

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт з дисципліни
«Електронні вимірювальні прилади»
для студентів напрямку підготовки: 6.051003 «Приладобудування»

РОЗГЛЯНУТО
на засіданні кафедри
електронної техніки
протокол № _ від __.04.11 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні навчально-
видавничої ради
ДВНЗ «ДонНТУ»
протокол № _ від ____ 2011 р.

УДК 621.317.7 , 681(083)

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Електронні вимірювальні прилади» для студентів напрямку підготовки: 6.051003 «Приладобудування») / М.Г. Хламов – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – 41 с.

В методичних вказівках наведено завдання до лабораторних робіт з дисципліни «Електронні вимірювальні прилади», а також методичні вказівки до їх виконання.

Укладач:

к.т.н., проф.Хламов М.Г.

Рецензент

к.т.н., доц.

Совкова О.Й.

ЗМІСТ

	Стор.
Лабораторна робота 1. Дослідження статистичних параметрів інформаційного сигналу.....	4
Лабораторна робота 2. Дослідження первинного вимірювального перетворювача	7
Лабораторна робота 3. Дослідження режимів роботи нормуючого перетворювача...	11
Лабораторна робота 4. Дослідження аналого-цифрового перетворювача...	16
Лабораторна робота 5. Моделювання настройки алгоритму масштабування	22
Лабораторна робота 6. Дослідження метрологічних характеристик процесорного засобу вимірювання з передвключеним перетворювачем тиску	29
ДОДАТОК А Апроксимація експериментальних залежностей методом найменших квадратів (МНК).....	36
ДОДАТОК Б. Значення t_{β} , що задовільняють рівності $2 \int_0^{t_{\beta}} S_{n-1}(t) dt = \beta, x0$ залежно від β і $n-1$	40

Лабораторна робота 1.

Дослідження статистичних параметрів інформаційного сигналу

Об'єкт контролю і управління заданий сукупністю фізико-хімічних параметрів (ФХП) (у лабораторній роботі це гідравлічний тиск P , МПа), що змінюються в часі. Перед проектуванням інформаційно-управляючої системи об'єкту проводяться перед проектні дослідження об'єкту з метою формування технічного завдання на проектування інформаційно-управляючої системи. Дослідження лабораторної роботи проводяться на прикладі одного з параметрів об'єкту (гідравлічний тиск).

Мета роботи ідентифікувати ФХ параметр, що змінюється в часі, об'єкту в класі сигналів, встановити його параметри і характеристики.

Комп'ютерна модель процесу є програмою – генератором, така що формує сигнал у вигляді тимчасового ряду завдовжки в 10 000 точок з кроком $\Delta t = 0.05$ с між точками. Довжина реалізації 500 с.

При ідентифікації процесу встановлюється: до якого класу процесів відноситься той, що розглядається (детерміновані, випадкові безперервні або дискретні, стаціонарні або нестаціонарні і ін.).

По реалізації процесу визначається безперервний він або дискретний.

Для виявлення випадковості і стаціонарності процесу використовується критерій серій. Про критерій серій дивися електронний файл «Критерій серій». Для застосування критерію процес децимірується з кроком $50\Delta t$, що гарантує статистичну незалежність відліків відібраної реалізації в 200 точок. Середнім значенням графік вибіркової реалізації в 200 точок розбивається на серії, число яких підкоряється певному закону розподілу i , відповідно до критерію і його значущості, повинне лежати в певному діапазоні, визначуваним по прикладених таблицях. При виконанні критерію, реалізацію з 200 точок слід вважати чисто випадковою, а процес стаціонарним.

Ергодичність процесу можна встановити по прагненню до нуля кореляційної функції із зростанням значень змінної τ . Якщо визначити кореляційну функцію процесу (децимірований, проріджений), то вже при $k > 1$ вона відповідатиме кореляційній функції процесу при великих зрушеннях τ . Питання про те, чи можна вважати вибірккові кореляції рівними нулю чи ні, розв'язується відповідно до критерію Бартлетта: для будь-якого процесу, у якого всі кореляції $\rho_v = 0$ при $v > q$, вибірккові кореляції мають дисперсію:

$$D_{r,k} = \frac{I}{N} \cdot \left(1 + 2 \cdot \sum_{i=0}^n \rho_v \right)$$

Дисперсією визначається стандартна погрішність вибірових кореляцій. Якщо вони не перевищують стандартної погрішності, то їх можна вважати нульовими.

При **обчисленні** оцінок статистичних моментів визначаються оцінки:

– середнього,

$$\bar{m}_\delta = \frac{1}{n+1} \cdot \sum_{i=0}^n P_i;$$

– дисперсії,

$$\bar{D}_p = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^n (P_i - \bar{m}_p)^2; \quad \bar{\sigma}_p = \sqrt{\bar{D}_p};$$

– асиметрії

$$\bar{As}_p = \frac{1}{n \cdot \bar{\sigma}_p^3} \cdot \sum_{i=0}^n (P_i - \bar{m}_p)^3;$$

– коефіцієнта ексцесу

$$\bar{Ex}_p = -3 + \frac{1}{n \cdot \bar{\sigma}_p^4} \cdot \sum_{i=0}^n (P_i - \bar{m}_p)^4;$$

а також функція густини вірогідності.

Якщо коефіцієнт асиметрії рівний нулю або не перевищує нормованого значення статистичної погрішності і, одночасно, коефіцієнт ексцесу задовольняє тим же вимогам, то за функцію густини вірогідності розподілу миттєвих значень вимірюваної фізичної величини приймається нормальний закон розподілу, який строго симетричний і у якого ексцес – коефіцієнт островершинності

строго рівний трем.

За одержаними оцінками і функціями визначаються: діапазон зміни контрольованого параметра (ширина довірчого інтервалу зміни контрольованого параметра при довірчій вірогідності $\alpha = 0.997$), на підставі яких формулюються вимоги до параметрів і характеристик електронної системи контролю ФХ параметра.

Робота виконується з використанням файлів: «Визначення статистичних параметрів інформаційного сигналу», «Критерій серій».

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Завдання досліджень.
3. Результати досліджень: висновки про випадковість, стаціонарність, ергодичності процесу, на підставі яких критеріїв і з якими показниками встановлені.
4. Значення оцінок статистичних моментів.
5. Вимоги до вимірювального каналу електронної вимірювальної системи.
6. Висновки по роботі.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Що є серія, як вона визначається?
2. У чому полягає гіпотеза про стаціонарність реалізації, як перевіряється її істинність?
3. Як встановлюється ергодичність процесу?
4. Що дає для організації обробки даних про процес знання його ергодичності?
5. На підставі яких даних про процес встановлюється його функція густини вірогідності?

Лабораторна робота 2.

Дослідження первинного вимірювального перетворювача

Модель вимірювального первинного перетворювача побудована по двухланковій схемі: першою ланкою моделюється статична передавальна характеристика, а другим – інерційні властивості перетворювача. Нормування статичної характеристики забезпечується завданням трьох параметрів контрольованого фізико-хімічного процесу: мінімального, середнього і максимального значень. Ці ж значення присутні в настроювальному трирівневому сигналі, а програмний модуль формування настроювального сигналу на своєму початку в явному вигляді містить ці параметри. Тому, на початку програмного модуля моделювання статичної передавальної характеристики первинного вимірювального перетворювача, не обов'язково указувати три значення контрольованого параметра.

Первинні вимірювальні перетворювачі, що містять вимірювальний міст вимагають настройки цього вузла. Настройка здійснюється при середньому значенні контрольованого параметра. При цьому міст повинен бути симетричним і збалансованим. Якщо вихідною величиною параметричного датчика є активний опір R , то всі плечі вимірювального моста при середньому значенні контрольованого параметра повинні мати опір рівний вихідному опорі датчика. Приклад настройки вимірювального моста, що містить терморезистор, приведений на рис. 1.

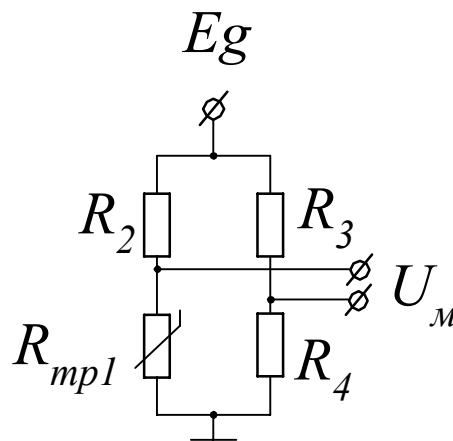


Рисунок 1 – Приклад настройки вимірювального моста, що містить терморезистор.

Тут статична характеристика перетворювача описана ступеневим поліномом, по якому встановлюється значення вихідного опорі терморезистора при серед-

ньому значенні температури. Балансування моста і його симетрування забезпечуються вибором значень опорів плечей моста.

Особливість настройки ПВП тиску з вимірювальним мостом, всі плечі якого містять тензорезистори (див. рис 2), полягає у тому, що при середньому значенні параметра (тиск) міст виявляється розбалансованим. Це обумовлено тим, що при середньому значенні параметра група тензорезисторів, що випробує деформацію розтягування і включених в одну діагональ моста, мають робочу крапку на передавальній характеристиці в положенні *A* (див. мал. 3).

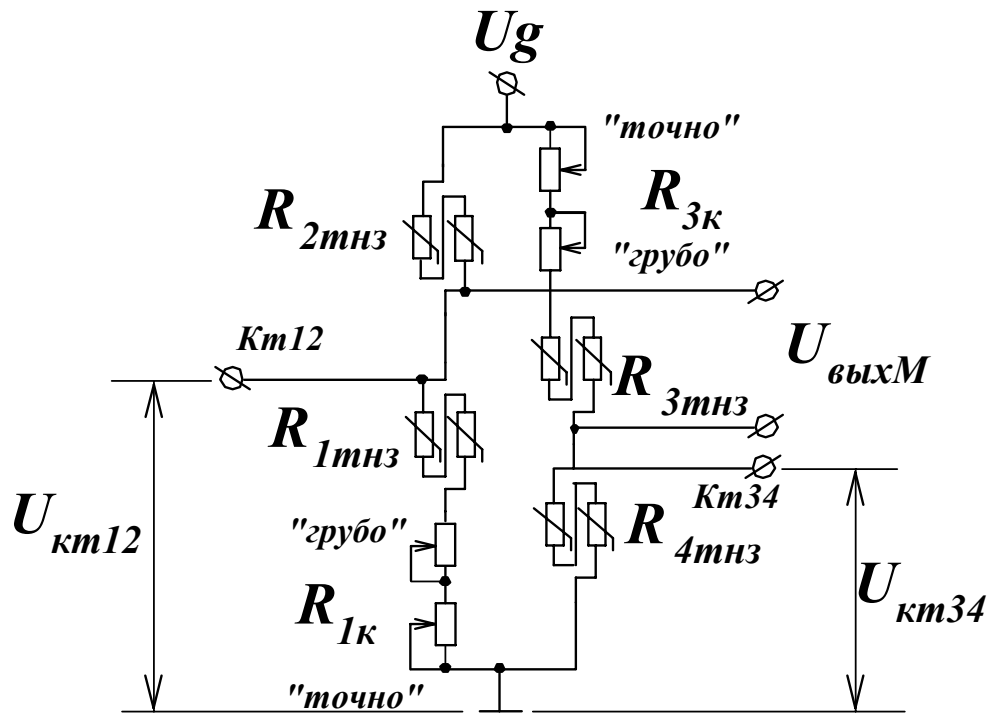


Рисунок 2 – Приклад побудови тензорезисторного вимірювального моста з компенсуючими резисторами $R_{1к}$ і $R_{3к}$

При тому ж значенні вимірюваного параметра група тензорезисторів, що випробує деформацію стиснення і включених в протилежну діагональ моста, мають робочу крапку на передавальній характеристиці в положенні *B*. Для забезпечення режиму балансу моста при середньому значенні тиску, в плечі моста з меншим опором включаються додаткові компенсуючі резистори (див. рис. 2). Про вимірювальні мости і тензорезистори дивися електронні файли: «Сучасні тензорезистори», «Сенсори. Вимірювальні мости»

У параметричних ПВП з перетворювачами фізико-хімічних параметрів (ФХП) в зміну індуктивності або місткості подальше перетворення в електричний сигнал може бути виконане теж з використанням індуктивного або вимірювального моста місткості, на який подають змінну напругу живлення

