

Державний біотехнологічний університет

Навчально-науковий інститут «Кіберпорт»

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Методичні вказівки

до практичних занять

з дисципліни

"Комп'ютерно-інтегровані системи керування в галузях АПК"

(для студентів, що навчаються за напрямком підготовки
174 - " Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототех-
ніка"

2023

Укладач:

Абраменко Іван Григорович, к.т.н., доцент,

Рекомендовано до друку:

на засіданні кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, протокол № від . .2023 р.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
Практичне заняття № 1. Моделювання аналого-цифрового перетворювача. Графічне відображення результатів засобами Matlab.....	5
Практичне заняття № 2. Статистичний аналіз часового ряду вимірів параметра технологічного процесу	10
Практичне заняття № 3. Визначення ефективності застосування цифрових фільтрів для обробки часових рядів вимірів параметра технологічного процесу	15
Практичне заняття № 4. Визначення частотного спектру часового ряду вимірів параметра технологічного процесу	21
Практичне заняття № 5. Визначення інтервалів дискретизації безперервних технологічних параметрів	26
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	29
ДОДАТОК.....	30

ПЕРЕДМОВА

Метою вивчення дисципліни є формування системи теоретичних і практичних знань з основ створення та функціонування комп'ютерних інформаційних систем і технологій в системах автоматизації промислового виробництва.

Основними завданнями дисципліни є вивчення структури і функціонування інформаційних систем та особливостей інформаційних технологій в системах автоматизації промислового виробництва, сучасних підходів до їх проектування і впровадження.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- засоби та методи одержання та використання інформації для автоматизації промислового виробництва, організацію та методологію розв'язування задач управління промисловим виробництвом в технологічних процесах різного типу.

уміти:

- працювати зі спеціалізованим програмним забезпеченням та спеціалізованими інформаційними системами;

- проводити аналіз і вибір інформаційних технологій для конкретних задач систем автоматизації;

- аналізувати існуючі інформаційні системи, програмні продукти, інформаційні засоби та технології на відповідність специфіці конкретного промислового підприємства.

Практичне заняття № 1. Моделювання аналого-цифрового перетворювача.
Графічне відображення результатів засобами Matlab

Мета. Отримання практичних навичок моделювання нормування, дискретизації за часом та квантування за рівнем аналогового вимірювального сигналу в АЦП засобами *Matlab*.

Теоретична частина. Вимірювання технологічних параметрів в АСУ ТП реалізуються за допомогою *вимірювальних каналів*.

Типова структура вимірювального каналу представлена на рис. 1.1.

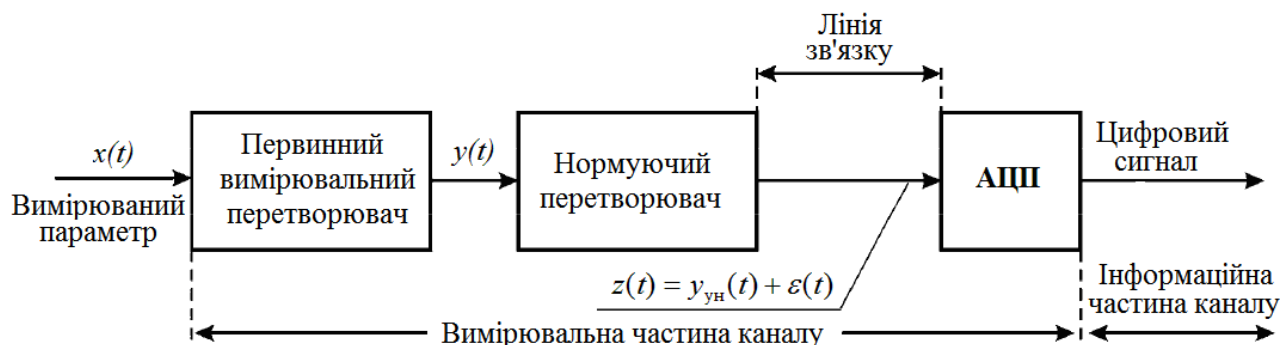


Рис. 1.1 - Типова структура вимірювального каналу

Якщо параметри сигналу датчика не узгоджуються з параметрами входу аналого-цифрового перетворювача (АЦП) або не відповідають стандарту (наприклад, вхідною величиною АЦП є напруга в діапазоні $0 \div 10 \text{ В}$, а датчик (термопара) має вихідну напругу в діапазоні від 0 до 100 мВ), то використовують *нормуючий перетворювач*, який забезпечує нормалізацію сигналу датчика (приведення до уніфікованих діапазонів зміни) і гальванічну розв'язку вихідних ланцюгів первинних перетворювачів і вхідних ланцюгів модулів вводу/виводу контролера.

Найпоширенішим сигналом у сучасних системах є сигнал постійного струму в діапазоні $4 - 20 \text{ мА}$.

Уніфіковані значення вимірювального сигналу на вході АЦП $z(t)$ при лінійній статичній характеристиці нормуючого перетворювача визначаються співвідношенням

$$y_{\text{ун}}(t) = \frac{y(t)(Y_{\text{ун,max}} - Y_{\text{ун,min}}) + Y_{\text{ун,min}} y_{\text{max}} - Y_{\text{ун,max}} y_{\text{min}}}{y_{\text{max}} - y_{\text{min}}},$$

де: $y(t)$ - поточне значення вимірювального сигналу; $Y_{\text{ун,min}}$, $Y_{\text{ун,max}}$ - мінімальне й максимальне значення уніфікованого сигналу; y_{min} , y_{max} - мінімальне й максимальне значення вимірювального сигналу.

Вимірювальна інформація в інформаційній частині каналу представляється в цифровому вигляді.

Компоненти вимірювальної частини вносять у сигнал $y(t)$ певну погрішність $\varepsilon(t)$, тобто на вхід контролера надходить сигнал

$$z(t) = y_{\text{вн}}(t) + \varepsilon(t).$$

Сигнал $z(t)$ надходить у відповідні вхідні модулі контролера, де здійснюється його перетворення в цифрову форму.

Цифровий сигнал – це сигнал, який приймає кінцеве число значень, заданий у дискретні моменти часу і представлений у вигляді цифрових кодів.

Кодування інформації в інформатиці – це перетворення інформації однієї форми представлення в іншу, більш зручну для зберігання, передачі і обробки.

Процес кодування складається із двох етапів:

- представлення інформації в дискретній формі (аналого-цифрове перетворення);
- представлення дискретних сигналів у підходящому для розв'язку завдань керування техпроцесом вигляді (перетворення кодів).

Перетворення аналогового сигналу в дискретну послідовність значень називається *дискретизацією* за часом.

Для точного представлення значення сигналу в дискретні моменти часу потрібні числа нескінченної розрядності. У системах обробки сигналів розрядність чисел обмежена. Представлення дискретної послідовності числами кінцевої розрядності називається *квантуванням за рівнем*. При цьому діапазон можливих значень сигналу розбивається на рівні, кількість яких залежить від числа розрядів цифрового коду. Ці рівні називаються *рівнями квантування*. Відстань між ними називається *кроком квантування* Δz .

Величина кроку квантування при оцифровці у двійковому коді визначається співвідношенням

$$\Delta z = \frac{z_{\max} - z_{\min}}{2^n},$$

де z_{\max} і z_{\min} - максимальне і мінімальне значення діапазону зміни сигналу $z(t)$; n - кількість розрядів коду.

При округленні дискретному відліку привласнюється найближче значення. Погрішність для цього способу квантування може бути як позитивною, так і негативною, а її модуль не перевершує ваги старшого з відкинутих розрядів.

Таким чином, квантування сигналу за рівнем є принципово нелінійною операцією.

Далі кожному рівню привласнюється n -розрядний двійковий код - номер рівня, записаний двійковим числом, а кожному відліку сигналу привласнюється код відповідного рівня (рис.1.2).

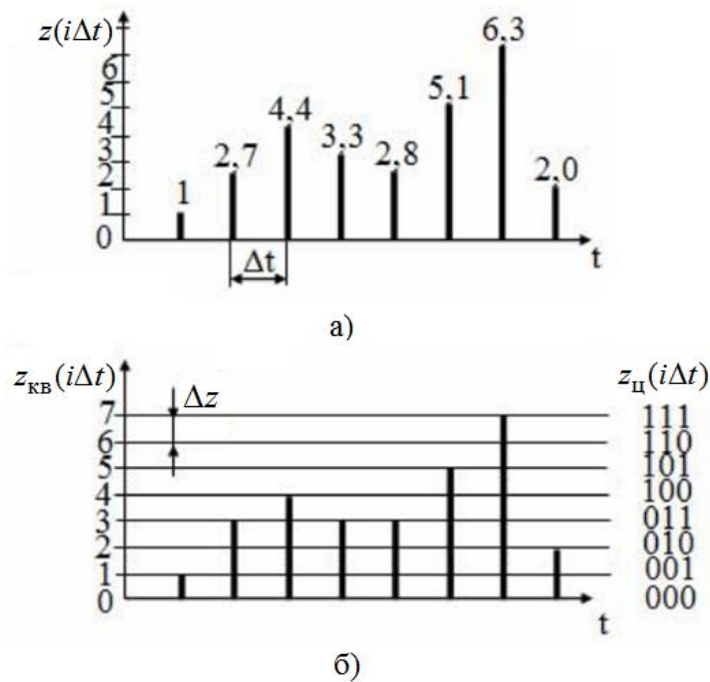


Рис. 1.2 - Формування цифрового коду квантованого сигналу:
 а) дискретна послідовність; б) квантована послідовність $z_{\text{кв}}(i\Delta t)$ і цифрові коди рівнів $z_{\text{ц}}(i\Delta t)$

У системах автоматизації величина Δz визначається розв'язною здатністю конкретної системи. Враховуючи, що аналогові сигнали датчиків і регуляторів систем керування не можуть бути точніше 0,025-0,1 % і в той же час величина Δz відповідає одиниці молодшого розряду цифрового коду, немає необхідності забезпечувати точність перетворення більш високою. Тому в АСУ ТП використовуються 10-12-тирозрядні ЦАП і АЦП.

Погрішність операції квантування можна оцінити по величині середньої помилки квантування

$$\Delta_{\text{кв}} = \frac{\sum_{i=1}^N |z(i\Delta t) - z_{\text{кв}}(i\Delta t)|}{N}.$$

При обробці результатів вимірів також широко використовується поняття *гістограма*, введене Карлом Пірсоном в 1895 році. Гістограма, це спосіб представлення вимірюваних даних у графічному вигляді – у вигляді стовпчастої діаграми. Вона відображає розподіл окремих вимірів параметрів виробу або процесу. Іноді її називають частотним розподілом, тому що висота кожного стовпця вказує на частоту появи значень параметра в обраному діапазоні, а кількість стовпців – на число обраних діапазонів.

