k360^0, \quad k = 0,1,2,\ \ldots$$

У якості приклада побудуємо корневий годограф системи, зображеної на рис. 2.1, при $D(z)=1$ і $G_p(p)=\dfrac{1}{p^2}$.

Запишемо

$$kG(z)=\frac{kT^2(z+1)}{2(z-1)^2}$$

Приймемо $T=\sqrt{2}$ і побудуємо кореневий годограф. Маємо:

$$kG(z)=\frac{k(z+1)}{(z-1)^2}$$

Положення на z-площині полюсів і нуля цієї функції показано на рис.2.2.

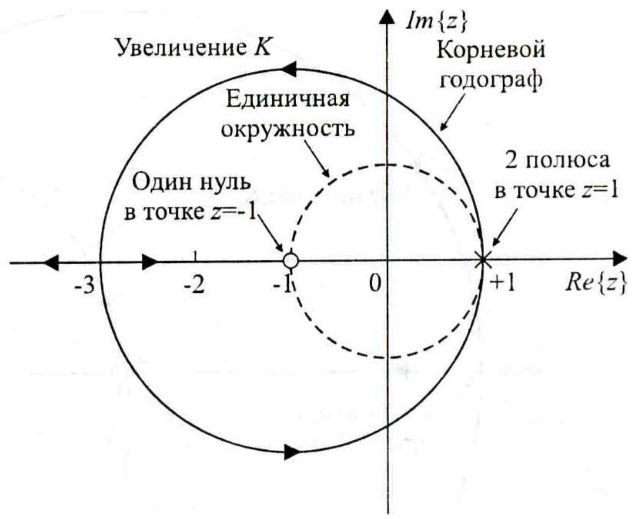


Рисунок 2.2 – Корневий годограф системи рис.2.1, при $D(z)=1$ і $G_p(p)=\dfrac{1}{p^2}$.

Характеристичне рівняння системи має вигляд:

$$1+kG(z)=1+\frac{k(z+1)}{(z-1)^2}=0$$

Покладемо $z=\sigma$ і виразимо звідси k:

$$k = -\frac{(\sigma - 1)^2}{\sigma + 1} = F(\sigma)$$

З умови $dF(\sigma)/d\sigma = 0$ знайдемо корні $\sigma_1 = -3$ і $\sigma_2 = 1$. Корні виходить з двох полюсів при $\sigma_2 = 1$ і повертаються на дійсну вісь в крапці $\sigma_1 = -3$. , як показано на рис. 2.2. На цьому рисунку зображено також одиничне коло. Обидва корені завжди розташовані поза одиничним колом, тому система нестійка при будь-яких значеннях $k > 0$.

Розглянемо синтез цифрового регулятора $G(z)$, що забезпечує задану якість системи, і скористаємося для цього методом кореневого годографа. Виберемо регулятор з передавальною функцією

$$D(z) = \frac{z - a}{z - b}.$$

Чисельник $(z - a)$ виберемо так, щоб скоротити один з полюсів, лежачих на позитивному напрямі дійсної осі. Потім виберемо $(z - b)$ так, щоб забезпечити бажане положення комплексних коренів скоректованої системи усередині одиничного кола.

Запишемо

$$kG(z)D(z) = \frac{k(z+1)(z-a)}{(z-1)^2(z-b)}$$

Якщо прийняти $a = 1$ і $b = 0,2$, то ми одержимо:

$$kG(z)D(z) = \frac{k(z+1)}{(z-1)(z-0,2)}$$

Використовуючи вираз для $F(\sigma)$ ми знайдемо точку входу кореневого годографа на дійсну вісь $z = -2{,}56$, як показано на рис. 2.3. Одиничне коло кореневий годограф перетинає при $k = 0{,}8$. Таким чином, система стійка при $k < 0{,}8$. Якщо прийняти $k = 0{,}25$, то реакція системи на ступінчастий вхідний сигнал матиме перерегулювання 20 % і час встановлення (по критерію 2 %), рівний 8,5 с.