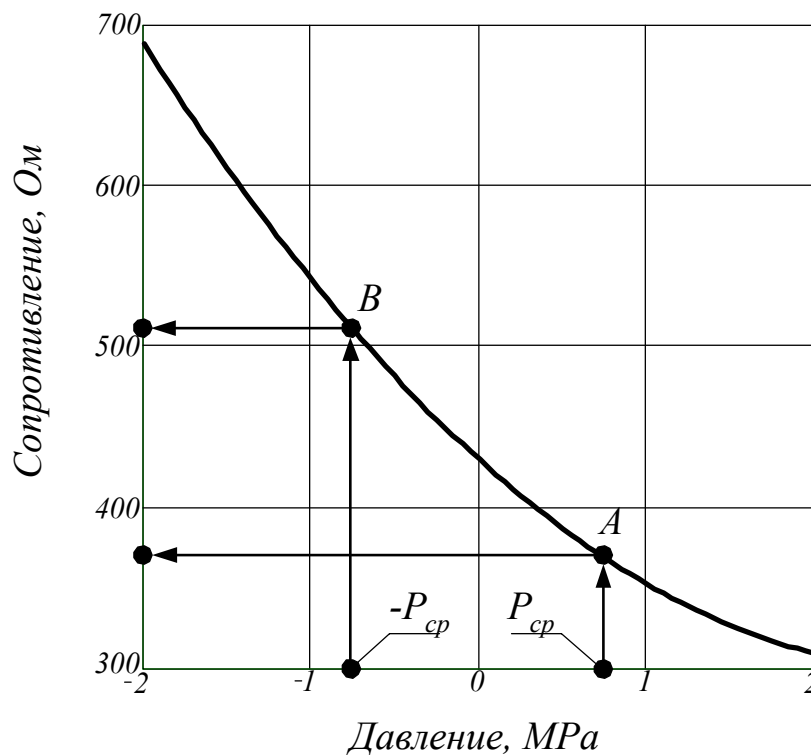


Рисунок 3 – Положення робочих крапок на передавальній характеристиці тензометричного перетворювача тиску при середньому значенні параметра: А – групи тензорезисторів, що випробує деформацію розтягування; В – групи тензорезисторів, що випробує деформацію стиснення.

$1 \dots 10$ кГц. При перетині точки балансування моста вихідний сигнал симетричного моста стрибком змінює фазу коливання на 180° . Це вимагає введення в пристрій обробки вимірювального сигналу фазо-чутливий детектор. Несиметричний вимірювальний міст, у якого зміна реактивного параметра (L або C) не визаває зміни фази вихідного коливання, має вихідний сигнал у вигляді амплітудно-модульованого. В цьому випадку пристрій обробки вимірювального сигналу має простішу структуру, але чутливість вимірювального моста нижча.

Настройка тензорезисторного вимірювального моста здійснюється в статичному режимі при значенні вхідного вимірюваного параметра об'єкту контролю P_{cp} . Для забезпечення високої чутливості вимірювального моста в процесі настройки добиваються симетричного стану моста, тобто рівності опорів всіх плечей моста.

Балансування вимірювального моста задається компенсуючими резисторами $R_{1к}$ і $R_{3к}$, кожний з яких має двухступеневе регулювання: "Грубо" – однооборотними резисторами; "Точно" – багатооборотними подстроєчними резисторами. Роздільна здатність резисторів по куту повороту 5° . З урахуванням розді-

льної здатності кут повороту движка резисторів задається цілими числами: $n_{1к-грубо}$, $n_{3к-грубо}$ з діапазону $[0, 60]$; $n_{1к-точно}$, $n_{3к-точно}$ з діапазону $[-215, 0, +215]$. Підстроювання кожного з резисторів виконують роздільно. Порядок підстроювання: спочатку $R_{1к}$, а потім $R_{3к}$, – не має значення і може бути будь-яким.

Вимірювання всіх напруг здійснюється з точністю до шести знаків після коми. Це забезпечується форматуванням всіх напруг (струмів), що виводяться на індикацію, шляхом завдання їх формату: опції Форматирование/Результат/Decimal/6.

Настройка первинного вимірювального перетворювача закінчується визначенням в статичному режимі максимального і мінімального значень параметрів електричного вихідного сигналу перетворення.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Завдання досліджень.
3. Результати настроювання: значення потенціалів в контрольних точках; осцилограма вихідного сигналу вимірювального моста, значення вихідного сигналу вимірювального моста, відповідно максимальному, середньому і мінімальному значенням процесу.
4. Висновки по роботі.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Що є напівпровідниковим тензорезистор?
2. У чому полягає проблема температурного впливу на тензорезисторні ланцюги?
3. Які вимірювальні перетворювачі входять в первинний перетворювач гідрравлічного тиску?
4. Якими якостями володіє вимірювальний міст зі всіма плечима, складеними з навантажених тензорезисторів?
5. Яка необхідність в елементах підстроювання тензорезисторного моста?

Лабораторна робота 3.

Дослідження режимів роботи нормуючого перетворювача

Визначення показника точності настройки параметрів нормуючого перетворювача

Параметри, що настраюються, віднесемо до двох груп: вхідні і вихідні параметри нормуючого перетворювача. Максимальне значення погрішності настройки параметрів не повинна перевищувати половини одиниці молодшого розряду АЦП, приведеного до діапазону зміни параметра, що настраюється, і закруглене до найближчого меншого кратного величинам $1, 2, 5$, що відповідає: для параметрів вхідних ланцюгів нормуючого перетворювача, наприклад

$$\Delta\Delta U_{\text{вх}} := \frac{|U_{\text{вхНПМ}} - U_{\text{вхНПм}}|}{2 \cdot 2^{\text{kk}}} \quad \Delta\Delta U_{\text{вх}} = 0.000282241$$

після округлення матимемо $\Delta\Delta U_{\text{вх}} = 0.28 \text{ мВ}$; з розрахованим показником точності повинні визначатися напруги зсуву; для параметрів вихідного ланцюга нормуючого перетворювача, наприклад,

$$\Delta\Delta U_{\text{вих}} := \frac{U_{\text{вихНПМ}} - U_{\text{вихНПм}}}{2 \cdot 2^{\text{kk}}} \quad \Delta\Delta U_{\text{вих}} = 0.004882813$$

після округлення матимемо $\Delta\Delta U_{\text{вих}} = 5 \text{ мВ}$ з розрахованим показником точності повинні визначатися значення вихідного параметра (напруги або струму).

Моделювання настройки нормуючого перетворювача

Нормуючий перетворювач реалізований по схемі диференціального вимірювального підсилювача рис. 1. Нормуючий перетворювач має три основні регульовані параметри: коефіцієнт передачі і дві напруги зсуву. Кожний з параметрів має два рівні регулювання: широкодіапазонна перебудова параметра – регулювання «Грубо»; вузькодіапазонне підстроювання параметра – регулювання «Точно». Настройкою коефіцієнта передачі забезпечуються уніфіковані параметри вихідного сигналу нормуючого перетворювача. За допомогою першого вузла зсуву усувається систематичний зсув вихідного сигналу, викликане напругами зсуву операційних підсилювачів, що входять в схему нормуючого перетворювача. Вважається, що систематичний зсув в процесі моделювання не змінюється. Другим вузлом зсуву забезпечується збіг параметрів вихідного сигналу перетворювача з параметрами уніфікованого сигналу. Причому нижньому рівню уніфікованого сигналу повинен відповідати мінімум контро-

льованого параметра (нижня межа довірчого інтервалу діапазону зміни контрольованого параметра), а верхньому рівню уніфікованого сигналу – максимум контрольованого параметра (верхня межа довірчого інтервалу діапазону зміни контрольованого параметра). Налаштування нормуючого перетворювача може бути виконана по різних методиках. Зокрема, наприклад, по наступній.

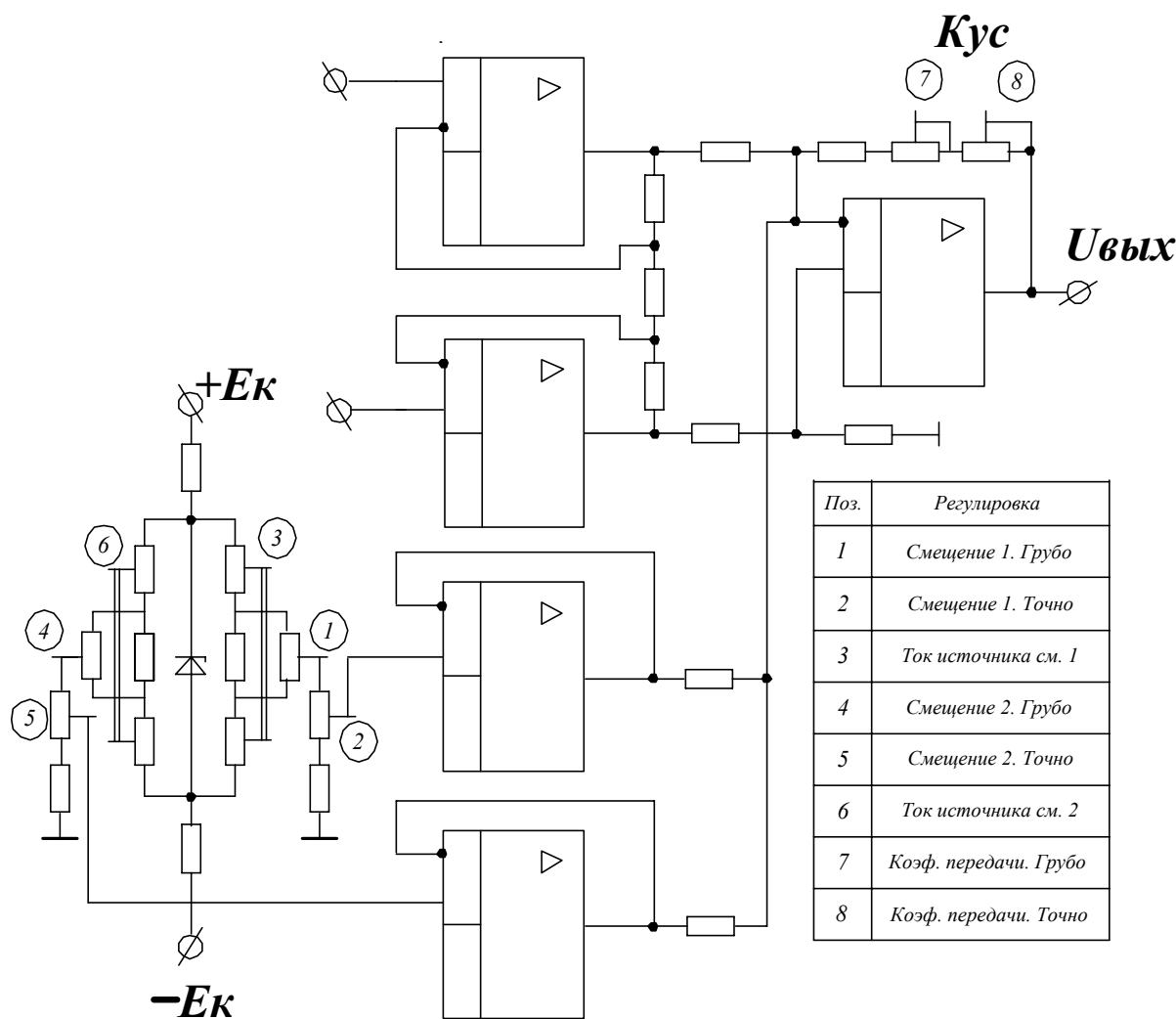


Рисунок 1 – Схемне рішення нормуючого перетворювача, використовуване при моделюванні (в ході настройки параметри «Струм джерела зсуву» настройці не підлягають. Ці параметри набудовані викладачем).

Методика настройки нормуючого перетворювача

1. Подать на вход нормующего перетворювача вихідний сигнал вимірювального моста \dot{I}_m відповідний калібрувальному (трирівневий сигнал).

1.1. Виставити знак коефіцієнта передачі нормуючого перетворювача $zn_{НП} = (-1 \vee 1)$.

1.2. За допомогою регулювань $n_{1\text{смНПгрубо}}$ і $n_{1\text{смНПточно}}$ добитися значення напруги першого вузла зсуву $U_{\text{вхсм1}} = 0 \pm \Delta\Delta U_{\text{вхНП}}$ тобто з точністю не більш $\Delta\Delta U_{\text{вхНП}}$. Рекомендується забезпечувати значення погрішності (0.2 ... 0.5) $\Delta\Delta U_{\text{вхНП}}$. Зафіксувати в таблиці значення $U_{\text{вхсм1}} = 0 \pm \Delta\Delta U_{\text{вхНП}}$.

