

Лабораторная работа № 1

ПРИНЦИП ВРЕМЕННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ КАНАЛОВ

Цель работы: изучение принципа временного уплотнения (разделения) каналов при построении многоканальной информационно-измерительной системы.

Работа выполняется на основе пакета программ схемотехнического моделирования MICROCAP. Необходимые при подготовке к выполнению работ расчеты могут быть выполнены с помощью программы MathCAD.

При подготовке к каждой лабораторной работе рекомендуется ознакомиться с литературой, приведенной в библиографическом списке.

Студенты, не выполнившие предварительные теоретические расчеты, перечисленные во вторых разделах описания каждой работы, к выполнению лабораторной работы допускаться не будут.

1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Метод временного уплотнения (разделения) каналов базируется на известной теореме В. А. Котельникова о том, что непрерывная функция с максимальной частотой $F_{C\text{МАКС}}$ в спектре этой функции может быть представлена совокупностью отдельных (дискретных) отсчетов этой функции, следующих с периодом Δt (период дискретизации). Значение этого периода связано с максимальной частотой $F_{C\text{МАКС}}$ соотношением

$$\Delta t = \frac{1}{2 \cdot F_{C\text{МАКС}}}. \quad (1)$$

Выражение (1) определяет предельное максимальное значение периода дискретизации. В реальных многоканальных измерительных системах период опроса выбирают в μ раз меньше теоретического значения (1):

$$Td = \frac{1}{2\mu F_{C\text{МАКС}}}. \quad (2)$$

Значение коэффициента μ зависит от метода последующего восстановления непрерывного сигнала по его дискретным отсчетам и заданной погрешности восстановления.

Одна из возможных реализаций многоканальной информационно-измерительной системы (ИИС) с временным уплотнением (разделением) каналов приведена на рис. 1 [1]. Она содержит передающую и приемную части и линию связи между ними.