Завдання. У відповідності з даними варіанту завдання з табл. 1.1 провести імітаційне моделювання нормалізації та квантування за рівнем часового ряду зміни частоти обертання при пуску електродвигуна з номінальною частотою

$n_{д,ном}$ об/хв довжиною 10 с з кроком дискретизації за часом $\Delta t = 0,05$ с за наявності погрішностей, розподілених по нормальному закону розподілу вірогідності.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані

Вариант	Номинальна швидкість обертання $n_{д,ном}$ об/хв	Постійна часу T , с	Коефіцієнт демпфірування ξ
1	600	0,1	0,3
2	700	0,15	0,35
3	800	0,2	0,4
4	900	0,25	0,45
5	1000	0,3	0,5
6	1100	0,35	0,55
7	1200	0,4	0,6
8	1300	0,45	0,65

У якості уніфікованого сигналу прийняти сигнал постійного струму в діапазоні 4 - 20 мА.

Часовий ряд значень кутової швидкості обертання визначити по формулі

$$\omega_{д}(t) = \omega_{д,ном} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\alpha t} \sin(\beta t + \varphi) \right),$$

де $\omega_{д,ном} = n_{д,ном} \pi / 30$, $T = 0,2$ с, $\xi = 0,5$, $\alpha = \xi / T$, $\beta = \sqrt{1-\xi^2} / T$, $\varphi = \arctg(\beta / \alpha)$ з накладенням суми трьох гармонік

$$\omega_{д}(t) = \omega_{д}(t) + a_1 \sin(2\pi f_1 t) + a_2 \sin(2\pi f_2 t) + a_3 \sin(2\pi f_3 t),$$

де a_1, a_2, a_3 , рад/с і f_1, f_2, f_3 , Гц - амплітуди і частоти гармонік, які випадковим чином визначаються із допустимих переліків значень $\omega_{д}(t) \cdot [0.025, 0.03, 0.015]$ і $[0.2, 0.35, 0.5]$.

Сигнал вимірювальної інформації на вході АЦП сформувати по формулі $z(t) = y_{ун}(t) + \varepsilon(t)$, де $\varepsilon(t)$ - погрішність вимірювального каналу, розподілена за нормальним законом розподілу ймовірностей.

Порядок виконання.

1. Завантажити в редактор *Matlab Script-файл* PZIS_1 і вивчити її за допомогою виладача.

Тут:

- функція $randn(m,n)$ формує масив розміру $m \cdot n$, елементами якого є випадкові величини, розподілені за нормальним законом з математичним очікуванням 0 і середньоквадратичним відхиленням 1;

- функція $mean(y)$ повертає арифметичне середнє елементів одномірного масиву;

- функція $plot(y)$ служить для побудови графіка одномірного масиву залежно від номера елемента;

- функція $hist(y,n)$ дозволяє побудувати гістограму по вибірці y з числом інтервалів n . Групування вибірки y виконується по інтервалах рівної довжини;

- функція $subplot(m,n,p)$ робить розбивку графічного вікна на кілька підвікон. Значення m указує, на скільки частин розбивається вікно по вертикалі, n - по горизонталі, а p - номер підвікна, куди буде виводитися черговий графік.

2. Відповідно до варіанту свого завдання провести корекцію операторів програми і зберегти *Script-файл* під довільним іменем.

3. Провести 3 імітаційних експерименти, змінюючи значення параметра n . За отриманими результатами заповнити таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків

№ варіанту	Кількість двійкових розрядів АЦП n	Кількість рівнів квантування $N_{\text{кв}}$	Крок квантування $\Delta z, \text{мА}$	Величина середньої помилки квантування $\Delta_{\text{кв}}, \text{мА}$.	Діапазон погрішності квантованого сигналу $D_{\text{погр}}, \%$
	8				
	10				
	12				

4. Для кожного експерименту зафіксувати графічне представлення результатів.

5. Оформити заняття у вигляді документа формату *Word*, зробити висновки і надати його викладачеві.

Практичне заняття № 2. Статистичний аналіз часового ряду вимірів параметра технологічного процесу

Мета. Отримання практичних навичок моделювання часових рядів вимірів параметра технологічного процесу за наявності погрішностей та їх статистичного аналізу засобами *Matlab*.

Теоретична частина. При автоматизації керування слід урахувати те, що сигнали від датчиків містять високочастотні шуми, які викликаються джерелами перешкод, які можуть перебувати як поза, так і усередині самої системи передачі інформації.

Під погрішністю вимірів розуміється відхилення обмірюваного значення величини від її дійсного значення. Погрішність виміру є характеристикою точності виміру.

З'ясувати з абсолютною точністю дійсне значення вимірюваної величини, як правило, неможливо, тому неможливо й указати величину відхилення обмірюваного значення від дійсного. Це відхилення прийнято називати помилкою виміру. Можливо лише оцінити величину цього відхилення за допомогою статистичних методів. На практиці замість дійсного значення використовують значення фізичної величини, отримане розрахунковим шляхом і настільки близьке до дійсного значення, що в поставленому вимірювальному завданні може бути використане замість нього.

Це значення не є точним, а лише найбільш імовірним. Тому при вимірах необхідно вказувати, яка їхня точність. Для цього разом з отриманим результатом вказується погрішність вимірів. Наприклад, запис $T = 2,8 \pm 0,1$ с означає, що дійсне значення величини T лежить в інтервалі від 2,7 с до 2,9 с із деякою застереженою ймовірністю.

У метрологічній практиці для опису випадкових погрішностей використовують обмежений набір стандартних апроксимуючих функцій розподілу, звичайно нормальну і рівномірну.

Найпоширенішою функцією розподілу випадкової погрішності є нормальна функція. Цьому закону підкоряються наступні випадкові величини:

- флуктуаційні погрішності різного роду (наприклад хаотичні зміни потенціалів, струмів і зарядів в електричних колах і лініях передачі, викликані тепловим рухом носіїв заряду й іншими фізичними процесами в речовині, обумовленими дискретною природою електрики, а також випадковими змінами й нестабільністю характеристик ланцюгів);

- випадкові погрішності засобів вимірів;

- погрішності, що складаються з досить великого числа (можна вважати, що більше 5) незалежних складових при відсутності домінуючої складової.

Безперервна випадкова величина y має нормальний розподіл, якщо її щільність розподілу ймовірностей має вигляд

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.1)$$

де m - математичне очікування, а σ - середньоквадратичне відхилення величини y .

У якості найбільш імовірної оцінки значення математичного очікування вимірюваної величини звичайно використовують вибіркове середнє

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i,$$

де N - кількість проведених вимірів; y_i - значення величини y , отримане в i -му вимірі.

Так як погрішності вимірів випадкові, отримана оцінка результату \bar{y} також випадкова. Мірою її погрішності служить вибіркове середньоквадратичне відхилення $\bar{\sigma} = \sqrt{\bar{D}}$, де $\bar{D} = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 / (N - 1)$ - вибіркова дисперсія, яка обчислюється на підставі тієї ж вибірки.

Тоді погрішність обчисленої оцінки \bar{y} визначається величиною довірчого інтервалу $\Delta(p)$, де p - довірна ймовірність

$$m = \bar{y} \pm \Delta(p).$$

Величина довірчого інтервалу при досить великих обсягах вибірки ($n \geq 30 - 50$) залежить тільки від значення p . Наприклад, для $p = 0,68$ - $\Delta(p) = \bar{\sigma}$, для $p = 0,95$ - $\Delta(p) = 2\bar{\sigma}$ і для $p = 0,99$ - $\Delta(p) = 3\bar{\sigma}$.

Нормальний розподіл називають ще гаусовим по імені німецького математика Гауса.

Нормальний розподіл має деякий масштаб, характерний для конкретних даних. Тому часто використовується так званий *стандартний нормальний розподіл*, який не залежить від масштабу і одиниць виміру величини y .

Для того, щоб одержати стандартний нормальний розподіл вводиться нова змінна $z = (y - m) / \sigma$.

Тоді формула (2.1) записується у вигляді

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}.$$

У цьому випадку математичне очікування випадкової величини z рівно 0, середньоквадратичне відхилення - 1, а шкала осі абсцис вимірюється в середніх квадратичних відхиленнях, що дозволяє відв'язатися від одиниць виміру y одержати універсальну структуру нормального розподілу.

Для перевірки непротиворіччя розподілу сукупності значень випадкової величини y нормальному закону служать різні критерії згоди. При зміні кількості вимірів сигналу в широких межах доцільно використовувати критерій Ліллієфорса.

Тест Ліллієфорса заснований на порівнянні емпіричного розподілу частот вибірки y й нормального закону. Параметри нормального закону розраховуються по вибірці y . Критерій дозволяє визначити скаляр H , що є результатом перевірки нульової гіпотези для критичного рівня значимості (припустима для даного завдання ймовірність відхилити нульову гіпотезу, коли насправді вона вірна.), рівного 0,05.

Нульова гіпотеза полягає в тому, що розподіл генеральної сукупності значень обмірюваної величини не суперечить нормальному закону з невідомими середнім арифметичним і дисперсією.

Альтернативна гіпотеза тесту Ліллієфорса полягає в тому, що розподіл генеральної сукупності значень випадкової величини суперечить нормальному закону. Нульова гіпотеза приймається якщо $H=0$. Якщо $H=1$, то нульова гіпотеза відкидається.

Вимірювана величина y має рівномірний закон розподілу, якщо її щільність розподілу ймовірностей визначається співвідношеннями

$$f(y) = \begin{cases} 0 & \text{при } y \notin [a, b] \\ \frac{1}{b-a} & \text{при } y \in [a, b], \end{cases}$$

де b - максимальне а a - мінімальне значення цієї величини.

Часові ряди вимірів можна класифікувати як *стаціонарні* й *нестационарні*. Ряд є стаціонарним, якщо всі його імовірнісні характеристики не змінюються із часом і нестационарним – якщо характеристики змінюються. При обробці даних на практиці часто використовується поняття *квазістаціонарний процес* - процес, близький по властивостях до стаціонарного але одмінний від нього досить повільною зміною характеристик у часі.

Завдання. У відповідності з даними варіанту завдання з табл. 2.1 провести імітаційне моделювання квазістаціонарних часових рядів вимірів параметра технологічного процесу довжиною 10 с за наявності погрешностей, розподілених по нормальному і рівномірному законам розподілу вірогідності.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані

№ варіанту	Номинальна швидкість обертання $n_{д,ном}$ об/хв	Середньоквадратичне відхилення погрішності σ , мА
1	600	1,5
2	700	1,6
3	800	1,7
4	900	1,4
5	1000	1,3
6	1100	1,2
7	1200	1,5
8	1300	1,6

Часовий ряд точних вимірів параметра сформувавши, скориставшись формулою

$$\omega_d(t) = \omega_{д,ном} + a_1 \sin(2\pi f_1 t) + a_2 \sin(2\pi f_2 t) + a_3 \sin(2\pi f_3 t),$$

де a_1, a_2, a_3 , рад/с і f_1, f_2, f_3 , Гц - амплітуди і частоти гармонік, які випадковим чином визначаються із допустимих переліків значень $\omega_d(t) \cdot [0.025, 0.03, 0.015]$ і $[0.2, 0.35, 0.5]$.

Порядок виконання.