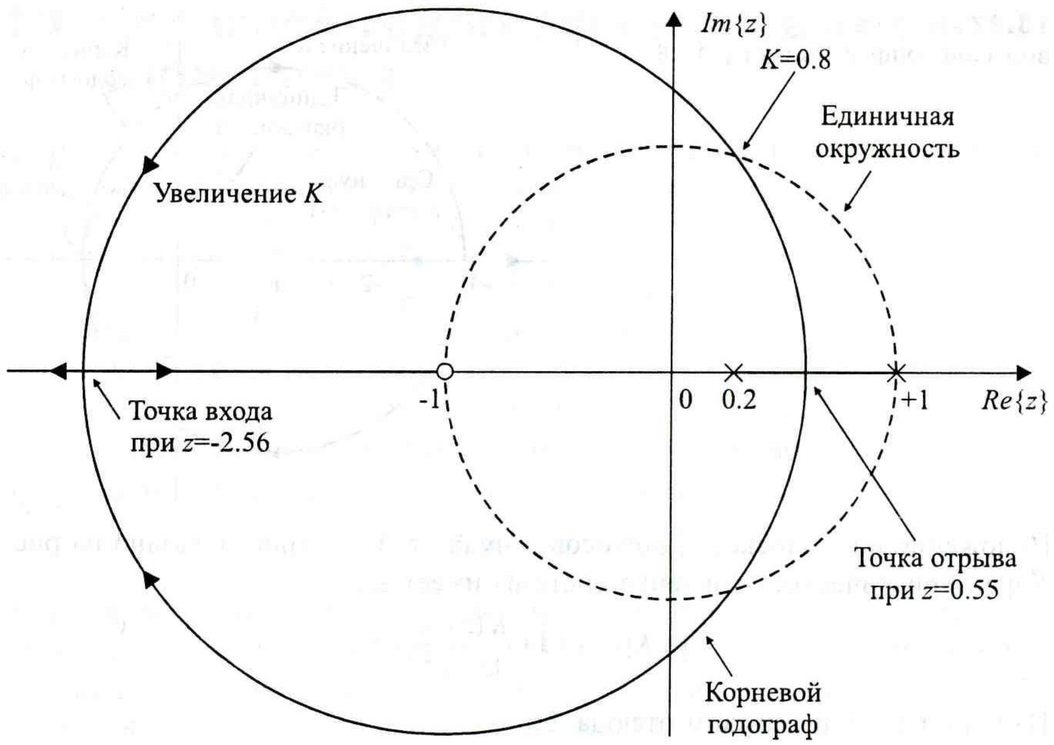


Рисунок 2.3 - Кореневий годограф при $D(z) = \dfrac{z-a}{z-b}$

Якщо одержана якість є незадовільною, то можна змінити вид кореневого годографа, вибравши $a = 1$ і $b = -0{,}98$,, отже

$$kG(z)D(z) = \frac{k(z+1)}{(z-1)(z+0{,}98)} \approx \frac{k}{z-1}$$

В цьому випадку кореневий годограф буде розташований на дійсній осі. При $k=1$ корінь характеристичного рівняння знаходиться на початку координат і $T(z)=1/z=z^{-1}$. Реакція дискретної системи на ступінчастий вхідний сигнал (у моменти квантування) рівна цьому сигналу, але із затримкою на один період квантування.

Синтез цифрового коректуючого пристрою методом корневого годографу може бути виконано за допомогою MATLAB**.** Розглянемо порядок синтезу регулятора для цифрової системи, що розглядалась в прикладі 4.3 курсу лекцій [1]. а також у лабораторній роботі №1 даного збірника.

Передавальна функція об'єкта управління системи має вид

$$G(z)=\frac{0,3678(z+0,7189)}{(z-1)(z-0,3678)}$$

(див вираз 4.15 [1]. а також вираз (1.1) лабораторної роботи №1)

Виберемо регулятор з передавальною функцією

$$D(z)=\frac{k(z+0,3689)}{z+0,2400}$$

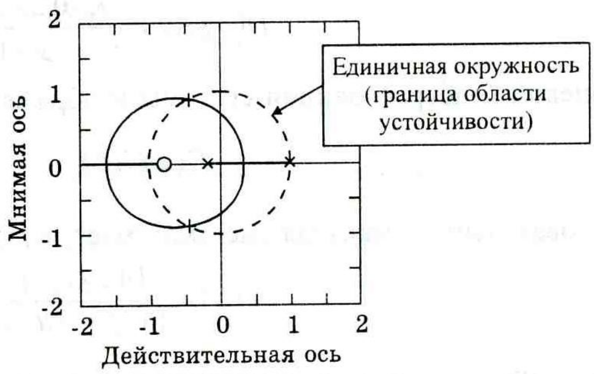
де k - параметр, що підлягає визначенню. Якщо