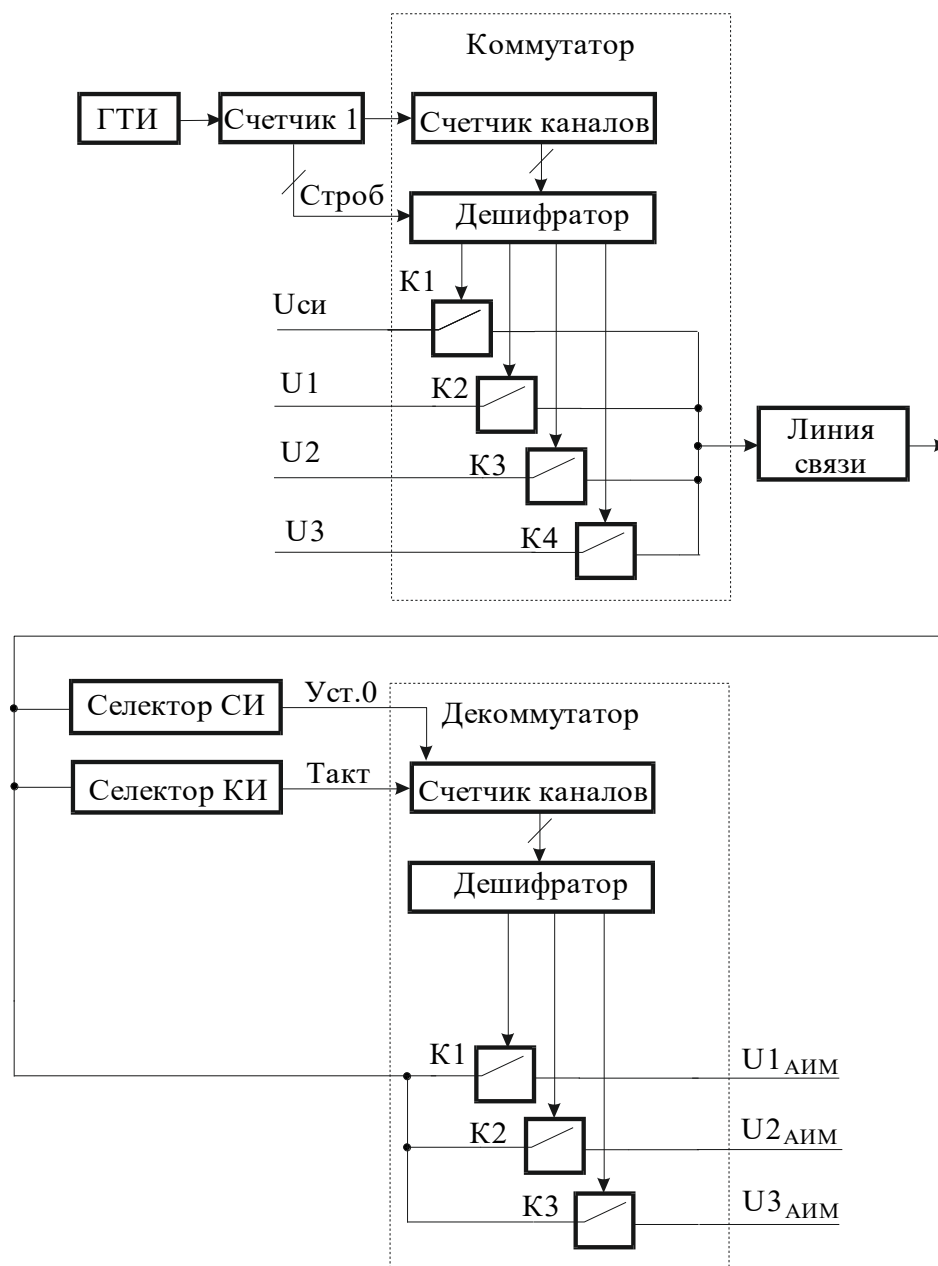


Рис. 1. Структурная схема многоканальной измерительной системы

Дискретные отсчеты каждого информативного непрерывного сигнала представляют собой периодические последовательности прямоугольных импульсов, амплитуды которых изменяются (модулируются) по закону передаваемых непрерывных сообщений, то есть являются сигналами с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ).

2 ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

2.1. Исходные данные

Варианты исходных данных приведены в таблице. Номер варианта соответствует номеру бригады.

Параметр № варианта	F_{c1} , Гц	F_{c2} , Гц	F_{c3} , Гц	U_{c1} , В	U_{c2} , В	U_{c3} , В	μ
1	200	100	50	2	2.3	1.8	5
2	180	90	45	2.5	2.9	2	7
3	160	80	40	2.2	2	1.6	8
4	100	50	25	1.8	1.6	2.2	10
5	80	40	20	1.6	1.8	2	10
6	120	60	30	4	4.5	3.8	9
7	140	70	35	3.6	4.4	4.2	8
8	60	30	15	4.2	3.6	4	9
9	40	20	10	3.8	4.2	4.4	6
10	20	10	5	4.4	4	3.6	10
11	32	16	8	3.2	2.9	2.6	8
12	48	24	12	3.4	3.8	2.2	7

U_c – амплитуда информативного сигнала.

Для каждого информативного сигнала принять уровень постоянной составляющей $U_o = 1.1U_c$.

Информативный сигнал описывается функцией $U(t) = U_o + U_c \sin(2\pi F_c t)$.

Общее число каналов многоканальной измерительной системы $n=4$: три канала информативных (параметры сигналов приведены в таблице) и один канал служебный для передачи кадрового синхронизирующего импульса (СИ). Чтобы обеспечить селекцию СИ на приемной стороне (рис. 1), его амплитуда должна быть больше амплитуд всех информативных сигналов. Таким образом, из всех информативных сигналов надо выбрать сигнал с самой большой амплитудой и определить амплитуду СИ:

$$U_{ci} = 1.2(U_o + U_c)_{\text{МАКС}}.$$

Синхронизирующий импульс обеспечивает синфазную работу счетчиков каналов передающей и приемной частей многоканальной измерительной системы. Для обеспечения переключения счетчика каналов приемной части синхронно с счетчиком каналов передающей части используются синхронизирующие каналные импульсы (КИ), выделяемые на приемной стороне из группового сигнала селектором КИ (рис. 1).