1. Завантажити в редактор *Matlab Script-файл* PZIS_2 і вивчити її за допомогою виладача.

Тут:

- функція $rand(m,n)$ формує масив розміру $m \times n$, елементами якого є випадкові величини, розподілені за рівномірним законом в інтервалі $[0,1]$.

- функція $std(y)$ повертає стандартне відхилення елементів одномірного масиву;

- функція $cov(y)$ повертає дисперсію елементів одномірного масиву;

- функція $lillietest(y)$ дозволяє виконати тест Ліллієфорса.

2. Відповідно до варіанту свого завдання провести корекцію операторів програми і зберегти *Script-файл* під довільним іменем.

3. Провести 4 імітаційних експерименти, змінюючи значення параметра dt в програмі. За отриманими результатами заповнити таблицю 2.2 при нормальному законі розподілу ймовірностей погрішностей.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків

№ варіанту				
Крок дискретизації за часом dt, c	0,05	0,1	0,15	0,2
Кількість точок виміру N				
Вибіркове середнє \bar{z}				
Вибіркове середньоквадратичне відхилення $\bar{\sigma}$				
Вибіркова дисперсія \bar{D}				
Інтервал значень $m = \bar{z} \pm \Delta(p)$ при $\Delta(p) = \bar{\sigma}$				
Інтервал значень $m = \bar{z} \pm \Delta(p)$ при $\Delta(p) = 2\bar{\sigma}$				
Тест Ліллієфорса H				

4. Для кожного експерименту зафіксувати графічне представлення результатів.

5. Повторити пункти 3 і 4 при рівномірному законі розподілу ймовірностей погрішностей.

6. Визначити оптимальний крок дискретизації вимірюваного параметра за часом.

7. Оформити заняття у вигляді документа формату *Word*, зробити висновки і надати його викладачеві.

Практичне заняття № 3. Визначення ефективності застосування цифрових фільтрів для обробки часових рядів вимірів параметра технологічного процесу

Мета. Отримання практичних навичок моделювання числових фільтрів вимірів параметра технологічного процесу за наявності погрешностей засобами *Matlab*.

Теоретична частина. Фільтрація є найбільш складною з операцій первинної обробки сигналів вимірювальної інформації. Вона може виконуватися апаратно за допомогою *RC* або *LC* фільтрів перед подачею сигналу в контролер або програмно за допомогою різних алгоритмів фільтрації. Найбільше поширення в АСУ ТП одержали алгоритми експонентного згладжування (близько 90 % завдань фільтрації вирішуються за допомогою даних алгоритмів).

Алгоритми експонентного згладжування відносяться до класу адаптивних методів згладжування, основною характеристикою яких є здатність безупинно враховувати еволюцію динамічних характеристик вимірюваного параметра, підбудовуватися під цю динаміку, надаючи, зокрема, тим більшу вагу й тим більш високу інформаційну цінність вимірам, чим ближче вони розташовані до теперішнього моменту часу. Вони дозволяють обновляти результати згладжування з мінімальною затримкою і за допомогою нескладних математичних процедур. До достоїнств алгоритмів експонентної фільтрації відносяться мала трудомісткість розрахунків і невеликий обсяг пам'яті контролера, необхідний для зберігання даних.

У ПЛК звичайно використовуються два такі алгоритми – *алгоритм простого експонентного згладжування*, який застосовується у випадку відсутності в часовому ряді вимірів певної тенденції зміни показників (т.зв. тренда), тобто для стаціонарних або квазістаціонарних часових рядів і *алгоритм Хольта* при наявності тренда (нестационарні часові ряди).

Метод простого експонентного згладжування (метод Брауна) був незалежно відкритий Брауном (Brown R.G. Statistical forecasting for inventory control, 1959) і Хольтом (Holt C.C. Forecasting Seasonal and Trends by Exponentially Weighted Moving Averages, 1957).

Алгоритм цього згладжування визначається рекуррентним співвідношенням (наступне значення виражається через попереднє) наступного вигляду

$$\hat{y}_i = \hat{y}_{i-1} + \alpha(y_{i-1} - \hat{y}_{i-1}), \quad (3.1)$$

де \hat{y}_i і \hat{y}_{i-1} – поточне й попереднє значення згладженого сигналу; y_{i-1} – попереднє значення обмірюваного сигналу; α – коефіцієнт згладжування, який вибирається апіорі ($0 < \alpha < 1$).

Таким чином поточне значення згладженого сигналу визначається як сума попереднього згладженого значення і поправки на погрешність попереднього значення виміру сигналу. Вага поправки визначає, наскільки «різко» алгоритм буде реагувати на зміни.

Чим ближче значення α до 1, тим більше враховується вплив останніх значень вимірів. Якщо ж α ближче до 0, то ваги, по яких зважуються значення вимірів убувають повільно, тобто враховується більша кількість попередніх вимірів.

Звичайно значення α перебуває в межах $0,05 \div 0,3$. Значення 0,5 майже ніколи не перевищується.

Рекомендується для повільно мінливого часового ряду задавати значення α в діапазоні $0,05 \div 0,2$, а для швидко мінливого – у діапазоні $0,3 \div 0,5$.

При реалізації алгоритму важливим питанням є визначення початкових умов (початкового згладженого значення). Процес вибору початкового значення згладженого ряду називається *ініціалізацією* моделі. Справа в тому, що початкове значення може істотно вплинути на згладжування найближчих наступних вимірів. Однак вплив цього вибору зменшується з довжиною ряду і стає незначущим при досить великій кількості вимірів. Браун запропонував використовувати в якості стартового значення середнє декількох (3-5) перших значень часового ряду. Інші автори пропонують використовувати в якості стартового значення перше фактичне значення часового ряду.

Алгоритм простого експонентного згладжування називається фільтром першого порядку. Повторне використання виразу (3.1) для обробки вже згладженого сигналу буде відповідати використанню експонентного фільтра другого порядку.

Просте експонентне згладжування часових рядів, що містять тренд, приводить до систематичної помилки, пов'язаної з відставанням згладжених значень від фактичних рівнів часового ряду.

Для врахування лінійного тренда в нестационарних рядах застосовується спеціальне двохпараметричне експонентне згладжування (*метод Хольта*). Якщо в часовому ряді є тенденція до росту або зниження, то разом з оцінкою поточного рівня необхідна й оцінка нахилу. У методі Хольта одночасно згладжується і часовий ряд і тренд із використанням двох різних параметрів.

Двухпараметрический метод згладжування включає два рівняння. Перше призначене для згладжування ряду обмірюваних значень, а друге - для згладжування тренда

$$\begin{aligned}\hat{y}_i &= \alpha_1 y_i + (1 - \alpha_1)(\hat{y}_{i-1} + T_{i-1}) \\ T_i &= \alpha_2 (\hat{y}_i - \hat{y}_{i-1}) + (1 - \alpha_2)T_{i-1},\end{aligned}$$

де \hat{y}_i і \hat{y}_{i-1} - поточне й попереднє значення згладженого сигналу; y_i - поточне значення обмірюваного сигналу; T_i і T_{i-1} - поточне і попереднє значення тренда; α_1 і α_2 - коефіцієнти згладжування часового ряду і тренда, значення яких вибираються апріорі в діапазоні $0 \div 1$.

У якості стартових значень у цьому випадку також доцільно використовувати для \hat{y}_1 - середнє вибіркве декількох (3-5) перших значень часового ряду, а для тренда - $T_1 = 0$.

Істотним достоїнством метода Хольта є можливість використання результатів розрахунків для прогнозу значення вимірюваного параметра на τ інтервалів відліку вперед. Для цього слід використовувати формулу

$$y_{i+\tau} = \hat{y}_i + \tau T_i.$$

Адекватність згладженого часового ряду найбільше просто можна визначати шляхом обчислення середньої відносної погрішності апроксимації

$$\bar{\Delta}_{\text{ап}} = \frac{100 \cdot n}{\sum_{i=1}^n y_i} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}},$$

де n - кількість точок вимірів, які зберігаються в пам'яті ПЛК.

Отримане значення середньої помилки апроксимації показує на скільки відсотків у середньому розраховані значення відхиляються від фактичних значень.

Помилка апроксимації в межах $5 \div 7$ % свідчить про хороший добір моделі до вихідних даних. Припустима межа значень $\bar{\Delta}_{\text{ап}}$ - не більш $8 \div 10$ % (іноді допускається до 15 %).

Значення помилки апроксимації може служити також критерієм як для добору значень коефіцієнтів згладжування, так і методу згладжування.

Більш складним методом доказу адекватності є використання *F-критерію* Фішера. Однак у випадку його застосування кількісні оцінки адекватності одержати не можна.

Крім розглянутих вище методів згладжування в АСУ ТП використовується метод Ковзаючого середнього і статистичні фільтри.

Метод ковзаючого середнього при згладжуванні часових рядів полягає в заміні фактичних значень членів часового ряду середнім арифметичним значень декількох останніх відрахунків вихідного сигналу. Набір усереднюємих значень утворює так зване вікно ковзання n .

Алгоритм реалізації цього методу має вигляд

$$\hat{y}_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{\tau=0}^{n-1} y_{i-\tau}$$

або в розгорнутому вигляді для $n = 4$

$$\hat{y}_i = \frac{1}{4}(y_i + y_{i-1} + y_{i-2} + y_{i-3}).$$

Завдання. У відповідності з даними варіанту завдання з табл. 2.1 провести імітаційне моделювання цифрових фільтрів Брауна 1 и 2 порядку, Хольта і ковзаючого середнього квазістаціонарного часового ряду вимірів параметра технологічного процесу довжиною 10 с за наявності погрешностей, розподілених по нормальному закону розподілу вірогідності.

Часовий ряд точних вимірів параметра сформулювати, скориставшись формулою

$$\omega_d(t) = \omega_{d,ном} + a_1 \sin(2\pi f_1 t) + a_2 \sin(2\pi f_2 t) + a_3 \sin(2\pi f_3 t),$$

де a_1, a_2, a_3 , рад/с і f_1, f_2, f_3 , Гц - амплітуди і частоти гармонік, які випадковим чином визначаються із допустимих переліків значень $\omega_d(t) \cdot [0.025, 0.03, 0.015]$ і $[0.2, 0.35, 0.5]$.

Порядок виконання.

1. Завантажити в редактор *Matlab Script-файл* PZIS_3 і вивчити її за допомогою виладача.

2. Відповідно до варіанту свого завдання провести корекцію операторів програми і зберегти *Script-файл* під довільним іменем.

3. Провести вибір методу ініціалізації алгоритму Брауна 1-го порядку.

3.1. Сформулювати часовий ряд з параметрами $T_{аналіз}=10$ с і $dt=0,05$ с з погрешністю, розподіленою за нормальним законом.

3.2. Використовуючи в якості стартового значення перше фактичне значення часового ряду, вибрати значення α в діапазоні $0,05 \div 0,3$. Для цього провести кілька експериментів згладжування часового ряду, аналізуючи отримані графіки і величину середньої відносної помилки апроксимації.