1.3. За допомогою регулювань $n_{2\text{смНПгрубо}}$ і $n_{2\text{смНПточно}}$ добитися значення напруги другого вузла зсуву $U_{\text{вхсм2}} = 0 \pm \Delta\Delta U_{\text{вхНП}}$ і рекомендацій пп. 1.2). Зафіксувати в табл. 1 значення $U_{\text{вхсм2}} = 0 \pm \Delta\Delta U_{\text{вхНП}}$.

1.4. За допомогою регулювань $n_{\text{кНПгрубо}}$ і $n_{\text{кНПточно}}$ добитися значення різниці максимального і мінімального рівнів вихідної напруги нормуючого перетворювача рівним діапазону зміни уніфікованого сигналу з допуском $\pm \Delta\Delta U_{\text{выхНП}}$ і рекомендацій пп. 1.2). Зафіксувати в табл. 1 значення $\Delta U_{\text{выхНПном}} \pm \Delta\Delta U_{\text{выхНП}}$.

2. Вхід нормуючого перетворювача закортить, для чого в перемикачі сигналів розблокувати виконання оператора $U_{\text{вхНП}} = 0$. При обох зсувах рівних нулю вихідна напруга нормуючого перетворювача рівна систематичному зсуву $U_{\text{выхНПсистем}}$. Зафіксувати в табл. 1 значення $U_{\text{вхНП}} = 0$, $U_{\text{вхсм1}} = 0 \pm \Delta\Delta U_{\text{вхНП}}$, $U_{\text{вхсм2}} = 0 \pm \Delta\Delta U_{\text{вхНП}}$, $U_{\text{выхНП}} = U_{\text{выхНПсистем}}$.

3. При $U_{\text{вхНП}} = 0$ за допомогою першого вузла зсуву компенсувати систематичний зсув. Для чого за допомогою регулювань $n_{1\text{смНПгрубо}}$ і $n_{1\text{смНПточно}}$ добитися значення вихідної напруги нормуючого перетворювача $U_{\text{выхНП}} = 0 \pm \Delta\Delta U_{\text{выхНП}}$. Зафіксувати в таблиці значення $U_{\text{вхНП}} = 0$, $U_{\text{вхсм1}} = \langle \text{значення 1} \rangle$, $U_{\text{вхсм2}} = 0 \pm \Delta\Delta U_{\text{вхНП}}$, $U_{\text{выхНПном}} = 0 \pm \Delta\Delta U_{\text{выхНП}}$.

4. Підключити вхід нормуючого перетворювача до виходу вимірювального моста. Заблокувати виконання оператора $U_{\text{вхНП}} = 0$. Вхідний сигнал нормуючого перетворювача $U_{\text{вхНП}} = E_{\text{м}}$ (трирівневий калібрувальний сигнал). За допомогою регулювань $n_{2\text{смНПгрубо}}$ і $n_{2\text{смНПточно}}$ добитися значення верхнього рівня вихідної напруги нормуючого перетворювача рівним верхньому рівню уніфікованого сигналу $U_{\text{выхНП}} = U_{\text{выхНПм}} \pm \Delta\Delta U_{\text{выхНП}}$. Зафіксувати в табл.1 значення $U_{\text{вхНП}} = E_{\text{мм}}$, $U_{\text{вхсм1}} = \langle \text{значення 1} \rangle$, $U_{\text{вхсм2}} = \langle \text{значення 2} \rangle$, $U_{\text{выхНПном}} = U_{\text{выхНПм}} \pm \Delta\Delta U_{\text{выхНП}}$.

5. Перевірити відповідність значення нижнього рівня вихідної напруги нормуючого перетворювача рівним нижньому рівню уніфікованого сигналу $U_{\text{выхНП}} = U_{\text{выхНПм}} \pm \Delta\Delta U_{\text{выхНП}}$. Якщо нижній рівень вихідного сигналу лежить поза полем допуску, то слід підрегулювати $n_{2\text{смНПточно}}$, забезпечивши одночасне знаходження і $U_{\text{выхНПм}}$ і $U_{\text{выхНПм}}$ в своїх полях допуску $[(U_{\text{выхНПм}} \pm \Delta\Delta U_{\text{выхНП}}) \wedge (U_{\text{выхНПм}} \pm \Delta\Delta U_{\text{выхНП}})]$. Зафіксувати в таблиці значення $U_{\text{вхНП}} = E_{\text{мм}}$, $U_{\text{вхсм1}} =$

«значення 1», $U_{\text{вхсм2}} = \text{«значення 2»}$ (уточнене), $U_{\text{ввыхнпном}} = U_{\text{ввыхнпм}} \pm \Delta\Delta U_{\text{ввыхнп}}$.
 Уточнене значення $U_{\text{вхсм2}} = \text{«значення 2»}$ внести в табл.1

Таблиця 1 – Результати настройки нормуючого перетворювача

$\Delta\Delta U_{\text{вхнп}}$			$\Delta\Delta U_{\text{ввыхнп}}$	Примітки
$U_{\text{вхнп}}, \text{В}$	$U_{\text{вхсм1}}, \text{В}$	$U_{\text{вхсм2}}, \text{В}$	$U_{\text{ввыхнп}}, \text{В}$	
Їм (трехуровневий сигнал)	$0 \pm \Delta\Delta U_{\text{вхнп}}$	$0 \pm \Delta\Delta U_{\text{вхнп}}$	$U_{\text{ввыхнпmax}} - U_{\text{ввыхнпmin}} = \Delta U_{\text{ввыхнпном}} \pm \Delta\Delta U_{\text{ввыхнп}}$	1
0	$0 \pm \Delta\Delta U_{\text{вхнп}}$	$0 \pm \Delta\Delta U_{\text{вхнп}}$	$U_{\text{ввыхнпсистем}}, \text{В}$	2
0	«значення 1»	$0 \pm \Delta\Delta U_{\text{вхнп}}$	$U_{\text{ввыхнпном}} = 0 \pm \Delta\Delta U_{\text{ввыхнп}}, \text{В}$	3
$\Delta U_{\text{вхнп}} = E_{\text{м}}$	«значення 1»	«значення 2»	$U_{\text{ввыхнп}} = U_{\text{ввыхнпм}} \pm \Delta\Delta U_{\text{ввыхнп}}$	4
$\Delta U_{\text{вхнп}} = E_{\text{мт}}$	«значення 1»	«значення 2»	$U_{\text{ввыхнп}} = U_{\text{ввыхнпм}} \pm \Delta\Delta U_{\text{ввыхнп}}$	5

$U_{\text{ввыхнпм}} \pm \Delta\Delta U_{\text{ввыхнп}}$	$U_{\text{ввыхнпм}} \pm \Delta\Delta U_{\text{ввыхнп}}$
---	---

Програма настройки нормуючого перетворювача

1. Виконати початкові установки нормуючого перетворювача

1.1. У області програми, що підсвічуються, ввести номінальні значення вихідного сигналу перетворювача.

1.2. Встановити відповідно до вказівок програми знак коефіцієнта передачі нормуючого перетворювача і ввести його в область програми, що підсвічується.

1.3. Показчики коефіцієнта передачі і напруг зсувів встановити в середні положення: грубі настройки – «30»; точні – «0».

2. Відповідно до «Методики...» виконати настройку нормуючого перетворювача. По ходу настройки необхідні дані внести в табл. 1.

3. Використовуючи контрольні сигнали (трьох зрівняний, синусоїдальний), по графіку вихідного сигналу нормуючого перетворювача візуально (якісно) переконатися в правильності настройки.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Схема нормуючого перетворювача.
3. Завдання досліджень.
4. Методика настройки нормуючого перетворювача.
5. Результати настроювання: таблиця результатів настройки; осцилограми вихідних сигналів нормуючого перетворювача для випробувальних сигналів, значення вихідного сигналу нормуючого перетворювача, відповідні максимальному і мінімальному значенням вимірюваного процесу.
6. Висновки по роботі.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Якими засобами досягається зміна масштабу і зсув діапазону вимірювального сигналу?
2. Яка складова погрішності породжується в процесі неточного зміна масштабу вимірювального сигналу?
3. Яка складова погрішності породжується в процесі неточного зсуву діапазону вимірювального сигналу?
4. Яка причина появи систематичної погрішності вимірювального підсилювача?
5. Якими засобами досягається усунення більшої частини систематичної погрішності вимірювального підсилювача?
6. Чим обумовлена поява невиключеної частини систематичної погрішності вимірювального підсилювача?

Лабораторна робота 4.
Дослідження аналого-цифрового перетворювача

Структурна організація аналого-цифрового перетворювача

Аналого-цифровий перетворювач реалізує перетворення сигналу постійного струму в двійковий код по методу порозрядного зважування. Структурна схема АЦП приведена на рис.1.

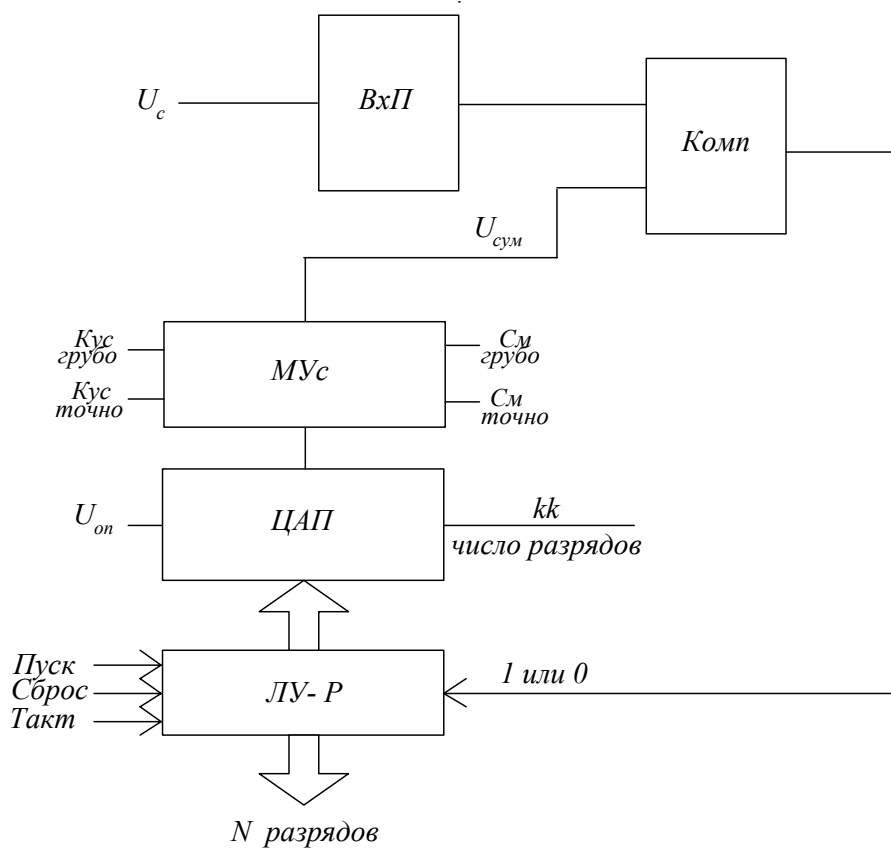


Рисунок 1 – Структурна схема АЦП

АЦП має ряд параметрів, що настраюються: kk – число двійкових розрядів; U_{on} – величина опорної напруги; $K_{ус_грубо}$, $K_{ус_точно}$ – регулювання коефіцієнта посилення масштабного підсилювача вихідного сигналу ЦАП; $С_{м_грубо}$, $С_{м_точно}$ – регулювання напруги зсуву масштабного підсилювача. Опорна напруга регулюванню не підлягає, решта параметрів в ході імітації настройки і функціонування вимірювальної системи може змінюватися.

Вузол ЦАП і МУс реалізуються як приведено на рис. 2.