2.2. Расчет частот дискретизации и временных параметров дискретных отсчетов, емкости счетчика каналов

2.2.1. Частота дискретизации

Частота дискретизации есть величина обратная периоду дискретизации, поэтому на основании (2) определяем частоту дискретизации для каждого информативного сигнала

$$F_{dj} = 2\mu F_{cj} \text{ [отс/с]}. \quad (3)$$

2.2.2. Информативность [1]

$$I = \sum_j Fd_j n_j \text{ [отс/с]}, \quad (4)$$

где n_j – число каналов с частотой дискретизации Fd_j .

Кадровый СИ передается один раз за кадр передачи отсчетов всех информативных сигналов, поэтому он имеет частоту повторения, равную самой низкой частоте дискретизации. Таким образом, $F_{СИ} = Fd_3$, поэтому $n_3=2$.

Информативность определяет поток отсчетов в групповом тракте системы (на выходе коммутатора каналов), т.е. число дискретных отсчетов в единицу времени.

2.2.3. Канальный интервал

Величина, обратная информативности, определяет время T_k , в течение которого каждый канал подключается к групповому тракту.

$$T_k = \frac{1}{I} \text{ [с]}.$$

2.2.4. Пауза между отсчетами соседних каналов

Для разделения на приемной стороне отсчетов разных каналов в случае равенства амплитуд соседних отсчетов используется пауза, составляющая часть канального интервала. Эта пауза обеспечивается за счет так называемого стробирующего импульса.

Примем длительность паузы $T_p = T_k/8$.

В этом случае Счетчик 1 должен быть трехразрядным. Переключательная функция стробирующего импульса имеет вид: $f_{СИ} = \overline{x_1 x_2 x_3}$, где x_1, x_2, x_3 – сигналы с прямых выходов триггеров Счетчика 1.

2.2.5. Длительность информативного отсчета

Длительность информативного отсчета определится как

$$T_i = T_k - T_p.$$

2.2.6. Период дискретизации

$$Td_j = \frac{1}{Fd_j} \text{ [с]}.$$

2.2.7. Емкость счетчика каналов

Для определения емкости счетчика каналов используем понятие относительного периода

$$\Theta_j = \frac{Td_j}{T_k}. \quad (5)$$

Относительный период может быть только целым числом. Относительный период показывает, через сколько канальных интервалов

(позиций) к групповому тракту очередной раз подключается i -й информативный сигнал.

Число канальных интервалов в кадре (относительная длительность кадра Θ) должно быть наименьшим общим кратным всех относительных периодов:

$$\Theta = [\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3]. \quad (6)$$

Число Θ и определяет емкость счетчика каналов. Произведение $\Theta \cdot T_k$ определяет длительность кадра $T_{КАДР}$, в течение которого происходит опрос заданного числа N источников информации с соответствующими периодами опроса Td_j .

2.2.8. Период тактовых импульсов

Для деления длительности канального интервала T_k на восемь частей необходим трехразрядный двоичный счетчик, который переключается от генератора тактовых импульсов и который, в свою очередь, переключает счетчик каналов. Очевидно, что период тактовых импульсов должен быть равен длительности паузы: $T_T = T_p$ (см. п.2.2.4).

Тактовые импульсы представляют собой прямоугольные импульсы с длительностью равной половине периода тактовых импульсов $T_u = T_T/2$.

2.3. Описание информативных сигналов

Описание сигналов и их спектральный анализ осуществляются в среде Mathcad.

2.3.1. Задать дискретность «машинного» времени $dt = T_u$.