3.3. Провести зміни в програмі розрахунків для використання в якості стартового значення середнього 5 перших значень часового ряду.

3.4. Провести кілька експериментів згладжування часового ряду, аналізуючи отримані графіки й величину середньої відносної помилки апроксимації при зміні α в діапазоні $0,05 \div 0,8$ і підібрати його оптимальне значення.

3.5. При оптимальному $\alpha = \alpha_{опт}$ зафіксувати графіки і величину середньої відносної помилки апроксимації $\bar{\Delta}_{ан}$ в таблиці 3.1 для трьох варіантів довжини часового ряду.

Таблиця 3.1 – Результати добору α для алгоритму Брауна 1-го порядку

№ варіанту	$\alpha_{\text{опт}}$	Тривалість інтервалу аналізу $T_{\text{анализ}}, c$	Крок дискретизації за часом dt, c	Величина середньої відносної помилки апроксимації $\bar{\Delta}_{\text{ап}}, \%$
		10		
		60		
		300		

4. Провести зміни в програмі розрахунків для використання алгоритму Брауна 2-го порядку.

4.1. Підібрати значення α для цього фільтра.

4.2. Провести при цих параметрах експеримент із фіксацією графіків і заповненням таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати добору α для алгоритму Брауна 2-го порядку

№ варіанту	$\alpha_{\text{опт},1}$	$\alpha_{\text{опт},2}$	Тривалість інтервалу аналізу $T_{\text{анализ}}, c$	Крок дискретизації за часом dt, c	Величина середньої відносної помилки апроксимації $\bar{\Delta}_{\text{ап}}, \%$
			10		
			60		
			300		

5. Провести 5 імітаційних експериментів, змінюючи значення параметра dt . За отриманими результатами заповнити таблицю 3.3. При цьому для кожного експерименту необхідно також фіксувати і графіки.

6. Визначити найбільш ефективний алгоритм фільтрації і оптимальний крок дискретизації вимірюваного параметра за часом.

7. Оформити заняття у вигляді документа формату *Word*, зробити висновки і надати його викладачеві.

Таблиця 3.3 – Результати імітаційних експериментів

Тип фільтра	Тривалість інтервалу аналізу $T_{аналіз}, c$	Крок дискретизації за часом dt, c	Кільк. точок виміру N	Середня відносна погрішність апроксимації $\bar{\Delta}_{ап}, \%$	Математичне очікування відфільтрованого шуму $M_{ш}$	Тест Ліллієфорса H
Фільтр Брауна 1-го поряд-ка	60	0,02				
	60	0,05				
	60	0,1				
	60	0,2				
	60	0,3				
Фільтр Брауна 2-го поряд-ка		0,02				
	60	0,05				
	60	0,1				
	60	0,2				
	60	0,3				
Фільтр Хольта		0,02				
	60	0,05				
	60	0,1				
	60	0,2				
	60	0,3				
Фільтр скользящего среднего		0,02				
	60	0,05				
	60	0,1				
	60	0,2				
	60	0,3				

$$\text{Тут } \bar{\Delta}_{ап} = \frac{100 \cdot n}{\sum_{i=1}^n z_{i,KB}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_{i,KB} - \hat{z}_{i,KB})^2}{n}}, \quad M_{ш} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_{i,KB} - \hat{z}_{i,KB}).$$

Практичне заняття № 4. Визначення частотного спектру часового ряду вимірів параметра технологічного процесу

Мета. Отримання практичних навичок визначення частотного спектра часових рядів вимірів параметра технологічного процесу за наявності погрешностей засобами *Matlab*.

Теоретична частина. Сигнали датчиків технологічних параметрів є функціями часу $y = f(t)$. Для визначення частотного спектра цих функцій використовується частотне відображення $y = f(t)$.

Частотне відображення можна одержати, скориставшись методами гармонійного аналізу - розділу математичного аналізу, у якому вивчаються властивості функцій за допомогою представлення їх у вигляді рядів або інтегралів Фур'є.

Основний зміст перетворення Фур'є (ПФ) полягає в тому, що неперіодична функція довільної форми представляється у вигляді сукупності синусів або косинусів з різною частотою і амплітудою. Іншими словами, складна функція перетвориться в безліч більш простих. Кожна синусоїда (або косинусоїда) з певною частотою і амплітудою, отримана в результаті перетворення Фур'є, називається спектральною складовою або гармонікою. Спектральні складові утворюють спектр Фур'є.

Візуально спектр Фур'є представляється у вигляді графіка, на якому по горизонтальній осі відкладається частота f , а по вертикалі – амплітуда спектральних складових. Тоді кожна спектральна складова може бути представлена у вигляді відліку, положення якого по горизонталі відповідає її частоті, а висота – її амплітуді. Гармоніка з нульовою частотою називається постійною складовою (у часовому представленні це пряма лінія).

У випадку аналізу частот дискретного сигналу перетворення Фур'є використовувати не можна, оскільки воно призначене для аналізу безперервних сигналів. У цьому випадку застосовують дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) - дискретизовану апроксимацію безперервного спектра.

Дискретне перетворення Фур'є виконується над кінцевою послідовністю N відрхунків або над періодичною послідовністю, у якої період складається з N відрхунків. Припустимо, що сигнал дискретизований через рівні проміжки часу Δt , і в результаті отримана кінцева дискретна послідовність

$$y_n = y(n\Delta t) = y(0), y(\Delta t), y(2\Delta t), \dots, y[(N-1)\Delta t], \quad n = 0, 1, \dots, N-1.$$

ДПФ послідовності $y(n\Delta t)$ визначається як дискретна послідовність Y_k із N відрхунків у частотній області

$$Y_k = Y(kf_1) = Y(0), Y(f_1), Y(2f_1), \dots, Y[(N-1)f_1], \quad k = 0, 1, \dots, N-1,$$

де f_1 - частота першої гармоніки, яка обчислюється по виразу

$$f_1 = \frac{1}{(N-1)\Delta t}.$$

Послідовність Y_k у тригонометричній формі визначається співвідношенням

$$Y_k = \frac{1}{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} y_n e^{-ik\frac{2\pi}{N-1}n} = \frac{1}{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} \left[\cos \frac{k2\pi n}{N-1} - i \sin \frac{k2\pi n}{N-1} \right].$$

В останній формулі немає ніякої вказівки на реальні моменти часу або частоти - у них фігурують лише номери відрахунків у часовій і частотній областях.

Щоб говорити про часовий і частотний масштаби, необхідно знати, з якою частотою бралися відрахунки аналізованого сигналу. Якщо послідовність y_n представляє собою відрахунки, узяті із частотою дискретизації $f_d = 1/\Delta t$, де Δt - крок дискретизації за часом, то частоти спектрального аналізу, що відповідають відрахункам, отриманим у результаті обчислення ДПФ, будуть розташовані із кроком дискретності по частоті $\Delta f = f_d/(N-1)$. Перший елемент отриманого вектора відповідає нульовій частоті, останній - частоті f_d .

Для реального сигналу y_n ДПФ має комплексно сполучену симетрію $Y_k = Y_{N-k}^*$.

Тому спектр сигналу по ДПФ визначається тільки для позитивних частот у діапазоні від 0 до f_d .

Частота $f_H = f_d/2$ одержала назву частоти Найквіста. Складові частоти вище частоти Найквіста є дзеркальним відображенням нижніх частот.

Тому при аналізі сигналів доцільно аналізувати спектр тільки в діапазоні від 0 до f_H , збільшивши модулі бінів ДПФ в 2 рази, тобто

$$|Y_k| = \frac{2}{N-1} \left| \sum_{n=0}^{N-1} y_n W^{kn} \right|, \quad k = 0, 1, \dots, (N-1)/2 \text{ при непарному } N,$$

$$|Y_k| = \frac{2}{N-1} \left| \sum_{n=0}^{N-1} y_n W^{kn} \right|, \quad k = 0, 1, \dots, (N-2)/2 \text{ при парному } N.$$

Значення N є важливим параметром, тому що воно визначає розв'язну здатність результату по частоті, і час, необхідний для обчислення N -точкового ДПФ. Чим більше N , тим точніше ДПФ апроксимує безперервне перетворення Фур'є.

Для коректного використання ДПФ завжди треба пам'ятати наступні дві важливі особливості.

По-перше, будь-яке окреме значення Y_k - не більш ніж сума почлених добутків вхідної послідовності відрахунків на косинусоїду і синусоїду (або кореляція), частота яких така, що на інтервалі спостереження з N відрахунків укладається k їхніх повних періодів. Це справедливо незалежно від того, яка використовується частота дискретизації, і незалежно від величини N .

Другою особливістю ДПФ дійсного сигналу є симетрія вихідних відрахунків ДПФ.

Зі сказаного випливають два найважливіші положення:

- щоб розширити смугу спектрального аналізу, потрібно збільшувати f_d , тобто брати відрахунки за часом частіше;
- щоб поліпшити частотний розв'язок без зміни інтервалу спектрального аналізу, потрібно збільшувати N , тобто аналізувати більш довгу вибірку сигналу.

В останньому випадку слід розрізнити два можливі випадки.

1. Довжина сигналу збільшується за рахунок доповнення нулями. При цьому виходить той же спектр, інтерпольований до більш щільної сітки частот. Оскільки нових даних не додається, характерні параметри спектра, такі як ширина спектральних піків, не змінюється. Слова «поліпшення розв'язку» означають при цьому тільки розрахунок спектра для більшої кількості частот.

2. Довжина сигналу збільшується за рахунок додавання нових даних, тобто дійсно аналізується більш довга вибірка сигналу. У цьому випадку виходить новий спектр, а слова «поліпшення розв'язку» знаходять реальний зміст - спектральні піки, що відповідають гармонійним складовим, що втримуються в сигналі, стають більш вузькими.

Обчислення ДПФ проводяться досить просто, але вимагають виконання великої кількості арифметичних операцій, таких як додавання й множення. Для обчислення одного значення Y_k по формулі прямого ДПФ необхідно виконати N комплексних множень, а для обчислення N значень спектру - N^2 таких операцій. Однак, більша частина цих множень є зайвою, тому що послідовність $\sum_{n=0}^{N-1} y_n W^{kn}$ періодична і для фіксованого k при зміні n від 0 до $N-1$ добутки будуть періодично повторюватися. Крім того, в одному періоді добутки можуть утворювати комплексно-сполучені пари. Табулюючи всі ці значення періодичної послідовності, можна суттєво зменшити кількість обчислень, необхідних для розрахунків ДПФ. Алгоритм, що реалізує ці можливості, називають швидким перетворенням Фур'є (БПФ).

Алгоритмів БПФ у цей час існує досить багато, однак усі їх можна розділити на два класи - по способу проріджування послідовностей у часовій і спектральній областях.

У системі *Matlab* для дискретного перетворення використовується функція $fft(y, N)$ (*Fast Fourier Transformation*), що реалізує алгоритм швидкого перетворення Фур'є заданого вектора.

У функції $fft(y,N)$ реалізується двійковий алгоритм БПФ, коли N є ступінь двійки $N=2^r$. Цей метод вимагає в 102,4 рази менше обчислень при розв'язку одного й того ж завдання спектрального аналізу.