$$G(z)D(z)=k\frac{0,3678(z+0,7189)}{(z-1)(z+0,2400)} \tag{2.1}$$

то ми стикаємося із задачею, для вирішення якої безпосередньо можна скористатися методом кореневого годографа. Функція rlocus стосовно дискретних систем діє так само. як і для безперервних систем. На рис. 2.4 показано, як за допомогою цієї функції можна побудувати кореневий годограф, відповідний виразу (2.1). Нагадаємо, що область стійкості знаходиться усередині одиничного кола на z-площині. Так же як і в безперервних системах, функцію rlocfind можна використовувати для визначення коефіцієнта посилення, відповідного будь-якому заданому положенню корнів на годографі. Використовуючи цю функцію, ми можемо встановити, що корні характеристичного рівняння замкнутої дискретної системи знаходитиметься на одиничному колі при $k = 4{,}639$.

```
% Этот скрипт строит корневой годограф для
% дискретной системы с передаточной функцией
%
%   K(0.3678)(z+0.7189)
%   ———————————————————
%   (z-1)(z+0.2400)
%
num=[0.3678 0.2644]; den=[1.0000 -0.7600 -0.2400];
sys=tf(num,den);
rlocus(sys); hold on
x=[-1:0.1:1]; y=sqrt(1-x.^2);
plot(x,y,'--',x,-y,'--')
```

Изображение единичной окружности




```
>>rlocfind(sys)
Отметьте точку на корневом годографе
(в графическом окне)

selected_point =

  -0.4787 + 0.8530i

ans =
   4.6390
```

Определение K, соответствующего пересечению корневого годографа с единичной окружностью

$K = 4.639$

Рисунок 2.4 – Функція rlocus стосовно дискретних систем

2.4 Устаткування лабораторної установки

Лабораторна робота виконується на обчислювальному центрі академії. Для виконання лабораторної роботи необхідні:

1 – персональний комп’ютер;

2 – принтер;

3 – пакет прикладних програм MATLAB.

2.5 Порядок виконання роботи

1. Для дискретної системи. з передавальною функцією. що задається викладачем, який проводить заняття, і заданою передатною функцією регулятора за допомогою функції rlocus побудувати корневий годограф і визначити область стійкості системи.

2. Використовуючи функцію rlofind визначити коефіцієнт підсилення, що відповідає перетину корневого годографу з одиничним колом.

3. Виконати пункти 1÷2 для декількох інших передавальних функцій системи і передатних функцій регулятора, що задаються викладачем.

2.6 Оформлення звіту.

Звіт оформляється і пред'являється індивідуально кожним студентом на підпис і співбесіду викладачу наприкінці лабораторного заняття. Усі необхідні розрахунки і побудови відповідних графіків виконуються в процесі виконання лабораторної роботи. Лабораторна робота вважається виконаною тільки після перевірки викладачем звіту і проведення співбесіди по суті питань, що є предметом дослідження. Звіт про роботу повинний бути затверджений і пред’явлений на заліку по лабораторному практикумі після виконання всіх робіт, передбачених планом по дисципліні.

Звіт по лабораторній роботі повинний містити такі пункти.

1. Мету роботи.

2. Основні теоретичні положення.

3. Задані передавальні функції систем і регуляторів.

4. Побудовані з використанням функції rlocus корневі годографи.

5. Визначені за допомогою функції rlofind коефіцієнти підсилення, що відповідає перетину корневого годографу з одиничним колом.

6. Тексти всіх скриптів, які використовувались при виконанні роботи.

7. Висновки по лабораторній роботі.

2.9 Питання для самоперевірки

1. Перечисліть правила побудови корневого годографу на z-площині

2. Поясніть принцип синтезу цифрового регулятора.

3. Як виконати побудову корневого годографу в MATLAB?

4. Як визначити коефіцієнт підсилення, що відповідає будь якому заданому положенню коренів на годографі?

5. Як визначити область стійкості системи?