2.3.2. Определить число точек описания сигнала

$$K = \frac{2}{dt Fc3}.$$

2.3.3. Задать «машинное» время: $k=0..K-1$, $t_k = kdt$.

2.3.4. Описать информативный сигнал

$$U_k = U_o + U_c \sin(2\pi Fc t_k). \quad (7)$$

2.4. Формирование дискретных отсчетов

Дальнейшие действия выполнить с сигналом, имеющим частоту $Fc2$.

2.4.1. По аналогии с (5) введем понятия относительных периода дискретизации, длительности канального интервала, длительности информативного отсчета. Единицей измерения будет дискретность dt «машинного» времени.

$$\text{Относительный период } M2 = \frac{Td2}{dt}.$$

Относительная длительность канального интервала $m_k = \frac{T_k}{dt}$.

Относительная длительность информативного отсчета $m_i = \frac{T_i}{dt}$.

2.4.2. Формирование дискретных отсчетов

$$Ud2_k := \text{if} \left[2m_k \leq \text{mod}(k, M2) < 2m_k + m_i, U2_k, 0 \right]. \quad (8)$$

2.5. Спектральный анализ АИМ-сигнала

Используя встроенную функцию Mathcad «дискретное преобразование Фурье», получить комплексный спектр АИМ-сигнала и спектр амплитуд.

Комплексный спектр: $Spd2 := \text{CFFT}(Ud2) * 2$. Спектр амплитуд:

$$mSpd2_k := \text{if} \left(k = 0, \frac{|Spd2_k|}{2}, |Spd2_k| \right). \quad (9)$$

2.6. Формирование кадра опроса всех источников информации

Число канальных интервалов (позиций) в кадре равно емкости счетчика каналов Θ . Обозначить позиции числами 0, 1, 2, ..., $(\Theta - 1)$. На позиции с номером «0» поместить кадровый синхронизирующий импульс. Отсчеты информативных сигналов разместить на позициях кадра в соответствии с их относительными периодами Θ_i , определенными из (5) (см. п. 2.2.7).

В соответствии с этим переключательные функции сигналов опроса каждого канала будут иметь вид:

$$f_{CH} = f_{CTP} \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6, \quad f_{U1} = f_{CTP} x_4, \quad f_{U2} = f_{CTP} \bar{x}_4 x_5, \quad f_{U3} = f_{CTP} \bar{x}_4 \bar{x}_5 x_6,$$

x_4, x_5, x_6 – сигналы с прямых выходов триггеров Счетчика каналов.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. В среде Mathcad построить графики информативного сигнала $U2_k$, описанного выражением (7), и дискретных отсчетов $Ud2_k$ этого сигнала, выражение (8). Убедиться, что дискретные отсчеты принадлежат сигналу.

3.2. В среде Mathcad построить график спектра амплитуд, выражение (9). Дискретность по оси частот определить из условия

$$f_k = \frac{k}{T_H},$$

где $T_H = \frac{2}{F_{C3}}$ – время наблюдения сигнала, равное двум периодам самого низкочастотного сигнала. Описать состав спектра АИМ-сигнала.

3.3. В среде Мисгосар собрать схему передающей части многоканальной измерительной системы (Приложение А. Схема_ЛР-1) в составе:

3.3.1. Генератор тактовых импульсов

При задании параметров генератора STIM1 в диалоговом окне установить:

FORMAT=1 (1- это генератор с двоичным выходом),

COMMAND=GT1 (имя генератора).

В нижней части диалогового окна ввести параметры тактовых импульсов:

.define GT1

++ 0с 0

+ label=begin

++ T_u 1

++ T_u 0

++ T_u goto begin -1 times

3.3.2. Трехразрядный счетчик и схема И-НЕ для формирования паузы между отсчетами соседних каналов

3.3.3. Счетчик каналов и дешифратор, реализующие кадр опроса всех каналов, описанный в п. 2.6.

3.3.4. Коммутатор каналов (набор из четырех ключевых элементов, к одному из каналов которого подключен СИ, а к остальным заданные информативные сигналы.