Завдання. Відповідно до даних варіанту завдання з табл. 4.1 провести визначення частотного спектру квазістаціонарного часового ряду вимірів параметра технологічного процесу при наявності погрішностей, розподілених за нормальним законом розподілу вірогідності.

Часовий ряд точних вимірів параметра сформував, скориставшись формулою

$$\omega_d(t) = \omega_{d,ном} + a_1 \sin(2\pi f_1 t) + a_2 \sin(2\pi f_2 t) + a_3 \sin(2\pi f_3 t),$$

Де a_1, a_2, a_3 , рад/с і f_1, f_2, f_3 , Гц - амплітуди і частоти гармонік, які випадковим чином визначаються із припустимих переліків значень $\omega_d(t) \cdot [0.025, 0.03, 0.015]$ і $[0.2, 0.35, 0.5]$.

Порядок виконання.

У відповідності з даними варіанту завдання з табл. 4.1 провести визначення частотного спектру квазістаціонарного часового ряду вимірів параметра технологічного процесу за наявності погрішностей, розподілених по нормальному закону розподілу вірогідності.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані

№ варіанту	Номинальна швидкість обертання $n_{д,ном}$ об/хв	Середньоквадратичне відхилення погрішності σ , мА	Метод згладжування
1	600	1,5	Брауна 1-го пор.
2	700	1,6	Брауна 2-го пор.
3	800	1,7	Хольта
4	900	1,4	Ковзаючого середнього
5	1000	1,3	Брауна 1-го пор.
6	1100	1,2	Брауна 2-го пор.
7	1200	1,5	Хольта
8	1300	1,6	Ковзаючого середнього

Часовий ряд точних вимірів параметра сформував, скориставшись формулою

$$\omega_d(t) = \omega_{д,ном} + a_1 \sin(2\pi f_1 t) + a_2 \sin(2\pi f_2 t) + a_3 \sin(2\pi f_3 t),$$

де a_1, a_2, a_3 , рад/с і f_1, f_2, f_3 , Гц - амплітуди і частоти гармонік, які випадковим чином визначаються із допустимих переліків значень $\omega_d(t) \cdot [0.025, 0.03, 0.015]$ і $[0.2, 0.35, 0.5]$.

Порядок виконання.

1. Завантажити в редактор *Matlab Script-файл* PZIS_4 і вивчити її за допомогою виладача.

2. Відповідно до варіанту свого завдання провести корекцію операторів програми і зберегти *Script-файл* під довільним іменем.

3. Провести 4 імітаційних експерименти, змінюючи значення параметрів. За отриманими результатами заповнити таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати розрахунків

Тривалість інтервалу аналізу T_{analiz} , с		60	60	300	300
Крок дискретизації за часом dt , с		0,1	0,01	0,1	0,01
Кількість точок виміру N					
Частота дискретизації fd , Гц					
Крок дискретизації по частоті df , Гц					
Середня відносна помилка апроксимації $\bar{\Delta}_{ап}$, %					
Частоти гармонік спектра корисної складової, визначені по відфільтрованому часовому ряді, Гц					
Похибки визначення амплітуд гармонік спектра корисної складової, %	Нормалізованого сигналу				
	Квантованого сигналу				
	Відфільтрованого сигналу				
	Сигналу похибки				

4. Для кожного експерименту зафіксувати графічне представлення результатів.

5. Оформити заняття у вигляді документа формату *Word*, зробити висновки і надати його викладачеві.

Практичне заняття № 5. Визначення інтервалів дискретизації безперервних технологічних параметрів

Мета. Отримання практичних навичок визначення інтервалів дискретизації безперервних технологічних параметрів за наявності погрешностей засобами *Matlab*.

Теоретична частина. Крок дискретизації за часом Δt установлюється теоремою Котельникова (в англійській літературі - теоремою Найквіста-Шеннона), яка говорить, що аналоговий сигнал $y(t)$, який має обмежений частотний спектр, може бути однозначно і без втрат відновлений по своїм відрахункам, узятим із частотою дискретизації f_d , яка повинна бути не меншою подвоєній максимальній частоті спектра f_{\max}

$$f_d \geq 2f_{\max}.$$

Тоді значення Δt необхідно вибирати не більшим півперіоду максимальної частоти спектра f_{\max}

$$\Delta t \leq \frac{1}{2f_{\max}}.$$

Довжина реалізації T при цьому становить

$$T = \frac{(N-1)}{f_d},$$

а частота першої гармоніки в герцах

$$f_1 = \frac{f_d}{(N-1)}.$$

Через складність реалізації в повному обсязі умов даної теореми, на практиці для визначення періоду опитування використовують наступні рекомендації.

Щоб змінна була вірогідно представлена квантованим сигналом треба мати 20 ÷ 25 значень на період максимальної гармоніки, яка присутня в сигналі. Для більшості аналогових змінних задовільним є цикл опитування 0,1 ÷ 0,2 с.

Для дискретних змінних цикл опитування становить 0,1 с.

Максимальна частота спектра f_{\max} в цьому випадку становить 0,2 ÷ 0,5

Гц.

Завдання

У відповідності з даними варіанту завдання з табл. 5.1 провести визначення інтервалу дискретизації технологічного параметра за наявності погрешностей виміру.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані

№ варіанту	Номинальна швидкість обертання $n_{д,ном}$ об/хв	Середньоквадратичне відхилення погрешності σ , мА	Метод згладжування
1	600	1,5	Брауна 1-го пор.
2	700	1,6	Брауна 2-го пор.
3	800	1,7	Хольта
4	900	1,4	Ковзаючого середнього
5	1000	1,3	Брауна 1-го пор.
6	1100	1,2	Брауна 2-го пор.
7	1200	1,5	Хольта
8	1300	1,6	Ковзаючого середнього

Часовий ряд точних вимірів параметра сформувані, скориставшись формулою

$$\omega_d(t) = \omega_{д,ном} + a_1 \sin(2\pi f_1 t) + a_2 \sin(2\pi f_2 t) + a_3 \sin(2\pi f_3 t),$$

де a_1, a_2, a_3 , рад/с і f_1, f_2, f_3 , Гц - амплітуди і частоти гармонік, які випадковим чином визначаються із допустимих переліків значень $\omega_d(t) \cdot [0.025, 0.03, 0.015]$ і $[0.2, 0.35, 0.5]$.

Порядок виконання

1. Завантажити в редактор *Matlab Script-файл* PZIS_5 і вивчити її за допомогою вилдача.
2. Відповідно до варіанту свого завдання провести корекцію операторів програми і зберегти *Script-файл* під довільним іменем.
3. Провести 4 імітаційних експерименти і за отриманими результатами заповнити таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунків

Тривалість інтервалу аналізу T_{analiz}, c		60	60	600	600
Крок дискретизації за часом dt, c		0,05	0,1	0,1	0,2
Кількість точок виміру N					
Частота дискретизації $fd, Гц$					
Крок дискретизації по частоті $df, Гц$					
Середня відносна помилка апроксимації $\bar{\Delta}_{ап}, \%$					
Частоти гармонік спектра корисної складової, визначені по відфільтрованому часовому ряді, $Гц$					
Похибки визначення амплітуд гармонік спектра корисної складової, $\%$	Нормалізованого сигналу				
	Квантованого сигналу				
	Відфільтрованого сигналу				
	Сигналу похибки				

4. Для кожного експерименту зафіксувати графічне представлення результатів.

5. Проаналізувати отримані результати і визначити оптимальні значення тривалості інтервалу гармонійного аналізу та кроку дискретизації за часом.

6. Визначити максимальне значення кроку дискретизації досліджуваного часового ряду за часом Δt_{max} скориставшись теоремою Котельникова.

7. Оформити заняття у вигляді документа формату *Word*, зробити висновки і надати його викладачеві.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Ельперін І. В. Автоматизація виробничих процесів / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед. - К: Ліра-К., 2015. - 378 с.
2. Пупена О. М. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах / О. М. Пупена, І. В. Ельперін, Н. М. Луцька: Навч. посібн. – К.: Ліра-К, 2011. - 552 с.
3. Анашкин А. С. Техническое и программное обеспечение распределенных систем управления / А.С. Анашкин, Э.Д. Кадыров, В. Г. Харазов: Уч. пособие. – СПб., 2004. – 368 с.
4. Советов Б. Я., Цехановский В. В. Информационные технологии / Б.Я. Советов, В.В. Цехановский: Учебник для ВУЗов. – М.: Высшая школа, 2003 – 263 с.
5. Благовещенская, М. М. Информационные технологии систем управления техно логическими процессами / М. М. Благовещенская, Л. А. Злобин: Учеб. для вузов. - М.: Вышш. шк., 2005. - 768 с.
6. Конюх В. Л. Компьютерная автоматизация производства / В.Л. Конюх: Уч. пособие. –Кемерово.: КузГТУ, 2003. – 222 с.
7. Айфичер Э. Цифровая обработка сигналов. Практический подход / Э. Айфичер. - Спб.: Питер, 2004 – 224 с.

ДОДАТОК

Тексты программ в среде *Matlab* для выполнения практических работ

Программа расчета PZIS_1

```

clc;clear
% ЗАДАНИЕ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТА
Tanaliz=10;% Длительность интервала моделирования, с
dt=0.05;% Шаг дискретизации сигнала по времени, с
n=10;% Количество двоичных разрядов АЦП
N_d=1300;% Номинальное значение измер-го параметра (скорость вращения ЭД)
skoSUM=0.08;% Ср. кв. отклонение шума
T=0.45;ksi=0.5;% Параметры зависимости w(t)
f=[0.2,0.35,0.5,];a=(N_d*pi/30)*[0.025,0.03,0.015];
alfa=ksi/T;beta=sqrt(1-ksi^2)/T;fi=atan(beta/alfa);
k_br=0.08;% Коэффициент передачи тахогенератора (первичный преобразователь)
yUmin=4;yUmax=20;% Диапазон изменения унифицированного сигнала y_ун(t), мА
% ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ
t=0:dt:Tanaliz;% Вектор отсчетов времени
N=length(t);% Количество измерений
p=randperm(3) % Вектор значений параметров w(t)
p=input('Введите вектор выборки параметров w(t) в формате [p1,p2,p3] - ')
% Задание зависимости w=f(t)
Us_d=N_d*pi/30;% Номинальная угловая скорость вращения ЭД
x=Us_d*(1-(1/sqrt(1-ksi^2))*exp(-alfa.*t).*sin(beta.*t+fi));
x=x+a(p(1)).*sin(2*pi*f(1)*t)+a(p(2)).*sin(2*pi*f(2)*t)+a(p(3)).*sin(2*pi*f(3)*t);
y=k_br*x;% Вектор измерительного сигнала y(t)
% НОРМАЛИЗАЦИЯ СИГНАЛА
% Вектор значений унифицированного сигнала y_ун(t)
y_max=max(y); y_min=min(y);Dy=0.5*(y_max-y_min);y_max=y_max+Dy;
y_min=y_min-Dy;
yUn=(y*(y_max-y_min)+y_min*y_max-y_max*y_min)/(y_max-y_min);
% ДОБАВЛЕНИЕ ШУМА
% Вектор значений шума на входе АЦП
sum_ik=skoSUM*((y_max-y_min-2*Dy)/2)*randn(1,N);% Нормальный закон распределения
z=yUn+sum_ik;% Вектор сигнала на входе АЦП z(t)
% КВАНТОВАНИЕ ПО УРОВНЮ
Nkv=2^n;% Количество уровней квантования
Skv=(y_max-y_min)/Nkv% Шаг квантования
Ukv=[y_min:Skv:y_max];% Вектор значений уровней квантования