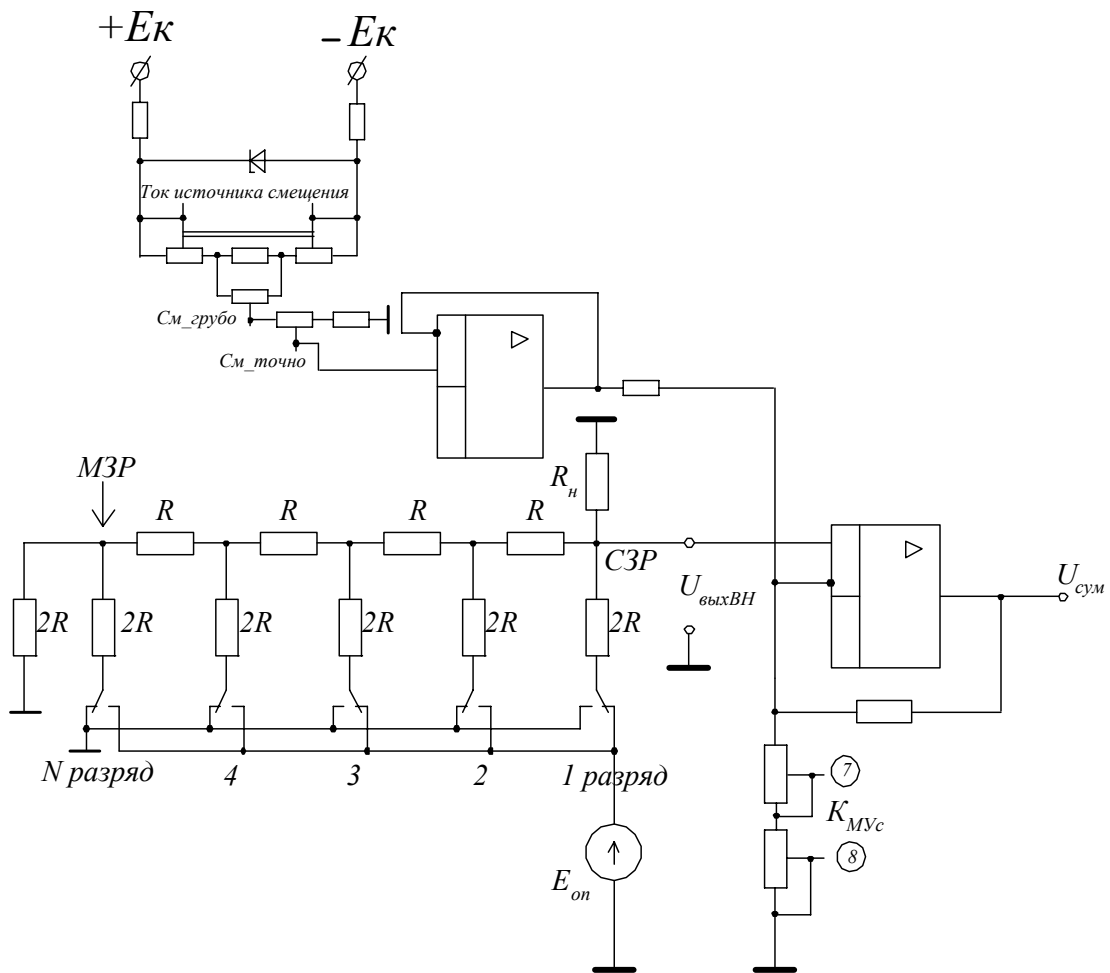


Рисунок 2 – Схемне рішення вузла цифро-аналогового перетворювача і масштабного підсилювача

Окрім відмічених параметрів, що раніше настраюються, схема містить контрольну точку $U_{\text{выхВН}}$ – вагові напруги двійкових розрядів (вихідна напруга матриці резисторів – вхідна напруга масштабного підсилювача). Контрольна крапка $U_{\text{выхВН}}$ використовується в процесі настройки АЦП.

Визначення показника точності настройки параметрів аналого-цифрового перетворювача

Параметри, що настраюються, віднесемо до двох груп: вхідні і вихідні параметри масштабного підсилювача. Максимальне значення погрішності настройки параметрів не повинна перевищувати половини одиниці молодшого розряду АЦП, приведеного до діапазону зміни параметра, що настраюється, і закруглене, відповідно до правила округлення погрішностей, до найближчого значення, що відповідатиме: для параметрів вхідних ланцюгів, наприклад

$$\Delta U_{\text{ВХМУ}} := U_{\text{ВХВНМ}} - U_{\text{ВХВНм}} \quad \Delta \Delta U_{\text{ВХ}} := \frac{\Delta U_{\text{ВХМУ}}}{2 \cdot 2^{kk}} \quad \Delta \Delta U_{\text{ВХ}} = 0.00391 \quad \text{В}$$

після округлення матимемо $\Delta \Delta U_{\text{ВХ}} = 4 \text{ мВ}$; з розрахованим показником точності повинні визначатися напруги зсуву; для параметрів вихідного ланцюга масштабного підсилювача, наприклад,

$$\Delta U_{\text{ВХАЦП}} := U_{\text{ВХАЦПм}} - U_{\text{ВХАЦПн}} \quad \Delta \Delta U_{\text{ВХ}} := \frac{\Delta U_{\text{ВХАЦП}}}{2 \cdot 2^{kk}} \quad \Delta \Delta U_{\text{ВХ}} = 0.00488 \quad \text{В}$$

після округлення матимемо $\Delta \Delta U_{\text{ВХ}} = 5 \text{ мВ}$ з розрахованим показником точності повинне визначатися значення вихідного параметра. Розраховані значення погрішностей є гранично допустимими. Досягнуті в процесі настройки значення цих погрішностей *бажано* мати в 3 ... 4 рази менше за допустимих.

Настройка АЦП (масштабного підсилювача)

Настройка АЦП зводиться:

1) до вибору його розрядності; на етапі настройки розрядність АЦП приймається рівною $kk = 10$;

2) до настройки масштабного підсилювача; при настройці масштабного підсилювача усувається його систематичний зсув і калібрується вихідний сигнал, межі зміни якого повинні бути рівні межах зміни вхідних сигналів АЦП.

Масштабний підсилювач має два основні регульовані параметри: коефіцієнт передачі і напруга зсуву. Кожний з параметрів має два рівні регулювання: широкодіапазонна перебудова параметра – регулювання «Грубо»; узкодіапазонна підстроювання параметра – регулювання «Точно». Настройкою коефіцієнта передачі забезпечуються необхідна ширина діапазону вихідного сигналу масштабного підсилювача. За допомогою вузла зсуву усувається систематичний зсув вихідного сигналу, викликане напругами зсуву операційного підсилювача, що входить в схему масштабного підсилювача. Вважається, що систематичний зсув в процесі моделювання не змінюється. Нижньому рівню вихідного сигналу повинен відповідати мінімум контрольованого параметра (нижня межа довірчого інтервалу діапазону зміни контрольованого параметра), а верхньому рівню сигналу - максимум контрольованого параметра (верхня межа довірчого інтервалу діапазону зміни контрольованого параметра)

Настройка масштабного підсилювача може бути виконана по різних методах. Зокрема, наприклад, по наступній.

Методика настройки масштабного підсилювача АЦП

1. Визначення коефіцієнта передачі масштабного підсилювача.

1.1. Подати на вхід масштабного підсилювача вихідний сигнал матриці резисторів $U_{\text{вихВНт}}$ шляхом установки в режимі статичної настройки вектора $k = 0$ (всі розряди двійкового коду рівні 0). Виставити знак коефіцієнта передачі нормуючого перетворювача $zn_{\text{КЦАП}} = 1$.

1.2. За допомогою регулювань $n_{1\text{смЦАПгрубо}}$ і $n_{1\text{смЦАПточно}}$ добитися значення напруги вузла зсуву $U_{\text{вхсм1}} = 0 \pm \Delta\Delta U_{\text{вх}}$ тобто з точністю не більш $\Delta\Delta U_{\text{вх}}$. Рекомендується забезпечувати значення погрішності $(0.2 \dots 0.5) \Delta\Delta U_{\text{вх}}$. Зафіксувати в таблиці значення $U_{\text{вхсм1}} = 0 \pm \Delta\Delta U_{\text{вхНП}}$ і $U_{\text{сум1.2}}$ (індекси 1.2 відповідають номеру пункту методики настройки).

1.3. Подати на вхід масштабного підсилювача вихідний сигнал матриці резисторів $U_{\text{вихВНМ}}$ шляхом установки в режимі статичної настройки вектора $k = 1$ (всі розряди двійкового коду рівні 1).

1.4. За допомогою регулювань $n_{\text{КЦАПгрубо}}$ і $n_{\text{КЦАПточно}}$ добитися значення **різниці** максимального ($U_{\text{сум1.4}}$) і мінімального ($U_{\text{сум1.2}}$) рівнів вихідної напруги масштабного підсилювача рівним діапазону зміни його вихідного сигналу з допуском $\pm \Delta\Delta U_{\text{вих}}$ і рекомендацій пп. 1.2) (на структурній схемі сигнал $U_{\text{сум}}$, вихідний сигнал ЦАП, що визначає діапазон вхідних сигналів АЦП). Зафіксувати в таблиці значення $\Delta U_{\text{сум}} \pm \Delta\Delta U_{\text{вих}} = U_{\text{сум1.4}} - U_{\text{сум1.2}}$.

2. Компенсація систематичного зсуву масштабного підсилювача.

2.1. Подати на вхід масштабного підсилювача вихідний сигнал матриці резисторів $U_{\text{вихВНт}}$ шляхом установки в режимі статичної настройки вектора $k = 0$ (всі розряди двійкового коду рівні 0). Зміряти величину вихідного сигналу масштабного підсилювача $U_{\text{сум2.1}} = U_{\text{вихМУссистем}}$. Зафіксувати в таблиці значення $U_{\text{вихМУссистем}}$.

2.2. При $U_{\text{вихВНт}}$ за допомогою вузла зсуву компенсувати систематичний зсув. Для чого за допомогою регулювань $n_{1\text{смЦАПгрубо}}$ і $n_{1\text{смЦАПточно}}$ добитися значення вихідної напруги масштабного підсилювача $U_{\text{сум2.2}} = 0 \pm \Delta\Delta U_{\text{вих}}$. Зафіксувати в таблиці значення $U_{\text{вихВНт}}$, $U_{\text{вхсм1}} = \langle \text{значення} \rangle$, $U_{\text{сум2.2}} = \langle \text{значення} \rangle$.

3. Перевірити відповідність значення верхнього рівня вихідної напруги масштабного підсилювача рівним його верхньому рівню діапазону вхідних сигналів $U_{\text{сумМ}} = U_{\text{вихЦАПМ}} = U_{\text{вхАЦПМ}} \pm \Delta\Delta U_{\text{вих}}$. Якщо верхній рівень вихідного сигналу лежить поза полем допуску, то слід підрегулювати $n_{1\text{смЦАПточно}}$, забезпечивши

одночасне знаходження і $U_{сумМ}$ і $U_{сумт}$ в своїх полях допуску $[(U_{сумМ} \pm \Delta\Delta U_{вих}) \wedge (U_{сумт} \pm \Delta\Delta U_{вих})]$. Зафіксувати в таблиці значення $U_{вихВНМ} = \text{«значення»}$, $U_{вхсм1} = \text{«значення»}$ (уточнене), $U_{сум3} = \text{«значення»}$. Уточнене значення $U_{вхсм1} = \text{«значення»}$ внести в табл.1.

Таблиця 1 – Результати настройки масштабного підсилювача АЦП

$\Delta\Delta U_{вх} = \text{«значення»}$		$\Delta\Delta U_{вихНП} = \text{«значення»}$	
$U_{вихВН}$, В	$U_{вхсм1}$, В	$U_{сум}$, В	
$U_{вихВНм}$	$0 \pm \Delta\Delta U_{вх}$	$U_{сум1.2}$	1.2
$U_{вихВНМ}$	$0 \pm \Delta\Delta U_{вх}$	$U_{сум1.4} - U_{сум1.2} = U_{вхАЦПМ} \pm \Delta\Delta U_{вих}$, = «значення», В	1.4
$U_{вихВНм}$	$\ll 0 \pm \Delta\Delta U_{вх}$	$U_{вихНПном} = U_{вихМУссистем}$, В	2.1
$U_{вихВНм}$	«значення»	$U_{сум} = 0 \pm \Delta\Delta U_{вих}$	2.2
$U_{вихВНМ}$	«значення»	$U_{сум3} = U_{вхАЦПМ} \pm \Delta\Delta U_{вих}$, = «значення1», В	3

$U_{вхАЦПМ} \pm \Delta\Delta U_{вих} = \text{«значення»}$	$U_{вхАЦПм} \pm \Delta\Delta U_{вих} = \text{«значення»}$
---	---

Програма настройки аналого-цифрового перетворювача

1. Виконати початкові установки аналого-цифрового перетворювача
 - 1.1. У області програми, що підсвічуються, ввести номінальні значення вихідного сигналу перетворювача.
 - 1.2. Встановити відповідно до вказівок програми знак коефіцієнта передачі масштабного підсилювача АЦП і ввести його в область програми, що підсвічується.
 - 1.3. Показчики коефіцієнта передачі і напруг зсувів встановити в середні положення: грубі настройки – «30»; точні – «0».
2. Відповідно до «Методики...» виконати настройку масштабного підсилювача АЦП. По ходу настройки необхідні дані внести в табл. 1.
3. Запустити алгоритм перетворення двійкового коду в десятковий (роз-

діл моделі «Моделювання роботи алгоритмів обробки даних») і вектор десяткових кодових комбінацій дискретизованого і квантованого сигналу представити у формі графіка від змінної до – номери кодової комбінації.