3.4. Выполнить анализ переходных процессов.

Зафиксировать временные графики цифровых сигналов на выходе схемы И-НЕ, прямых выходах триггеров счетчика каналов, на управляющих входах ключей коммутатора каналов.

Зафиксировать временные графики входных информативных сигналов и группового сигнала на выходе коммутатора каналов (на одном шаблоне). Убедиться, что дискретные отсчеты действительно принадлежат соответствующим информативным сигналам.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

4.1. Краткие теоретические сведения.

4.2. Структурная схема многоканальной измерительной системы с временным уплотнением каналов.

4.3. Расчеты, выполненные в соответствии с п. 2.

4.4. Схема электрическая принципиальная передающей части многоканальной измерительной системы.

4.5. Скриншоты графиков, полученные при выполнении п.3.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. На чем основан метод временного уплотнения (разделения) каналов?

5.2. Состав передающей части многоканальной измерительной системы и назначение отдельных блоков.

5.3. Поясните процесс расчета частоты опроса источников сигналов.

5.4. Что такое суммарный поток отсчетов на входе группового тракта многоканальной системы и как он определяется?

5.5. С какой целью вводят разделительную паузу между сигналами разных каналов?

5.6. Чем обеспечивается синфазная работа коммутатора и декоммутатора каналов и зачем это надо?

5.9. Опишите спектральный состав АИМ-сигнала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карасев В.В., Михеев А.А., Нечаев Г.И. Измерительные системы для вращающихся узлов и механизмов / под ред. Г.И. Нечаева. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 176 с. (раздел 2.3).

Лабораторная работа № 6

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНЫХ СИГНАЛОВ ПО ДИСКРЕТНЫМ ОТСЧЕТАМ МЕТОДОМ СКОЛЬЗЯЩЕЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Цель работы: изучение принципов восстановления непрерывных сигналов по их дискретным отсчетам интерполяционным способом, основанным на применении интерполяционного многочлена Лагранжа, знакомство с техническими средствами, реализующими этот способ.

Используемые средства: ППП MicroCAP.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Восстановление непрерывного сигнала по его дискретным отсчетам (выборкам) можно производить как на основе ортогональных, так и неортогональных базисных функций. В качестве неортогональных базисных функций наиболее часто используются степенные алгебраические полиномы вида

$$f^*(t) = \sum_{j=0}^n a_j t^j, \quad (1)$$

где n - степень полинома; a_j – параметры полинома, подлежащие определению.

Алгебраические полиномы имеют важную особенность. Они не критичны к началу отсчета времени. Так, если в выражении (1) заменить t на $t_0 + t'$, то получим также алгебраический полином $f^*(t')$ степени n , только с другими коэффициентами a_j . Это свойство используется для осуществления так называемого **скользящего интерполирования**.

При скользящем интерполировании отсчеты исходного непрерывного сигнала объединяются в группы. В каждую группу входят $(n+1)$ отсчетов и n интервалов дискретизации, где n – степень интерполяционного полинома. Таким образом, интерполирование производится не на всем интервале существования исходного сигнала, а только на интервале от t_k до t_{k+n} . Этот интервал называют **интервалом интерполяции**. Для образования каждой последующей группы отсчетов из предыдущей группы отбрасывается первый отсчет (крайний левый), а в группу добавляется очередной отсчет исходного сигнала. Таким образом, две соседние группы имеют n общих отсчетов.