```

```

for i=1:N
    if z(i)<Ukv(1);z(i)=Ukv(1);end
    if z(i)>Ukv(length(Ukv));z(i)=Ukv(length(Ukv));end
    j=1;while z(i)>Ukv(j);j=j+1;end;z_kv(i)=Ukv(j);
    if (Ukv(j)-z(i))>0.5*Skv;z_kv(i)=Ukv(j-1);end
end
% ПОГРЕШНОСТЬ КВАНТОВАНИЯ
p_kv=z-z_kv;%Погрешность квантования, мА
SO=mean(abs(p_kv)) % Среднее значение погрешности квантования, мА
Dkv(1)=SO*100/max(z); Dkv(2)=SO*100/min(z);Dkv% Диапазон значений по-
грешности
p_sum=yUn-z_kv; % Суммарная погрешность
% ВЫВОД ГРАФИКОВ
It=N;% Количество точек вывода на график
% График измеряемого аналогового сигнала x(t) (черный цвет)
subplot(2,2,1),plot(t(1:It),x(1:It),'Color','k','LineWidth',2);hold all;grid on
title('График изменения измеряемого параметра w(t)');
xlabel('Время t (с)');ylabel('w(t),рад/с');
% График аналогового сигнала на выходе нормирующего преобразователя (чер-
ный цвет)
subplot(2,2,2),plot(t(1:It),yUn(1:It),'Color','k','LineWidth',2);hold all;grid on
% График аналогового сигнала на входе АЦП (синий цвет)
subplot(2,2,2),plot(t(1:It),z(1:It),'Color','b','LineWidth',1.5)
title('Унифицированные аналоговые измерительные сигналы, мА');
xlabel('Время t (с)');legend('y_y_n(t)','z(t)')
% График аналогового сигнала на входе АЦП (синий цвет)
subplot(2,2,3),plot(t(1:It),z(1:It),'Color','b','LineWidth',1.5);hold all;grid on
% График квантованого по времени и уровню сигнала на выходе АЦП (красный
цвет)
subplot(2,2,3),plot(t(1:It),z_kv(1:It),'o','Color','r','LineWidth',2)
title('Унифицирован. аналоговый z(t) и квантованный z_к_в(t) сигналы, мА');
xlabel('Время t (с)');legend('z(t)','z_к_в(t)')
% График погрешности квантования АЦП (фиолетовый цвет)
subplot(2,2,4),stem(t(1:It),p_kv(1:It),'o','Color','m','LineWidth',1.5); grid on
title('Погрешность квантования, мА');xlabel('Время t (с)')
% Построение гистограмм с наложенной функцией плотности вероятности
нормального закона
figure(2)
subplot(1,2,1),hist((p_kv),10);xlabel('Гистограмма погрешности квантова-
ния');grid on
subplot(1,2,2),histfit((p_sum),10);xlabel('Гистограмма суммарной погрешности
квант. сигнала');grid on

```

Програма розрахунку PZIS_2

```

clc;clear
% ЗАДАНИЕ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТА
Tanaliz=10;% Длительность интервала моделирования, с
dt=0.05;% Шаг дискретизации по времени, с
n=10;% Количество двоичных разрядов АЦП
N_d=1300;% Постоянная составляющая измеряемого параметра
skoSUM=1.5;% Ср. кв. отклонение шума
% Параметры зависимости w(t)
f=[0.2,0.35,0.5,];a=(N_d*pi/30)*[0.025,0.03,0.015];
k_br=0.08;% Коэффициент передачи тахогенератора (первичный преобразо-
ватель)
yUmin=4;yUmax=20;% Диапазон изменения унифицированного сигнала у_ун(t),
мА
% РАСЧЕТ
t=0:dt:Tanaliz;% Вектор отсчетов времени
N=length(t)% Количество измерений
p=randperm(3) % Вектор значений параметров w(t)
p=input('Введите вектор выборки параметров w(t) в формате [p1,p2,p3] -')
% Задание зависимости w=f(t)
Us_d=N_d*pi/30;% Номинальная угловая скорость вращения ЭД
x=Us_d+a(p(1)).*sin(2*pi*f(1)*t)+a(p(2)).*sin(2*pi*f(2)*t)+a(p(3)).*sin(2*pi*f(3)*
t);
y=k_br*x;% Вектор измерительного сигнала у(t)
% НОРМАЛИЗАЦИЯ СИГНАЛА
% Вектор значений унифицированного сигнала у_ун(t)
y_max=max(y); y_min=min(y);Dy=0.5*(y_max-y_min);y_max=y_max+Dy;
y_min=y_min-Dy;
yUn=(y*(y_max-y_min)+y_min*y_max-y_max*y_min)/(y_max-y_min);
% ДОБАВЛЕНИЕ ШУМА
% Вектор значений шума на входе АЦП
sum_ik=skoSUM*((y_max-y_min-2*Dy)/2)*randn(1,N);% Нормальный закон рас-
пределения
%k=1;sum_ik=k*(-skoSUM+2*skoSUM.*rand(1,N));% Равномерный закон рас-
пределения
z=yUn+sum_ik;% Вектор сигнала на входе АЦП z(t)
% КВАНТОВАНИЕ ПО УРОВНЮ
Nkv=2^n;% Количество уровней квантования
Skv=(y_max-y_min)/Nkv;% Шаг квантования
Ukv=[y_min:Skv:y_max];% Вектор значений уровней квантования
for i=1:N
    if z(i)<Ukv(1);z(i)=Ukv(1);end
    if z(i)>Ukv(length(Ukv));z(i)=Ukv(length(Ukv));end
    j=1;while z(i)>Ukv(j);j=j+1;end;z_kv(i)=Ukv(j);

```



```

        if (Ukv(j)-z(i))>0.5*Skv;z_kv(i)=Ukv(j-1);end
    end
% Вектор значений параметра при наличии шума
vs_y=mean(z_kv); % Определение выборочного среднего
vsko_y=std(z_kv); % Определение выборочного ср. кв. отклонения
vd_y=cov(z_kv); % Определение выборочной дисперсии
vs_y_vsko_y_vd_y=[vs_y,vsko_y,vd_y] % Вывод числовых характеристик
% Определение доверительного интервала для выборочного среднего при
P=0,68
Idov68(1)=vs_y-vsko_y;Idov68(2)=vs_y+vsko_y;
% Определение доверительного интервала для выборочного среднего при
P=0,95
Idov95(1)=vs_y-2*vsko_y;Idov95(2)=vs_y+2*vsko_y;Idov68_95=[Idov68; Idov95]
% ВЫВОД ГРАФИКОВ
It=N;
% Вывод графика закона точного изменения измеряемого параметра (черный
цвет)
subplot(2,1,1),plot(t(1:It),yUn(1:It),'Color','k','LineWidth',2);hold all;grid on
% График временного ряда, измеренного датчиком (синий цвет)
subplot(2,1,1),plot(t(1:It),z_kv(1:It),'Color','b','LineWidth',1.5);
% Вывод графика изменения выборочного среднего (красный цвет)
vs(1:N)=vs_y;plot(t(1:It),vs(1:It),'Color','r','LineWidth',2);
% Вывод графиков доверительных интервалов выборочного среднего
sigma68_1(1:N)=Idov68(1); sigma68_2(1:N)=Idov68(2);
sigma95_1(1:N)=Idov95(1);sigma95_2(1:N)=Idov95(2);
subplot(2,1,1),plot(t(1:It),sigma68_1(1:It),'--','Color','g','LineWidth',2); % Зеленый
цвет
subplot(2,1,1),plot(t(1:It),sigma95_1(1:It),'--','Color','m','LineWidth',2); % Фиоле-
товый цвет
subplot(2,1,1),plot(t(1:It),sigma68_2(1:It),'--','Color','g','LineWidth',2); % Зеленый
цвет
subplot(2,1,1),plot(t(1:It),sigma95_2(1:It),'--','Color','m','LineWidth',2); % Фиоле-
товый цвет
title('Унифицированные аналоговые измерительные сигналы, мА');
xlabel('Время t (с)');
legend('y_y_n(t)','z(t)','Выбор. среднее','Дов. интервал 0,68','Дов. интервал 0,95')
H=lillietest(z-vs_y) % Выполнение теста Лиллиефорса
% Построение гистограммы с наложенной функцией плотности вероятности
нормального закона
subplot(2,1,2),histfit((z-vs_y),10); grid on
xlabel('Гистограмма погрешности')

```

Програма розрахунку PZIS 3

```

clear;clc
% ЗАДАНИЕ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТА
Tanaliz=60;% Длительность интервала моделирования, с
dt=0.1;% Шаг дискретизации по времени, с
n=10;% Количество двоичных разрядов АЦП
N_d=1300;% Постоянная составляющая измеряемого параметра
skoSUM=1.5;% Среднеквадратическое отклонение шума
% Параметры зависимости w(t)
f=[0.2,0.35,0.5,];a=(N_d*pi/30)*[0.025,0.03,0.015];
k_br=0.08;% Коэффициент передачи тахогенератора (первичный преобразователь)
yUmin=4;yUmax=20;% Диапазон изменения унифицированного сигнала y_Un(t), мА
% РАСЧЕТ
t=0:dt:Tanaliz;% Вектор отсчетов времени
N=length(t)% Количество измерений
p=randperm(3) % Вектор значений параметров w(t)
%p=input('Введите вектор выборки параметров w(t) в формате [p1,p2,p3] -')
% Задание зависимости w=f(t)
Us_d=N_d*pi/30;% Номинальная угловая скорость вращения ЭД
x=Us_d+a(p(1)).*sin(2*pi*f(1)*t)+a(p(2)).*sin(2*pi*f(2)*t)+a(p(3)).*sin(2*pi*f(3)*t);
y=k_br*x;% Вектор измерительного сигнала y(t)
% НОРМАЛИЗАЦИЯ СИГНАЛА
% Вектор значений унифицированного сигнала y_Un(t)
y_max=max(y); y_min=min(y);Dy=0.5*(y_max-y_min);y_max=y_max+Dy;
y_min=y_min-Dy;
yUn=(y*(y_max-y_min)+y_min*y_max-y_max*y_min)/(y_max-y_min);
% ДОБАВЛЕНИЕ ШУМА НА ВХОДЕ АЦП
z=yUn+skoSUM*((y_max-y_min-2*Dy)/2)*randn(1,N);% Вектор сигнала на входе АЦП z(t)
% КВАНТОВАНИЕ ПО УРОВНЮ
Nkv=2^n;% Количество уровней квантования
Skv=(y_max-y_min)/Nkv;% Шаг квантования
Ukv=[yUmin:Skv:yUmax];% Вектор значений уровней квантования
for i=1:N
    if z(i)<Ukv(1);z(i)=Ukv(1);end
    if z(i)>Ukv(length(Ukv));z(i)=Ukv(length(Ukv));end
    j=1;while z(i)>Ukv(j);j=j+1;end;z_kv(i)=Ukv(j);
    if (Ukv(j)-z(i))>0.5*Skv;z_kv(i)=Ukv(j-1);end
end
% ФИЛЬТРАЦИЯ ШУМА
% Сглаживание методами Брауна 1, 2 порядков и методом Хольта