4. Використовуючи контрольні сигнали (трьох зрівняний, синусоїдальний), по графіку десяткових кодових комбінацій візуально (якісно) переконатися в правильності настройки.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Структурна схема аналого-цифрового перетворювача.
3. Завдання досліджень.
4. Методика настройки аналого-цифрового перетворювача.
5. Результати настройки: таблиця результатів настройки; осцилограмми вихідних десяткових кодових комбінацій для випробувальних сигналів, значення десяткових кодових комбінацій, відповідні максимальному і мінімальному значенням вимірюваного процесу.
6. Висновки по роботі.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Якими засобами досягається дискретизація і квантування вимірювального сигналу?
2. Яка складова погрішності породжується в процесі квантування вимірювального сигналу?
3. Яка складова погрішності породжується в процесі відновлення вимірювального сигналу по дискретних відліках?
4. На підставі якого критерію вибраний крок дискретизації вимірювального сигналу?
5. Використовуючи структурну схему, словесно опишіть принцип роботи АЦП порозрядного зважування.
6. Якими складовими погрішності супроводжується процес оцифровки вимірювального сигналу?

Лабораторна робота 5.

Моделювання настройки алгоритму масштабування (побудова номінальної характеристики перетворення)

В процесі настройки вимірювальної системи в лабораторних умовах як джерела сигналів $x(t)$ (зміна фізико-хімічних параметрів в часі) використовуються зразкові об'єкти, здатні з високим ступенем точності підтримувати в часі значення фізико-хімічних параметрів. До них відносяться зразкові розчини з високо точними значеннями концентрації контрольованих параметрів, установка гідравлічного тиску, яка забезпечує установку значень тиск у всьому робочому діапазоні і підтримка його з високою стабільністю, аеро і гідродинамічні стенди, що формують газові і рідинні потоки із заданими параметрами, термостатичні установки, що підтримують з високим ступенем точності температуру в зоні розміщення датчика і забезпечуючі її перебудову в діапазоні від мінімальних до максимальних значень і т.п. Градуїровочному сигналу відповідає графік послідовної установки і стабільної підтримки $(m+1)$ значень контрольованого параметра, які рівномірно розподілені по діапазону зміни контрольованого параметра. Додатково в градуювальний сигнал вводиться середнє значення контрольованого параметра у вигляді двох відрізків на початку і кінці сигналу. Приклад градуювального сигналу приведений на рис. 1.

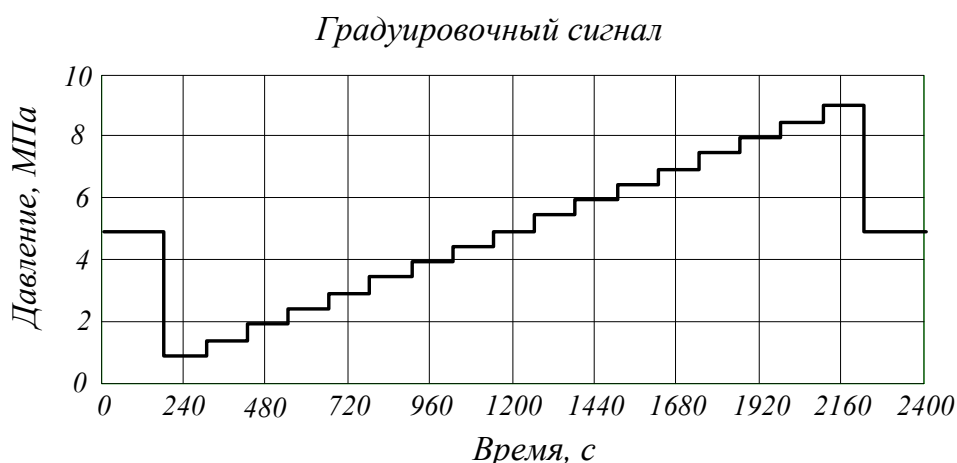


Рисунок 1 – Градуювальний графік зміни контрольованого параметра

У описаному градуювальному сигналі, перехід з одного рівня на іншій на реальній установці вимагає певного часу, який для процесу настройки вимірювальної системи не має сенсу. Тому при моделюванні вважається, що перемикання з одного рівня контрольованого параметра на іншій здійснюється миттє-

во. Тривалість настроювального сигналу приймається рівній тривалості інформаційного сигналу. Тривалість сходинок вибирається кратній періоду дискретизації сигналу. Дискретизація сигналу реалізується мультиплексором аналогових сигналів, параметри якого задані в програмній моделі і не підлягають вибору. Моделювання настройки алгоритму масштабування імітується шляхом подачі на вхід моделі багаторівневого ($m+1$ рівнів) калібрувального сигналу і виключення всіх видів шумів. Тривалість калібрувального сигналу приймається рівній тривалості інформаційного сигналу.

Для побудови градуювального графіка з вектора десяткових кодових комбінацій (рис. 2) з кожної сходинок відбирається по одному відліку. Відбір відліків може бути виконаний ручним способом з використанням процедури трасування або програмним засобом скориставшись програмою рис.3.

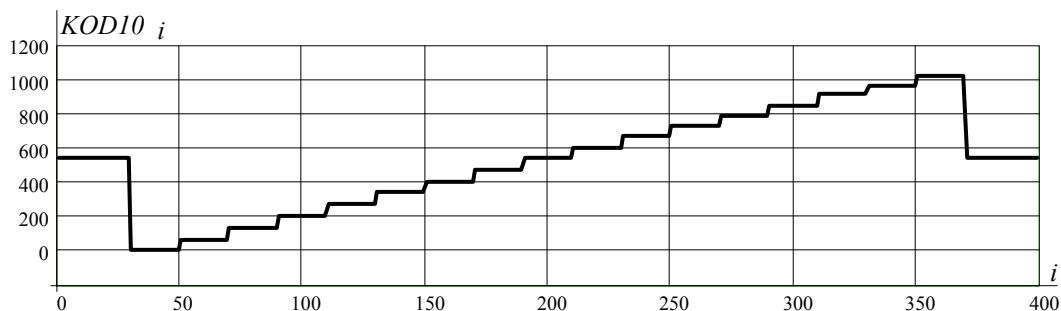


Рисунок 2 – Графік відображення сигналу на десяткових кодових комбінаціях

$$\Delta k := 25 \quad n0 := 750 \quad \Delta n := 500 \quad n0g := \frac{n0}{\Delta k} \quad n0g := 30 \quad \Delta ng := \frac{\Delta n}{\Delta k} \quad \Delta ng := 20 \quad nomg := 6$$

$$KOD10G := \begin{cases} \text{for } i \in 0..mm \\ \quad j \leftarrow n0g + i \cdot \Delta ng + nomg \\ \quad KOD10G \leftarrow KOD10_j \\ KOD10G \end{cases}$$

Рисунок 3 – Приклад програми формування градуювального коду

По двох масивах: масив градуювальних значень фізико-хімічної величини (тиск) і градуювального коду будується градуювальний графік, приклад якого приведений на рис.4.

Проміжні значень між крапками градуювального графіка знаходяться інтерполяцією градуювальної залежності. Як інтегруючого використовується статичною поліном, коефіцієнти якого знаходяться методом якнайменших ква-

	0
0	0.876
1	1.3814
2	1.8869
3	2.3923
4	2.8977
5	3.4032
6	3.9086
7	4.4141
8	4.9195
9	5.4249
10	5.9304
11	6.4358
12	6.9413
13	7.4467
14	7.9521
15	8.4576
16	8.963

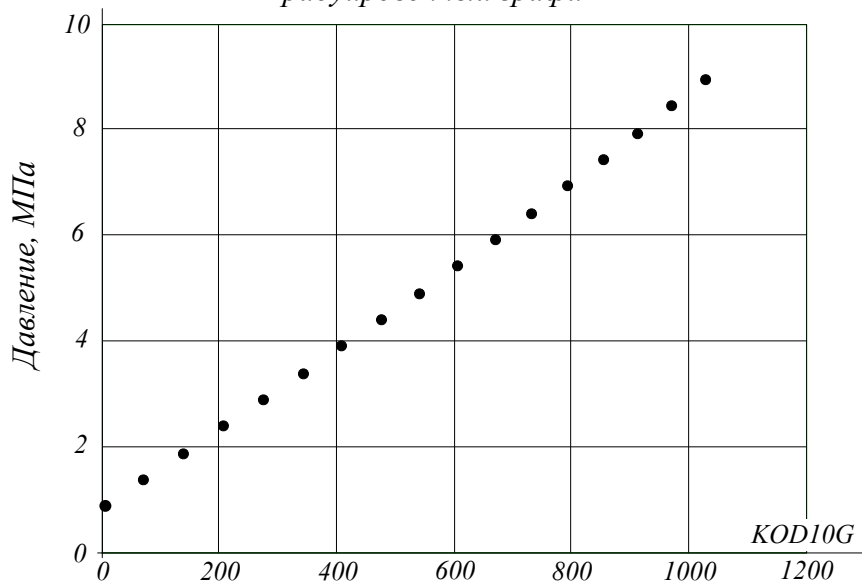
$P_{\text{зру}} =$

	0
0	0
1	67
2	135
3	203
4	271
5	338
6	405
7	471
8	536
9	601
10	665
11	728
12	789
13	850
14	909
15	966
16	1023

$KOD10G =$

a)

Градуировочный график



б)

Малюнок 4 – Градуїрочніє масиви физико-хімічної величини і градуїрочного коду (*a*). Градуїрочний графік (*б*)

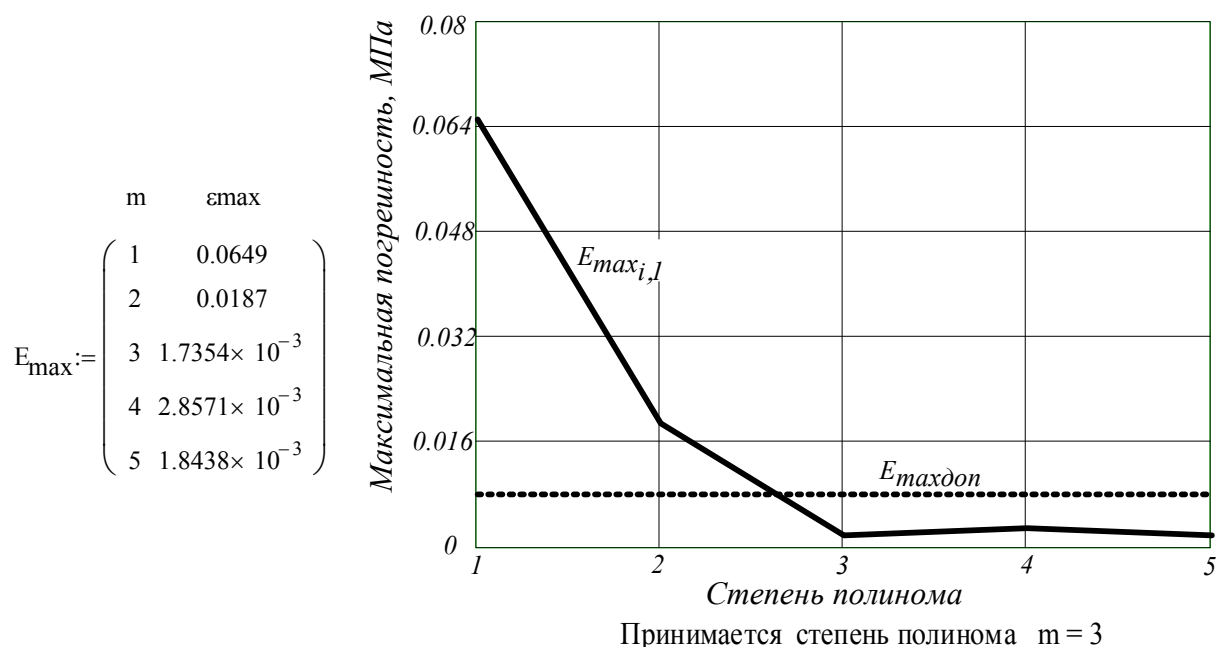
дратів (МНК). Алгоритм МНК приведений в додат. А. Тут же даються рекомендації за визначенням погрішності апроксимації і вибором ступеня апроксимуючого полінома.