Через каждые $(n+1)$ последовательные точки с ординатами $u(t_k)$, $u(t_{k+1})$, ..., $u(t_{k+n})$ проводится интерполяционный полином степени n . После проведения графика полинома его значения на интервале от t_i до t_{i+1} , ($i=k, k+1, \dots, k+n-1$) расположенном между точками t_k и t_{k+n} , присваивают значениям интерполирующей функции $u^*(t)$. На следующем интервале интерполяции через очередные $(n+1)$ точки с ординатами $u(t_{k+1})$, $u(t_{k+2})$, ..., $u(t_{k+n+1})$ опять проводится график интерполяционного полинома, но уже с новыми коэффициентами a_j . И опять значениям интерполирующей функции $u^*(t)$ присваиваются значения интерполяционного полинома на интервале от t_{i+1} до t_{i+2} . Аналогичные действия выполняются для всех последующих групп отсчетов. В результате однозначно формируется непрерывная интерполирующая функция $u^*(t)$, составленная из частей интерполяционного полинома.

Интервал, на котором значения интерполяционного полинома присваиваются значениям интерполирующей функции, называют **интервалом соответствия**. Для интерполяционного полинома степени n может быть n интервалов соответствия. Обычно их обозначают номерами $0, 1, \dots, n-1$.

Интерполяционный полином Лагранжа степени n при равномерной дискретизации имеет вид

$$L_n(\tau, s) = (-1)^n \frac{(\tau + s)(\tau + s - 1) \dots (\tau + s - n)}{n!} \sum_{m=0}^n (-1)^m \frac{C_n^m u_m}{\tau + s - m} \quad (2)$$

где s – номер интервала соответствия, который может принимать значения $0, \dots, n-1$; $u_m = u(t_k + mTd)$; m - порядковый номер отсчета относительно начальной точки t_k интервала интерполяции; $\tau = [t_j - (t_k + sTd)]/Td$ - относительное время, показывающее в относительных единицах расстояние точки j , для которой надо восстановить значение сигнала $u(t_j)$, от начала t_k интервала интерполяции.

На практике для скользящего интерполирования обычно используются интерполяционные полиномы не выше второй степени, т. е. n равно 0, 1 или 2.

Если значение интерполирующей функции $u^*(t)$ в любой момент времени на интервале интерполяции описывается уравнением прямой линии, то интерполяцию выполняют с применением интерполяционного полинома первой степени и называют **линейной** интерполяцией.

Задержка восстановленного сигнала относительно исходного составляет при линейной интерполяции один период дискретизации.

Максимальная погрешность восстановления непрерывного сигнала на каждом текущем интервале интерполяции определяется остаточным членом интерполяционного полинома Лагранжа степени n

$$\Delta L_n \leq \frac{M_{n+1} Td^{n+1}}{(n+1)!} |(\tau + s)(\tau + s - 1) \dots (\tau + s - n)|, \quad (3)$$

где M_{n+1} - максимум $(n+1)$ -й производной непрерывного сигнала,

Td - период дискретизации,

s - номер интервала соответствия.

Из выражения (3) следует, что погрешность интерполяции в точках $\tau=0$ и $\tau=1$ равна нулю, а в некоторой промежуточной точке $\tau \in [0, 1]$ будет максимальной.

Остаточный член интерполяционного полинома Лагранжа ΔL_n не должен превышать допустимую погрешность восстановления непрерывного сигнала Δu

$$\Delta L_n \leq \Delta u. \quad (4)$$

Выразив допустимую абсолютную погрешность Δu через допустимую относительную приведенную погрешность $\delta_{\max}$ и максимальный диапазон изменения непрерывного сигнала $U_{\max}$, из выражений (3) и (4) получим выражение, связывающее период дискретизации с допустимой погрешностью восстановления непрерывного сигнала

$$Td \leq \sqrt[n+1]{\frac{\delta_{\max} U_{\max} (n+1)!}{M_{n+1} |(\tau + s)(\tau + s - 1) \dots (\tau + s - n)|}}. \quad (5)$$

Для сигналов с прямоугольным (или близким к нему) спектром период дискретизации при ступенчатой, линейной и параболической интерполяции определяется выражениями

$$Td_{СТ} \approx 0.55\Delta t_0\delta_{\max}, \quad (6)$$

$$Td_{ЛИН} \approx 1.35\Delta t_0\sqrt{\delta_{\max}}, \quad (7)$$

$$Td_{ПАР} \approx \Delta t_0\sqrt[3]{\delta_{\max}}, \quad (8)$$

где $\Delta t_0=1/2Fc$ - период дискретизации, определяемый теоремой Котельникова.

2. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

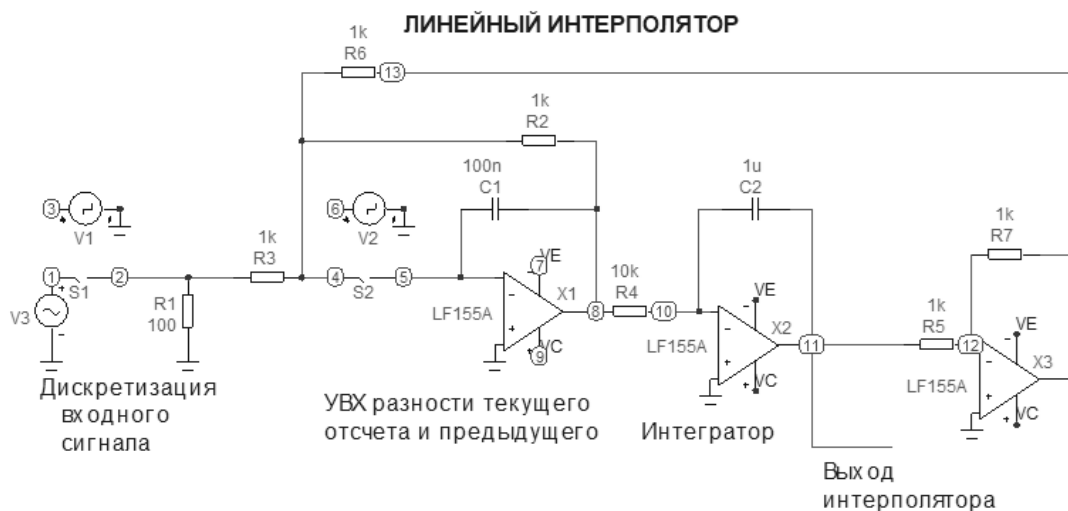
В лабораторной работе исследуется **линейный интерполятор**, т. е. устройство, реализующее линейную интерполяцию. Схема такого интерполятора приведена на рис.1.

2.1. Варианты заданий

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
U_c , В	3	5	2	3	1	1	5	5	4	4	2	3
F_c , Гц	100	240	200	150	200	500	160	250	100	400	300	80
$\delta_{\max}$	0.03	0.04	0.04	0.04	0.02	0.05	0.03	0.02	0.01	0.03	0.02	0.05

Ключ S1 осуществляет дискретизацию входного непрерывного сигнала, поступающего от источника сигнала $U_{вх}$ (V3). Период повторения импульсов управления (генератор прямоугольных импульсов V1) ключом S1 равен периоду дискретизации Td в режиме “Работа” и $(3-5)Td$ в режиме “Настройка”. Длительность импульсов управления выбрать равной $0.1Td$.

Ключ S2 осуществляет подключение сумматора и устройства выборки-хранения (УВХ), реализованных на усилителе X2. На сумматоре формируется разность $u(t_k)-u(t_{k-1})$ между значениями очередного и предыдущего отсчетов, которая записывается в УВХ и запоминается на время, равное периоду дискретизации Td . Инвертирование предыдущего отсчета осуществляется усилителем X3.



Входной сигнал- .MODEL UVH SIN (F=10 A=1)

Сигнал дискретизации- .MODEL DISKR PUL (P1=0 P2=0.0001m P3=2m P4=2.0001m P5=10m)

Сигнал включения УВХ- .MODEL ZAP PUL (P1=0.5m P2=0.501m P3=1.5m P4=1.501m P5=10m)

Рис.1. Схема линейного интерполятора

Период повторения импульсов управления ключом S2 равен периоду дискретизации T_d , как в режиме “Настройка”, так и в режиме “Работа”. Длительность импульсов управления выбрать в 2 раза меньше, чем для ключа S1, и на временной оси они должны находиться внутри импульсов управления ключом S1. Запомненное значение разности текущего и предыдущего отсчетов интегрируется интегратором, реализованным на усилителе X2. Постоянная интегрирования, определяемая произведением R_4C_2 , должна быть равна периоду дискретизации T_d .