```

```

alfaB1=0.3;alfaB2=0.3;alfaH1=0.3;alfaH2=0.05; % Значения коэффициентов
сглаживания
% Инициализация фильтров
% sBr(1)=z_kv(1);
sBr(1)=mean([z_kv(1),z_kv(2),z_kv(3),z_kv(4),z_kv(5)]);
sBr2(1)=sBr(1);sH(1)=sBr(1);TH(1)=0;
% Реализация алгоритмов фильтров
    for i=2:N
        sBr(i)=sBr(i-1)+alfaB1*(z_kv(i)-sBr(i-1));
        sBr2(i)=sBr2(i-1)+alfaB2*(sBr(i-1)-sBr2(i-1));
        sH(i)=alfaH1*z_kv(i)+(1-alfaH1)*(sH(i-1)+TH(i-1));
        TH(i)=alfaH2*(sH(i)-sH(i-1))+(1-alfaH2)*TH(i-1);
    end
% Сглаживание методом скользящего среднего
sSS(1)=z_kv(1);sSS(2)=mean([z_kv(1),z_kv(2)]);
sSS(3)=mean([z_kv(1),z_kv(2),z_kv(3)]);
sSS(4)=mean([z_kv(1),z_kv(2),z_kv(3),z_kv(4)]);
    for i=5:N
        sSS(i)=mean([z_kv(i),z_kv(i-1),z_kv(i-2),z_kv(i-3),z_kv(i-4)]);
    end
% ОПРЕДЕЛЕНИЕ АДЕКВАТНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ
% Определение средней относительной погрешности аппроксимации
PA=[z_kv-sBr;z_kv-sBr2;z_kv-sH;z_kv-sSS];% Погрешность аппроксимации
for i=1:4;SOPA(i)=100*(sqrt((sum(PA(i,:).^2))/N))/mean(z_kv);end
SOPA_Br1_Br2_H_SS=SOPA
% Определение математического ожидания отфильтрованного шума
for i=1:4;MOsuma(i)=mean(PA(i,:));end
MOsuma_Br1_Br2_H_SS=MOsuma
% Выполнение теста Лиллиефорса для отфильтрованного шума
for i=1:4;H(i)=lillietest(PA(i,:));end
H_Br1_Br2_H_SS=H
% ВЫВОД ГРАФИКОВ
It=150;
% График квантованного временного ряда, измеренного датчиком (зеленые
точки)
subplot(1,2,1),plot(t(1:It),z_kv(1:It),'o','Color','g','LineWidth',2);hold all;grid on
subplot(1,2,2),plot(t(1:It),z_kv(1:It),'o','Color','g','LineWidth',2);hold all;grid on
% График точного изменения измеряемого параметра (черный цвет)
subplot(1,2,1),plot(t(1:It),yUn(1:It),'Color','k','LineWidth',1.5);
subplot(1,2,2),plot(t(1:It),yUn(1:It),'Color','k','LineWidth',1.5);
% График временного ряда, сглаженного по методу Брауна 1 порядка (синий
цвет)
subplot(1,2,1),plot(t(1:It),sBr(1:It),'Color','b','LineWidth',2)
% График временного ряда, сглаженного по методу Брауна 2 порядка (красный
цвет)

```

```

subplot(1,2,1),plot(t(1:It),sBr2(1:It),'Color','r','LineWidth',2)
title('Сглаживание фильтрами Брауна 1-го и 2-го порядков');
xlabel('Время \it{t (c)}');ylabel('Измеряемый унифицированный параметр
\it{\omega_i}')
legend('Реальный ряд','Точный ряд','Фильтр Брауна 1','Фильтр Брауна 2')
% График временного ряда, сглаженного по методу Хольта (красный цвет)
subplot(1,2,2),plot(t(1:It),sH(1:It),'Color','r','LineWidth',2) ;
% График временного ряда, сглаженного по методу скользящего среднего (си-
ний цвет)
subplot(1,2,2),plot(t(1:It),sSS(1:It),'Color','b','LineWidth',2)
title('Сглаживание фильтрами Хольта и скользящего среднего');
xlabel('Время \it{t (c)}');ylabel('Измеряемый унифицированный параметр
\it{\omega_i}')
legend('Реальный ряд','Точный ряд','Фильтр Хольта','Фильтр ск. среднего')

```

Програма розрахунку PZIS 4

```

clear;clc
% ЗАДАНИЕ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТА
Tanaliz=300;% Длительность интервала анализа сигнала, с
dt=0.05;% Шаг дискретизации по времени, с
N_d=1200;% Постоянная составляющая измеряемого параметра
skoSUM=1.5;% Ср. кв. отклонение шума
f=[0.2,0.35,0.5,];a=(N_d*pi/30)*[0.025,0.03,0.015]; % Параметры зависимости
w(t)
k_br=0.08;% Коэффициент передачи тахогенератора (первичный преобразо-
ватель)
yUmin=4;yUmax=20;% Диапазон изменения унифицированного сигнала y_ун(t),
мА
n=10;% Количество двоичных разрядов АЦП
% РАСЧЕТ
t=0:dt:Tanaliz;N=length(t);% Вектор отсчетов времени
p=[1,2,3];
%p=randperm(3) % Вектор случайной выборки параметров w(t)
%p=input('Введите вектор выборки параметров w(t) в формате [p1,p2,p3] -')
% Задание зависимости w=f(t)
Ag=[a(p(1)), a(p(2)), a(p(3))];
Us_d=N_d*pi/30;% Номинальная угловая скорость вращения ЭД
x=Us_d+Ag(1). *sin(2*pi*f(1)*t)+Ag(2). *sin(2*pi*f(2)*t)+Ag(3). *sin(2*pi*f(3)*t);
y=k_br*x;% Вектор измерительного сигнала y(t)
% НОРМАЛИЗАЦИЯ СИГНАЛА
% Вектор значений унифицированного сигнала y_ун(t)
y_max=max(y); y_min=min(y);Dy=0.5*(y_max-y_min);y_max=y_max+Dy;
y_min=y_min-Dy;
yUn=(y*(yUmax-yUmin)+yUmin*y_max-yUmax*y_min)/(y_max-y_min);
% ДОБАВЛЕНИЕ ШУМА
% Вектор значений шума на входе АЦП
SUM=skoSUM*((y_max-y_min-2*Dy)/2)*randn(1,N);% Нормальный закон рас-
пределения
%k=1;SUM=k*(-skoSUM+2*skoSUM.*rand(1,N));% Равномерный закон распре-
деления
z=yUn+SUM;% Вектор сигнала на входе АЦП z(t)
% КВАНТОВАНИЕ ПО УРОВНЮ
Nkv=2^n;% Количество уровней квантования
Skv=(yUmax-yUmin)/Nkv;% Шаг квантования
Ukv=[yUmin:Skv:yUmax];% Вектор значений уровней квантования
for i=1:N
    if z(i)<Ukv(1);z(i)=Ukv(1);end
    if z(i)>Ukv(length(Ukv));z(i)=Ukv(length(Ukv));end
    j=1;while z(i)>Ukv(j);j=j+1;end;z_kv(i)=Ukv(j);

```

```

        if (Ukv(j)-z(i))>0.5*Skv;z_kv(i)=Ukv(j-1);end
    end
% ФИЛЬТРАЦИЯ ШУМА
% Сглаживание методами Брауна 1, 2 порядка и методом Хольта
alfaB1=0.3;alfaB2=0.3;alfaH1=0.3;alfaH2=0.2; % Значения коэффициентов
сглаживания
% Инициализация фильтров
sBr(1)=mean([z(1),z(2),z(3),z(4),z(5)]);sBr2(1)=sBr(1);sH(1)=sBr(1);TH(1)=0;
% Реализация алгоритмов фильтров
    for i=2:N
        sBr(i)=sBr(i-1)+alfaB1*(z(i-1)-sBr(i-1));
        sBr2(i)=sBr2(i-1)+alfaB2*(sBr(i-1)-sBr2(i-1));
        sH(i)=alfaH1*z(i)+(1-alfaH1)*(sH(i-1)+TH(i-1));
        TH(i)=alfaH2*(sH(i)-sH(i-1))+(1-alfaH2)*TH(i-1);
    end
% Сглаживание методом скользящего среднего
sSS(1)=z(1);sSS(2)=mean([z(1),z(2)]); sSS(3)=mean([z(1),z(2),z(3)]);
sSS(4)=mean([z(1),z(2),z(3),z(4)]);
    for i=5:N;sSS(i)=mean([z(i),z(i-1),z(i-2),z(i-3),z(i-4)]);end
SS=sBr;% Выбор метода фильтрации
% ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
fd=1/dt;% Частота дискретизации, Гц
fnaikv=fd/2;% Частота Найквиста, Гц
df=fd/(N-1);% Шаг дискретизации по частоте, Гц
Sign=[yUn;z_kv;SS;SS-z_kv];% Матрица анализируемых сигналов
    for i=1:4
        DPF(i,:)=abs(fft(Sign(i,:),N));% Амплитуды преобразования Фурье сигна-
лов
        DPF(i,:)= 2*DPF(i,:)/N; % Нормировка спектра по амплитуде
    end
    DPF(1:4,1)= DPF(1:4,1)/2; % Нормировка постоянной составляющей в
спектре
f1=0:df:1*fnaikv;dv=length(f1);% Вектор частот отображения спектра
vs_A=mean(DPF(3,:));vsko_A= std(DPF(3,:));
j=1;for i=1:dv;if DPF(3,i)>(vs_A+1*vsko_A);Ng_F(j)=i;j=j+1;end;end
% РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
format short g;
% ОПРЕДЕЛЕНИЕ АДЕКВАТНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ
% Определение средней относительной погрешности аппроксимации
SOPA=100*(sqrt((sum((z_kv-SS).^2)/N))/mean(z_kv) % Погрешность аппрокси-
мации
Cg_F=f1(Ng_F)% Частоты гармоник спектра полезной составляющей
Ag_0=(Us_d*k_br*(yUmax-yUmin)+yUmin*y_max-yUmax*y_min)/(y_max-y_min);
Ag=((Us_d+Ag)*k_br*(yUmax-yUmin)+yUmin*y_max-yUmax*y_min)/(y_max-
y_min)-Ag_0;