Максимальне значення погрішності апроксимації не повинне перевищу-

вати максимальної погрішності квантування вимірюваної фізичної величини. Так, стосовно випадку вимірювання гідравлічного тиску, максимально допустиме значення погрішності апроксимації градуєвальної залежності по МНК визначається як:

$$E_{\max\text{доп}} = \frac{PM - Pm}{2^{kk}}, \quad E_{\max\text{доп}} = 7.897 \times 10^{-3} \text{ МПа}$$

де $kk = 10$ – число двійкових розрядів АЦП, PM і Pm – максимальне і мінімальне граничні значення діапазону вимірювання фізичної величини (тиск).



a)
б)

Рисунок 5 – Результати обчислення погрішності апроксимації градуєвальної залежності (*a*) і її графічне уявлення (*б*)

Змінюючи ступінь полінома і обчислюючи кожного разу максимальну погрішність апроксимації, дані зводяться в таблицю. Для наочності ці ж дані представляються графічно. Аналіз приведених даних дозволяє вибрати ступінь апроксимуючого полінома. Наприклад, як це показано на рис. 5.

За одержаними даними будується номінальна характеристика перетворення електронної вимірювальної системи. Для цього вводиться проста змінна (у прикладі cod) і по статичному поліному з визначеними ступенем і коефіцієнтами встановлюється функціонально залежна величина – результат вимірювань.

Ця залежність є номінальна характеристика перетворення. Приклад номінальної характеристики приведений на рис. 6.

$$\text{kod} := 0..1024 \quad \text{AA} := \begin{pmatrix} 0.87693 \\ 7.50769 \times 10^{-3} \\ -3.2825 \times 10^{-7} \\ 6.99431 \times 10^{-10} \end{pmatrix} \quad p(\text{kod}) := \sum_{q=0}^m \text{AA}_q \cdot \text{kod}^q$$

а)



б)

Рисунок 6 – Апроксимуючий поліном (а) і графік номінальної характеристики перетворення вимірювальної системи (б)

На базі інтерполяційного полінома створюється алгоритм масштабування даних. Для чого в ньому замінюється змінна з *KOD10G* на *KOD10*. Остання об'єднує всі результати вимірювальних перетворень. Стосовно градуювальному сигналу, обчислення результатів вимірювань виконується по поліному, приведеному на рис. 7.

$$m := 3 \quad \text{AA} := \begin{pmatrix} 0.87693 \\ 7.50769 \times 10^{-3} \\ -3.2825 \times 10^{-7} \\ 6.99431 \times 10^{-10} \end{pmatrix} \quad \text{Pгрим}_k := \sum_{q=0}^m \text{AA}_q \cdot (\text{KOD10}_k)^q$$

Рисунок 7 – Масштабуючий поліном градуювального сигналу

Порівнянням **зміряних** з використанням алгоритму масштабування зна-

чень градууювального сигналу з їх істинними значеннями, представленими в децимірованном сигналі, виявляються показники точності статичної характеристики перетворення моделі електронної системи, які визначаються, наприклад, як:

$$\varepsilon_i = P_{\text{екві}} - P_{\text{измі}};$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon_i;$$

$$\tilde{\sigma}_{\varepsilon}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2;$$

$$\varepsilon_{\text{max}} = |\bar{\varepsilon}| + \tilde{\sigma} \cdot t_{\beta};$$

тут t_{β} – коефіцієнт Стьюдента при $N-1$ ступенях свободи і рівні значущості α (довірчої вірогідності). Таблиця значень розподілу Стьюдента приведена в додат. Б.

Для даного прикладу параметри погрішності прийняли наступні значення:

Допустиме значення максимальної погрішності апроксимації градууювальної характеристики, МПа	0,008
Абсолютне значення максимальної погрішності, МПа	0.006
Среднеквадратичеське відхилення погрішності, МПа	0.0028
Середнє значення погрішності, МПа	0.0007

Масштабуючий поліном використовується при дослідженнях функціонування електронної системи. За допомогою цього полінома здійснюється перетворення десяткових еквівалентів *KOD10* в цифровий результат вимірювання фізичної величини.

Програма настройки програмних засобів

1. Включити градууювальний сигнал, прослідити про його розповсюджен-

ня по моделі вимірювальної системи.

2. Сформувати вектор кодових комбінацій – градуювальний код.

3. Використовуючи МНК, встановити коефіцієнти апроксимуючого полінома. Визначити допустиме значення максимальної погрішності апроксимації. Перебираючи значення ступеня полінома і визначаючи максимальне значення погрішності апроксимації, встановити прийнятне значення ступеня полінома.

4. Побудувати номінальну характеристику перетворення електронної системи.

5. Сформувати алгоритм масштабування і перевірити його роботу з випробувальними сигналами: градуювальним і гармонійним. Встановити оцінки статистичних моментів (середнього, дисперсії, с.к.о., максимального значення) погрішності вимірювань.

Зміст звіту

1. Мета роботи.

2. Структурна схема вимірювальної системи.

3. Завдання досліджень.

4. Масиви градуювальних значень фізичної величини і градуювального коду.

5. Алгоритм МНК і результати його застосування і досліджень: коефіцієнти полінома, результати досліджень по вибору ступеня полінома.

6. Номінальна характеристика перетворення електронної системи і апроксимуючий її поліном.

7. Масштабуючий поліном і результати його застосування до вимірювання значень випробувальних сигналів.

8. Висновки по роботі.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Чим є процедура градуювання вимірювальних ланцюгів, з якою метою вона проводиться?

2. Які засоби використовуються при проведенні градуювань?

3. З яких міркувань виходять при призначенні числа градуювальних рівнів?

4. Чим є номінальна характеристика перетворення вимірювального лан-

цюга, як вона встановлюється?

5. Яким чином встановлюється результат вимірювання в системах, що містять в контурі вимірювального ланцюга процесорні засоби?

6. Яка роль масштабуючого полінома в цифровій вимірювальній системі?

Лабораторна робота 6.

Дослідження метрологічних характеристик процесорного засобу вимірювання з передвключеним перетворювачем тиску

Цифрове засоби вимірювання з передвключеним перетворювачем тиску представлено у вигляді комп'ютерної моделі, що складається з передвключеного вимірювального перетворювача фізико-хімічної величини в електричний сигнал, нормуючого перетворювача, перетворювача аналог-двоєковий код, обчислювального пристрою. Серед функціональних задач, обчислювальний пристрій виконує перетворення кодів і визначення результату вимірювань по номінальній характеристики перетворення, представленої алгоритмом масштабування даних.

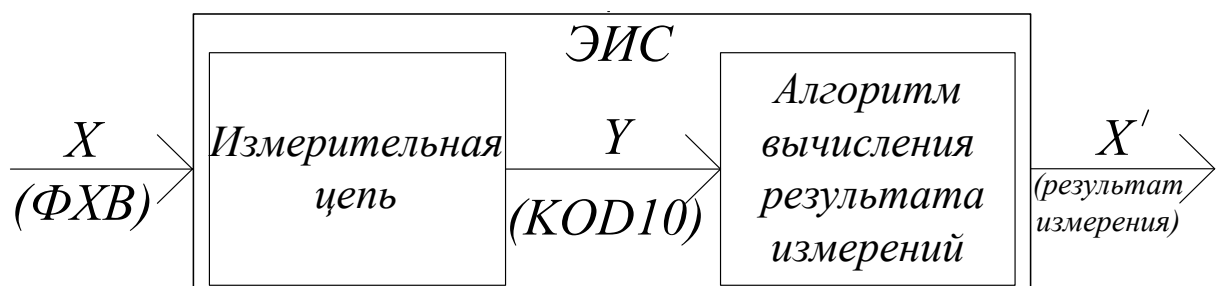


Рисунок 1. Структура вимірювальної системи

До входу моделі вимірювальної системи підключається джерело інформаційного сигналу – програмний датчик випадкового стаціонарного процесу з гауссовим розподілом миттєвих значень моделюючий зміну в часі гідравлічного тиску. Приклад децимірованої реалізації сигналу приведений на рис.2.

Інформаційний сигнал послідовно перетвориться перерахованими раніше пристроями, що розглянуте в попередніх лабораторних роботах. На останній стадії перетворення дані – масив десяткових кодових комбінацій (див. рис. 3) піддаються процедурі масштабування.

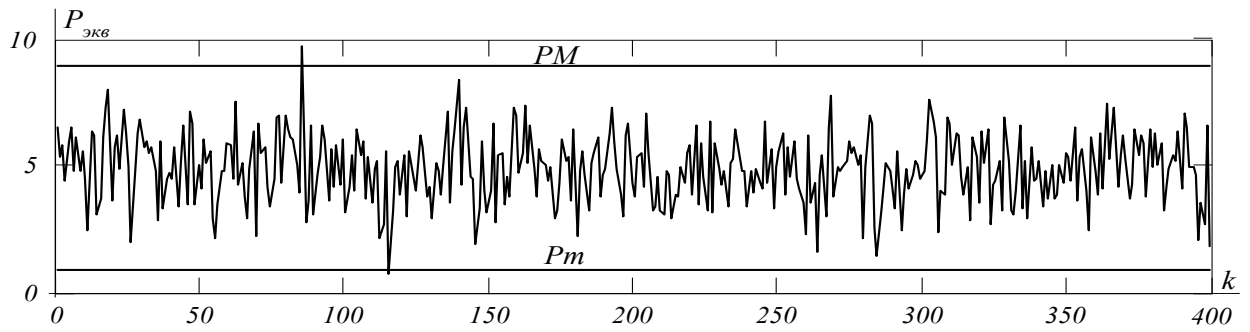


Рисунок 2 – Інформаційний сигнал $P_{\text{экв}k}$ з довірчими межами області змінерія миттєвих значень PM і Pm

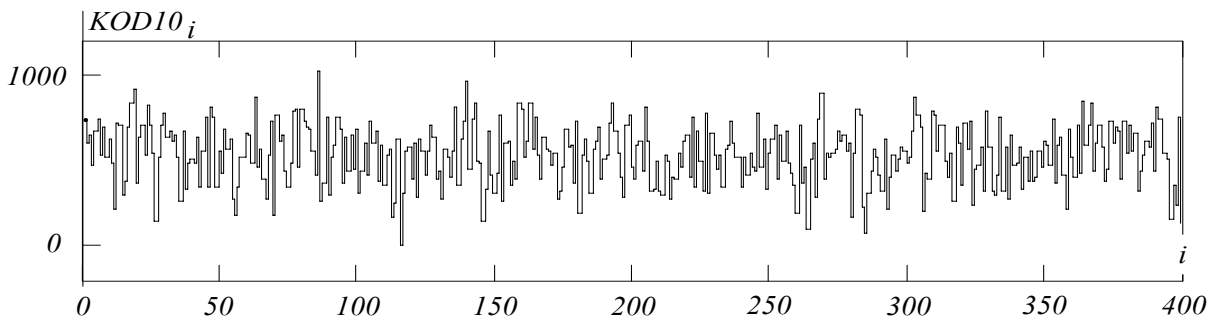


Рисунок 3 – Дані у формі десяткового коду

Результат вимірювань встановлюється обчисленням по алгоритму масштабування, параметри якого: ступінь полінома і його коефіцієнти, – встановлені в лабораторній роботі «Моделювання настройки алгоритму масштабування». Приклад алгоритму масштабування приведений на рис. 4.

Результат вимірювань – значення гідравлічного тиску представляються у вигляді одновимірного масиву в цифровій формі і має розмірність тиску (МПа).

$$m := 3 \quad AA := \begin{pmatrix} 0.87693 \\ 7.50769 \times 10^{-3} \\ -3.2825 \times 10^{-7} \\ 6.99431 \times 10^{-10} \end{pmatrix} \quad P_{\text{изм}k} := \sum_{q=0}^m AA_q \cdot (KOD10_k)^q$$

Рисунок 4 – Алгоритм масштабування даних – обчислення результату вимірювань

Для візуалізації результатів вимірювань одновимірний масив $P_{\text{изм}}$ розвертається у вигляді графіка від номера розміщення вимірювання в масиві. Прик-

лад представлення графіка масиву результатів вимірювань представлений на рис.5.

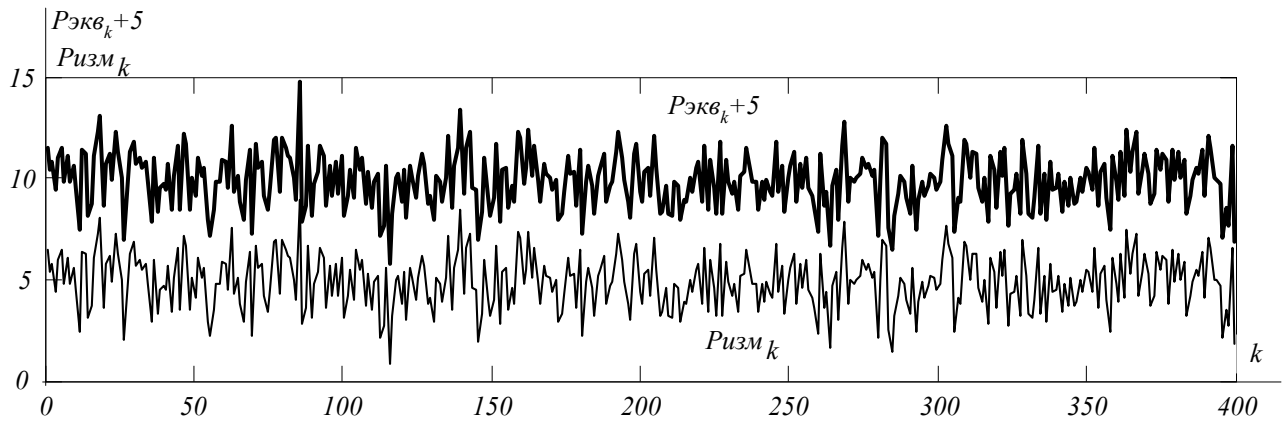


Рисунок 5 – Істинні значення вимірюваного параметра $P_{екв}$ і результати вимірювань $P_{изм}$ (графік $P_{екв}$ зміщений вгору на 5 еденіц тиск)

Істинні значення вимірюваного параметра $P_{екв}$ на рис.5 зміщені у верх на 5 ед. тиск. Без зсуву графіки зливаються і важко помітні. Кількісною мірою відмінності зміряних величин від істинних їх значень є погрішність, яка визначається як:

$$\varepsilon_{до} = P_{еквк} - P_{измк} .$$

На графіку погрішності вимірювань (рис. 6) виявляються грубі погрішності, які викликані тими, що «зашкалюють» засобу вимірювань. Як відомо, результати вимірювань з грубими погрішностями відкидаються і не використовуються. Оскільки предметом аналізу лабораторної роботи є погрішності, то редагуванню піддається масив погрішностей.

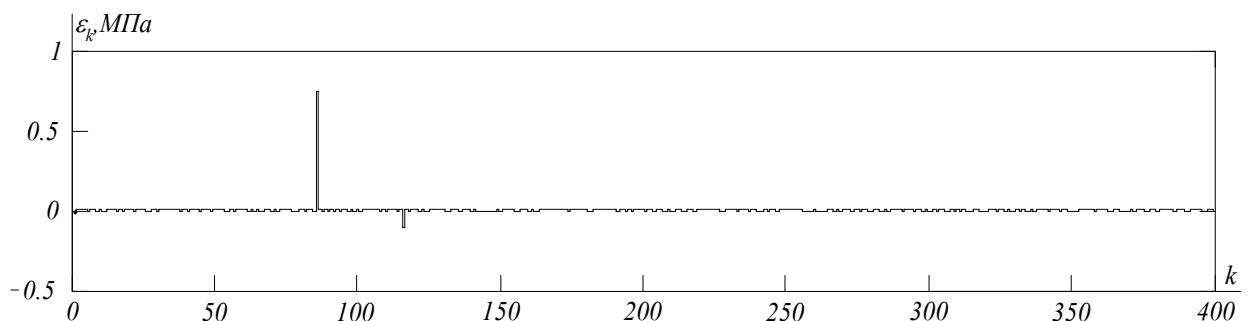


Рисунок 6 – Графік погрішності вимірювань (не редагований)

Редагування виробляється в наступному порядку: методом трасування виявляються координати аномальних погрішностей; аномальні погрішності виключаються з подальшого розгляду, як показано на рис. 7.

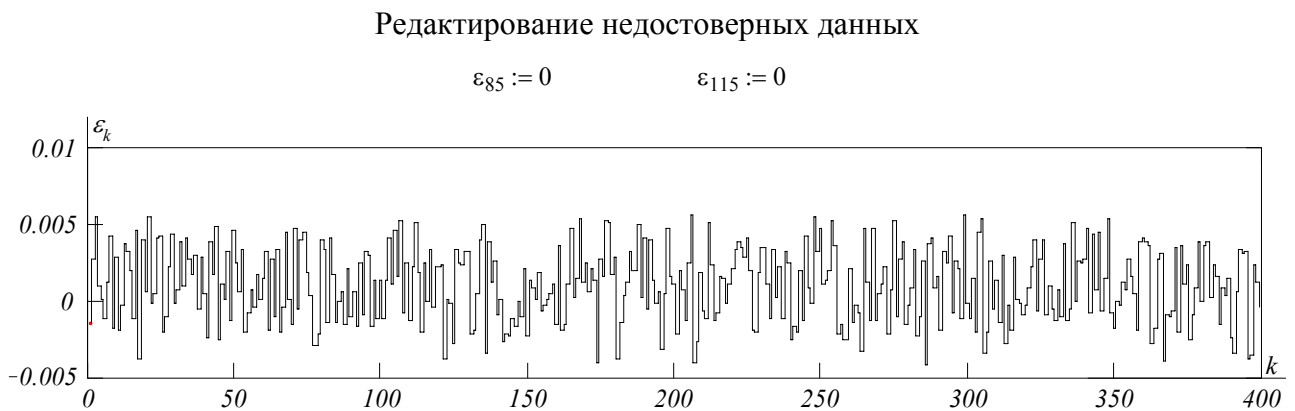


Рисунок 7 – Виключення аномальних погрішностей.

Графік погрішності після редагування

Методика обробки результатів моделювання вимірювальних процесів і виявлення погрішності моделі засобу вимірювань включає: виявлення результатів вимірювань; виявлення погрішності вимірювань шляхом звірення результатів вимірювань з істинними значеннями вимірюваної величини; обчислення оцінок статистичних моментів погрішності і точності цих оцінок; узагальнення одержаних результатів і оголошення основних метрологічних параметрів засобу вимірювання.

Оцінки параметрів погрішності встановлюються по наступних формулах:

- оцінка середнього значення погрішності
-

$$\overline{m\varepsilon\tilde{N}\tilde{E}} = \frac{1}{kn} \sum_{i=1}^{kn} \varepsilon_i;$$

- оцінка дисперсії погрішності і с.к.о.

$$\overline{D\varepsilon\tilde{N}\tilde{E}} = \frac{1}{kn-1} \sum_{i=1}^{kn} \left(\varepsilon_i - \overline{m\varepsilon\tilde{N}\tilde{E}} \right)^2; \quad \overline{\sigma\varepsilon\tilde{N}\tilde{E}} = \sqrt{\overline{D\varepsilon\tilde{N}\tilde{E}}};$$

- оцінка максимальної погрішності

$$\overline{\varepsilon \max C m} = \left| \overline{m \varepsilon \varepsilon C} \right| + \overline{\sigma \varepsilon C \varepsilon} \cdot t_{\beta};$$

де t_{β} – коефіцієнт Стюдента при $(kn - 1)$ ступенях свободи і довірчої вірогідності β .

Точність обчислення оцінок визначається величиною статистичної погрешності. Для оцінки точності визначення середнього встановлюються довірчі межі, в яких знаходиться істинне значення середнього:

$$m \varepsilon \tilde{N} \tilde{E} \subset \overline{m \varepsilon \tilde{N} \tilde{E}} \pm \sigma m \varepsilon \tilde{N} \tilde{E}; \quad \sigma m \varepsilon \tilde{N} \tilde{E} = t_{\beta} \sqrt{\frac{\overline{\sigma \varepsilon \tilde{N} \tilde{E}}^2}{kn - 1}}.$$

Так само встановлюються довірчі межі, в яких знаходиться істинне значення с.к.о.:

$$\sigma \varepsilon \tilde{N} \tilde{E} \subset [\sigma \varepsilon \tilde{N} \tilde{C} \max, \sigma \varepsilon \tilde{N} \tilde{C} \min];$$

де

$$\sigma \varepsilon \tilde{N} \tilde{C} \max = \sqrt{\frac{(\overline{\sigma \varepsilon \tilde{N} \tilde{C}})^2 (kn - 1)}{\chi_{\alpha, kn}}}; \quad \sigma \varepsilon \tilde{N} \tilde{C} \min = \sqrt{\frac{(\overline{\sigma \varepsilon \tilde{N} \tilde{C}})^2 (kn - 1)}{\chi_{1-\alpha/2, kn}}};$$

Для числа ступенів свободи $kn > 30$ значення параметрів розподілу χ^2 встановлюються по формулах:

$$\chi_{n, 1-\alpha/2}^2 \leq \chi^2 < \chi_{n, \alpha}^2;$$

$$\chi_{n, \alpha}^2 = n \left[1 - \frac{2}{9n} + \varphi(\alpha) \cdot \sqrt{\frac{2}{9n}} \right]^3;$$

$$\varphi(\alpha) = t - \frac{2,30753 + 0,27064 \cdot t}{1 + 0,99229 \cdot t + 0,04481 \cdot t^2};$$

$$t = \sqrt{-2 \cdot \ln(1 - \alpha)};$$

$$0,5 \leq \alpha < 1.$$

Оголошення основних метрологічних параметрів засобу вимірювання може бути виконане, наприклад, в наступному вигляді:

$$\delta\epsilon_{СИ\max} = \frac{\epsilon_{\max СИ}}{P_M - P_m} \cdot 100 \quad \delta\epsilon_{СИ\max} = 0.069722 \quad \%$$

$$m\epsilon_{СИ} = 9.9025 \times 10^{-4} \quad \sigma\epsilon_{СИ} = 2.3715 \times 10^{-3} \quad \epsilon_{\max СИ} = 5.6384 \times 10^{-3}$$

Систематическая погрешность СИ	- 0.001 МПа (1кПа)
Случайная составляющая погрешности СИ	- 0.0024 МПа (2.4 кПа)
Максимальное значение погрешности СИ	- 0.006 МПа (6 кПа, 0.07 %)

Програма досліджень погрішності електронної вимірювальної системи

1. До моделі вимірювальної системи підключити вимірювальний сигнал. Одержати результат вимірювань.
2. Встановити погрішність вимірювань. При виявленні аномальних погрішностей виконати редагування даних.
3. Оцінити метрологічні параметри погрішності вимірювань.
4. Оцінити точність визначення параметрів погрішності вимірювань.
5. Оголосити значення експериментально встановлених основних метрологічних параметрів засобу вимірювання.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Завдання досліджень.
3. Інформаційний сигнал, з яким виконуються дослідження.
4. Алгоритм масштабування і результати вимірювань: вхідні дані, представлені у формі графіка ($P_{\text{екв}}$); результати вимірювань ($P_{\text{ізм}}$) представляються теж у формі графіка.
5. Погрішність вимірювань в графічному вигляді.
6. Розрахунок статистичних параметрів погрішності вимірювань (оцінки середнього, дисперсії, с.к.о., максимальної погрішності).

7. Оцінки точності обчислення середнього і с.к.о..
8. Висновки по роботі.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Як характеризує засіб вимірювання систематична погрішність?
2. Яким чином може бути виключена з результату вимірювань систематична погрішність?
3. Яка причина появи систематичної погрішності засобу вимірювання?
 4. Якими чинниками викликається мультиплікативна погрішність засобу вимірювання?
 5. Яким чином враховується випадкова погрішність в результаті вимірювання?
 6. Яким чином встановлюється близькість (спроможність) оцінок параметрів погрішності засобу вимірювання до їх істинних значень?