```

```

TAg=[Ag_0,Ag] % Точные значения амплитуд спектра
Ag_F=[DPF(1:4,Ng_F)];% Амплитуды гармоник спектра полезной составляющей
% Амплитуды гармоник спектра полезной составляющей в %
for i=1:4;PAg_F(i,:)=100*(TAg-Ag_F(i,:))./TAg;end;PAg_F
Rrasc(1)=Tanaliz;Rrasc(2)=dt;Rrasc(3)=N;Rrasc(4)=fd;Rrasc(5)=df;
Tanaliz_dt_N_fd_df=Rrasc
% ВЫВОД ГРАФИКОВ
It=150;% Количество точек вывода графиков
% График квантованного временного ряда, измеренного датчиком (зеленые точки)
plot(t(1:It),z_kv(1:It),'o','Color','g','LineWidth',2);hold all;grid on
% График точного изменения измеряемого параметра (черные точки)
plot(t(1:It),yUn(1:It),'o','Color','k','LineWidth',2)
% График сглаженного временного ряда (красный цвет)
plot(t(1:It),SS(1:It),'Color','r','LineWidth',2.5)
title('Анализируемые временные ряды');
xlabel('Время \it t (c)'); ylabel('Измеряемый параметр \it z');
legend('Реальный ряд','Точный ряд','Отфильтрованный ряд')
figure(2)
% График спектра точного временного ряда (черный цвет)
subplot(2,2,1),plot(f1(1:dv),DPF(1,1:dv),'Color','k','LineWidth',2);grid on;
title('Спектр точного временного ряда');xlabel('Частота \it f, Гц');
ylabel('Амплитуда');
% График спектра измеренного временного ряда (зеленый цвет)
subplot(2,2,2),plot(f1(1:dv),DPF(2,1:dv),'Color','g','LineWidth',2);grid on;
title('Спектр измеренного временного ряда');xlabel('Частота \it f, Гц');
ylabel('Амплитуда');
% График спектра отфильтрованного временного ряда (синий цвет)
subplot(2,2,3),plot(f1(1:dv),DPF(3,1:dv),'Color','b','LineWidth',2);grid on;
title('Спектр отфильтрованного временного ряда');xlabel('Частота \it f, Гц');
ylabel('Амплитуда');
% График спектра шума(красный цвет)
subplot(2,2,4),plot(f1(1:dv),DPF(4,1:dv),'Color','r','LineWidth',2);grid on;
title('Спектр отфильтрованного шума');xlabel('Частота \it f, Гц');
ylabel('Амплитуда');

figure(3)
histfit(SS-z_kv);grid on;

```

Програма розрахунку PZIS 5

```

clear;clc
% ЗАДАНИЕ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТА
Tanaliz=600;% Длительность интервала анализа сигнала, с
dt=0.1;% Шаг дискретизации по времени, с
N_d=1200;% Постоянная составляющая измеряемого параметра
skoSUM=1.5;% Ср. кв. отклонение шума
f=[0.2,0.35,0.5,];a=(N_d*pi/30)*[0.025,0.03,0.015]; % Параметры зависимости
w(t)
k_br=0.08;% Коэффициент передачи тахогенератора (первичный преобразо-
ватель)
yUmin=4;yUmax=20;% Диапазон изменения унифицированного сигнала y_ун(t),
мА
n=10;% Количество двоичных разрядов АЦП
% РАСЧЕТ
t=0:dt:Tanaliz;N=length(t);% Вектор отсчетов времени
p=randperm(3) % Вектор случайной выборки параметров w(t)
p=input('Введите вектор выборки параметров w(t) в формате [p1,p2,p3] -')
% Задание зависимости w=f(t)
Ag=[a(p(1)), a(p(2)), a(p(3))];
Us_d=N_d*pi/30;% Номинальная угловая скорость вращения ЭД
x=Us_d+Ag(1).*sin(2*pi*f(1)*t)+Ag(2).*sin(2*pi*f(2)*t)+Ag(3).*sin(2*pi*f(3)*t);
y=k_br*x;% Вектор измерительного сигнала y(t)
% НОРМАЛИЗАЦИЯ СИГНАЛА
% Вектор значений унифицированного сигнала y_ун(t)
y_max=max(y); y_min=min(y);Dy=0.5*(y_max-y_min);y_max=y_max+Dy;
y_min=y_min-Dy;
yUn=(y*(y_max-y_min)+y_min*y_max-y_max*y_min)/(y_max-y_min);
% ДОБАВЛЕНИЕ ШУМА
% Вектор значений шума на входе АЦП
SUM=skoSUM*((y_max-y_min-2*Dy)/2)*randn(1,N);% Нормальный закон рас-
пределения
%k=1;SUM=k*(-skoSUM+2*skoSUM.*rand(1,N));% Равномерный закон распре-
деления
z=yUn+SUM;% Вектор сигнала на входе АЦП z(t)
% КВАНТОВАНИЕ ПО УРОВНЮ
Nkv=2^n;% Количество уровней квантования
Skv=(y_max-y_min)/Nkv;% Шаг квантования
Ukv=[y_min:Skv:y_max];% Вектор значений уровней квантования
for i=1:N
    if z(i)<Ukv(1);z(i)=Ukv(1);end
    if z(i)>Ukv(length(Ukv));z(i)=Ukv(length(Ukv));end
    j=1;while z(i)>Ukv(j);j=j+1;end;z_kv(i)=Ukv(j);
    if (Ukv(j)-z(i))>0.5*Skv;z_kv(i)=Ukv(j-1);end

```



```

end
% ФИЛЬТРАЦИЯ ШУМА
% Сглаживание методами Брауна 1, 2 порядка и методом Хольта
alfaB1=0.3;alfaB2=0.3;alfaH1=0.3;alfaH2=0.2; % Значения коэффициентов
сглаживания
% Инициализация фильтров
sBr(1)=mean([z(1),z(2),z(3),z(4),z(5)]);sBr2(1)=sBr(1);sH(1)=sBr(1);TH(1)=0;
% Реализация алгоритмов фильтров
for i=2:N
sBr(i)=sBr(i-1)+alfaB1*(z(i-1)-sBr(i-1));
sBr2(i)=sBr2(i-1)+alfaB2*(sBr(i-1)-sBr2(i-1));
sH(i)=alfaH1*z(i)+(1-alfaH1)*(sH(i-1)+TH(i-1));
TH(i)=alfaH2*(sH(i)-sH(i-1))+(1-alfaH2)*TH(i-1);
end
% Сглаживание методом скользящего среднего
sSS(1)=z(1);sSS(2)=mean([z(1),z(2)]); sSS(3)=mean([z(1),z(2),z(3)]);
sSS(4)=mean([z(1),z(2),z(3),z(4)]);
for i=5:N;sSS(i)=mean([z(i),z(i-1),z(i-2),z(i-3),z(i-4)]);end
SS=sBr;% Выбор метода фильтрации
% ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
fd=1/dt;% Частота дискретизации, Гц
fnaikv=fd/2;% Частота Найквиста, Гц
df=fd/(N-1);% Шаг дискретизации по частоте, Гц
Sign=[yUn;z_kv;SS;SS-z_kv];% Матрица анализируемых сигналов
for i=1:4
DPF(i,:)=abs(fft(Sign(i,:),N));% Амплитуды преобразования Фурье сигнала
DPF(i,:)= 2*DPF(i,:)/N; % Нормировка спектра по амплитуде
end
DPF(1:4,1)= DPF(1:4,1)/2; % Нормировка постоянной составляющей в
спектре
f1=0:df:1*fnaikv;dv=length(f1);% Вектор частот отображения спектра
vs_A=mean(DPF(3,:));vsko_A= std(DPF(3,:));
j=1;for i=1:dv;if DPF(3,i)>(vs_A+1*vsko_A);Ng_F(j)=i;j=j+1;end;end
% РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
format short g;
% ОПРЕДЕЛЕНИЕ АДЕКВАТНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ
% Определение средней относительной погрешности аппроксимации
SOPA=100*(sqrt((sum((z_kv-SS).^2))/N))/mean(z_kv) % Погрешность аппроксима-
ции
Cg_F=f1(Ng_F)% Частоты гармоник спектра полезной составляющей
Ag_0=(Us_d*k_br*(yUmax-yUmin)+yUmin*y_max-yUmax*y_min)/(y_max-y_min);
Ag=((Us_d+Ag)*k_br*(yUmax-yUmin)+yUmin*y_max-yUmax*y_min)/(y_max-
y_min)-Ag_0;
TAg=[Ag_0,Ag] % Точные значения амплитуд спектра

```

```

Ag_F=[DPF(1:4,Ng_F)];% Амплитуды гармоник спектра полезной составляющей
% Амплитуды гармоник спектра полезной составляющей в %
for i=1:4;PAg_F(i,:)=100*(TAg-Ag_F(i,:))./TAg;end;PAg_F
Rrasc(1)=Tanaliz;Rrasc(2)=dt;Rrasc(3)=N;Rrasc(4)=fd;Rrasc(5)=df;
Tanaliz_dt_N_fd_df=Rrasc
% ВЫВОД ГРАФИКОВ
It=150;% Количество точек вывода графиков
% График квантованного временного ряда, измеренного датчиком (зеленые точки)
plot(t(1:It),z_kv(1:It),'o','Color','g','LineWidth',2);hold all;grid on
% График точного изменения измеряемого параметра (черные точки)
plot(t(1:It),yUn(1:It),'o','Color','k','LineWidth',2)
% График сглаженного временного ряда (красный цвет)
plot(t(1:It),SS(1:It),'Color','r','LineWidth',2.5)
title('Анализируемые временные ряды');
xlabel('Время \it t (c)'); ylabel('Измеряемый параметр \it z');
legend('Реальный ряд','Точный ряд','Отфильтрованный ряд')
figure(2)
% График спектра точного временного ряда (черный цвет)
subplot(2,2,1),plot(f1(1:dv),DPF(1,1:dv),'Color','k','LineWidth',2);grid on;
title('Спектр точного временного ряда');xlabel('Частота \it f, Гц');
ylabel('Амплитуда');
% График спектра измеренного временного ряда (зеленый цвет)
subplot(2,2,2),plot(f1(1:dv),DPF(2,1:dv),'Color','g','LineWidth',2);grid on;
title('Спектр измеренного временного ряда');xlabel('Частота \it f, Гц');
ylabel('Амплитуда');
% График спектра отфильтрованного временного ряда (синий цвет)
subplot(2,2,3),plot(f1(1:dv),DPF(3,1:dv),'Color','b','LineWidth',2);grid on;
title('Спектр отфильтрованного временного ряда');xlabel('Частота \it f, Гц');
ylabel('Амплитуда');
% График спектра шума(красный цвет)
subplot(2,2,4),plot(f1(1:dv),DPF(4,1:dv),'Color','r','LineWidth',2);grid on;
title('Спектр отфильтрованного шума');xlabel('Частота \it f, Гц');
ylabel('Амплитуда');

figure(3)
histfit(SS-z_kv);grid on;

```