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Аппроксимация экспериментальных зависимостей методом наименьших квадратов (МНК)

Исходные данные: массив значений аргумента – x ;
массив значений функции – $f(x)$;
число точек массивов – n .

Аппроксимировать функциональную зависимость $f(x)$ степенным полиномом, обеспечив минимум среднеквадратической погрешности аппроксимации.

Аппроксимирующий полином - степенной порядка k_{\max} :

$$f_{\hat{a}_i}(x) = \sum_{k=0}^{k_{\max}} a_k \cdot x^k.$$

Погрешность аппроксимации:

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=0}^{n-1} (f(x) - f_{\hat{a}_i}(x))^2 = \sum_{i=0}^{n-1} \left(f(x) - \sum_{k=0}^{k_{\max}} a_k \cdot x^k \right)^2.$$

Минимизация погрешности аппроксимации достигается выбором коэффициентов из условия:

$$\frac{d\varepsilon^2}{da_j} = \sum_{i=0}^{n-1} \left[2 \left(f(x) - \sum_{k=0}^{k_{\max}} a_k \cdot x^k \right) \cdot [x_i^j] \right] = 0.$$

Уравнения записываются для каждого коэффициента a_j , в результате чего имеем систему уравнений. Эту систему можно преобразовать к виду:

$$\sum_{k=0}^{k_{\max}} a_k \sum_{i=0}^{n-1} (x_i)^{k+j} = \sum_{i=0}^{n-1} f(x_i) \cdot (x_i)^j,$$

или в матричной форме записи:

$$A \cdot AX = FX.$$

Решая последнее уравнение относительно вектора коэффициентов A получим:

$$A = FX \times AX^{-1}.$$

Пример. Характеристика преобразования измерительной цепи задана таблично:

$$n = 10$$

$$F := \begin{pmatrix} 7.335 \\ 7.7205 \\ 8.106 \\ 8.4915 \\ 8.877 \\ 9.2625 \\ 9.648 \\ 10.0335 \\ 10.419 \\ 10.8045 \\ 11.19 \end{pmatrix} \quad X := \begin{pmatrix} 23 \\ 120 \\ 216 \\ 313 \\ 411 \\ 509 \\ 610 \\ 711 \\ 814 \\ 918 \\ 1023 \end{pmatrix}$$

Если опустить вывод промежуточных результатов, то весь алгоритм аппроксимации по методу наименьших квадратов сводится к записи:

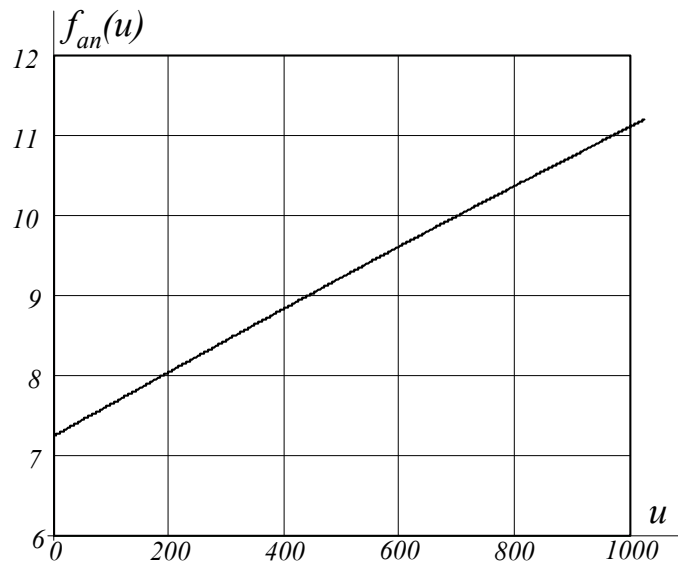
$$m = 4 \quad n = 10 \quad i = 0 .. m \quad j = 0 .. m \quad k = 0 .. n$$

$$AX_{i,j} = \sum_{k=0}^n (X_k)^{i+j} \quad FX_i = \sum_{k=0}^n F_k (X_k)^i \quad A = FX \times AX^{-1}.$$

$$A = \begin{pmatrix} 7.2432 \\ 3.97035 \times 10^{-3} \\ 1.97063 \times 10^{-7} \\ -5.26189 \times 10^{-10} \\ 2.21334 \times 10^{-13} \end{pmatrix}$$

Аппроксимированная характеристика преобразования измерительной цепи представляется в виде

$$u = 0..1023 \quad f_{an}(u) = \sum_{q=0}^m A_q \cdot u^q$$



Оценка погрешности аппроксимации экспериментальной зависимости степенным полиномом

$$F_{\text{вычк}} = \sum_{q=0}^m A_q \cdot (X_k)^q$$

$$\varepsilon_k = F_k - F_{\text{аппркс}}$$

$$\beta = 0.95 \quad t_\beta = 2.23$$

$$m\varepsilon = \frac{1}{n+1} \sum_{k=0}^m \varepsilon_k \quad D\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^m (\varepsilon_k - m\varepsilon)^2 \quad \sigma\varepsilon = \sqrt{D\varepsilon} \quad \varepsilon_{\text{max}} = |m\varepsilon| + \sigma\varepsilon$$

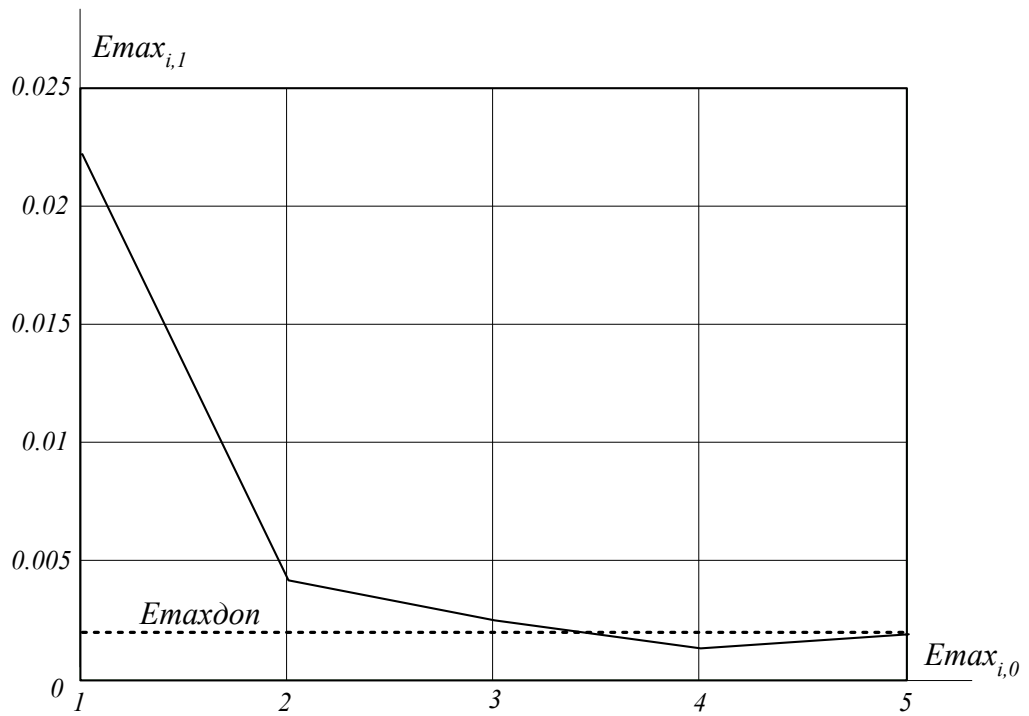
$$m\varepsilon = -6.375 \cdot 10^{-5} \quad D\varepsilon = 3.2756 \cdot 10^{-7} \quad \sigma\varepsilon = 5.7233 \cdot 10^{-4} \quad \varepsilon_{\text{max}} = 1.34 \cdot 10^{-4}$$

Вводя допустимое значение максимальной погрешности, определяется степень полинома

$$\varepsilon_{\text{max доп}} = 2 \cdot 10^{-4}$$

$$m \quad \varepsilon_{\text{max}}$$

$$E_{\max} := \begin{pmatrix} 1 & 0.0222 \\ 2 & 4.1626 \times 10^{-3} \\ 3 & 2.5031 \times 10^{-3} \\ 4 & 1.34 \times 10^{-3} \\ 5 & 1.8833 \times 10^{-3} \end{pmatrix}$$



Принимается степень полинома $m = 4$.

ДОДАТОК Б. Розподіл Стюдента

Значення t_{β} що задовільняють рівності $2 \int_0^{t_{\beta}} S_{n-1}(t) dt = \beta$, залежно від β и $n-1$

$n-1$	β	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.999
1	0.158	0.325	0.510	0.727	1.000	1.376	1.963	3.080	6.31	12.71	31.8	63.7	636.6	
2	142	289	445	617	0.816	1.061	1.336	1.886	2.92	4.30	6.96	9.92	31.6	
3	137	277	424	584	765	0.978	1.250	1.638	2.35	3.18	4.54	5.84	12.94	
4	134	271	414	569	741	941	1.190	1.533	2.13	2.77	3.75	4.60	8.61	
5	132	267	408	559	727	920	1.156	1.476	2.02	2.57	3.36	4.03	6.86	
6	131	265	404	553	718	906	1.134	1.440	1.943	2.45	3.14	3.71	5.96	
7	130	263	402	549	711	896	1.119	1.415	1.895	2.36	3.00	3.50	5.40	
8	130	262	399	546	706	889	1.108	1.397	1.860	2.31	2.90	3.36	5.4	
9	129	261	398	543	703	883	1.100	1.383	1.833	2.26	2.82	3.25	4.78	
10	129	260	397	542	700	879	1.093	1.372	1.812	2.23	2.76	3.17	4.59	
11	129	260	396	540	697	876	1.088	1.363	1.796	2.20	2.72	3.11	4.49	
12	128	259	395	539	695	873	1.083	1.356	1.782	2.18	2.68	3.06	4.32	
13	128	259	394	538	694	870	1.079	1.350	1.771	2.16	2.65	3.01	4.22	
14	128	258	393	537	692	868	1.076	1.345	1.761	2.14	2.62	2.98	4.14	
15	128	258	393	536	691	866	1.074	1.341	1.753	2.13	2.60	2.95	4.07	
16	128	258	392	535	690	865	1.071	1.337	1.746	2.12	2.58	2.92	4.02	
17	128	257	392	534	689	863	1.069	1.333	1.740	2.11	2.57	2.90	3.96	
18	127	257	392	534	688	862	1.067	1.330	1.734	2.10	2.55	2.88	3.92	
19	127	257	391	533	688	861	1.066	1.328	1.729	2.09	2.54	2.86	3.88	
20	127	257	391	533	687	860	1.064	1.325	1.725	2.09	2.53	2.84	3.85	
21	127	257	391	532	686	859	1.063	1.323	1.721	2.08	2.52	2.83	3.82	
22	127	256	390	532	686	858	1.061	1.321	1.717	2.07	2.51	2.82	3.79	
23	127	256	390	532	685	858	1.060	1.319	1.714	2.07	2.50	2.81	3.77	
24	127	256	390	531	685	857	1.059	1.318	1.711	2.06	2.49	2.80	3.74	
25	127	256	390	531	684	856	1.058	1.316	1.708	2.06	2.48	2.79	3.72	
26	127	256	390	531	684	856	1.058	1.315	1.706	2.06	2.48	2.78	3.71	
27	127	256	389	531	684	855	1.057	1.314	1.703	2.05	2.47	2.77	3.69	
28	127	256	389	530	683	855	1.056	1.313	1.701	2.05	2.47	2.76	3.67	
29	127	256	389	530	683	854	1.055	1.311	1.699	2.04	2.46	2.76	3.66	
30	127	256	389	530	683	854	1.055	1.310	1.697	2.04	2.46	2.75	3.65	
40	126	255	388	529	681	851	1.050	1.303	1.684	2.02	2.42	2.70	3.55	
60	126	254	387	527	679	848	1.046	1.296	1.671	2.00	2.39	2.66	3.46	
120	126	254	386	526	677	845	1.041	1.289	1.658	1.98	2.36	2.62	3.37	
∞	0.126	0.253	0.385	0.524	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.96	2.33	2.58	3.29	