2.2. Расчет временных параметров

Рассчитать с помощью формулы (7) на основе исходных данных период дискретизации T_d . На основании приведенных в начале данного раздела сведений выбрать длительность импульсов управления ключом S1 ($t_{уп1}$) и длительность импульсов управления ключом S2 ($t_{уп2}$). Определить постоянную интегрирования $T_i = T_d$.

2.3. Расчет параметров элементов интерполятора

2.3.1. Цепь заряда конденсатора памяти в УВХ

Эта цепь состоит из резистора R3, ключа S2 и конденсатора C1 (рис.1). Сопротивлением открытого ключа S1 (рис. 1) можно пренебречь. Расчет значений R3 и C1 основан на том, что за время $t_{уп2}$ конденсатор C1 должен зарядиться практически до уровня очередного входного отсчета. Это обеспечивается при соотношении 1:5 постоянной цепи заряда и длительности

импульса управления ключом S2 и менее, т.е. $R3C1 \leq 0.2t_{\text{упр2}}$. Значения резисторов R2 и R6 выбираются равными значению резистора R1.

2.4.2. Элементы интегратора

В интегратор на основе операционного усилителя (X2 на рис. 1) в инвертирующем режиме должны еще входить резистор R_i (R4 на рис. 1) и конденсатор C_i (C2 на рис. 1). Постоянная интегрирования $T_i = R_i C_i$. Зная $T_i = Td$ и задавая значение параметра одного из элементов (например $C2 = 1 \text{ мкФ}$), определить значение параметра другого элемента.

2.4.3. Элементы инвертора

Инвертор на основе операционного усилителя (X3 на рис. 1) содержит всего два резистора с равными сопротивлениями (R5 и R6). Выбрать значения резисторов, учитывая, что один из них является нагрузкой для интегратора и не может быть меньше некоторой допустимой величины (например, 10 кОм).

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Соберите на рабочем столе программы MicroCAP схему линейного интерполятора. В качестве источников управления ключами использовать элемент “PULSE” (импульсный генератор). В качестве источника входного сигнала использовать элемент “SINE S” (источник синусоидального сигнала). С помощью редактора устройств установить требуемые амплитудные и временные параметры источников управления ключами и источника входного сигнала, полученные в результате предварительного расчета.

3.2. Задать период повторения импульсов управления ключом S1 равным $5Td$. При этом интерполятор переходит в режим “Настройка”.

Выполнить анализ схемы в режиме “Переходный процесс”. Зафиксировать временные диаграммы на выходе УВХ и на выходе интегратора (выход интегратора является выходом линейного интерполятора).

На выходе интегратора формируется функция отсчета. При правильной настройке линейного интерполятора функция отсчета представляет собой равнобедренный треугольник с длительностью основания, равной $2Td$, и амплитудой, равной амплитуде U_c входного отсчета. Если правая сторона треугольника не доходит до нулевой линии, то велика постоянная интегрирования, а если правая сторона треугольника опускается ниже уровня нулевой линии, то постоянная интегрирования мала.

Реакция УВХ на входные отсчеты в режиме “Настройка” представляет собой при правильной настройке пару разнополярных прямоугольных импульсов с одинаковыми амплитудами.

3.3. Выполнить настройку интерполятора по функции отсчета, изменяя в небольших пределах постоянную интегрирования.

3.4. Зафиксировать временные диаграммы на выходах УВХ и интегратора.

3.5. Задать период повторения импульсов управления ключом S1 равным периоду дискретизации T_d . Линейный интерполятор переходит в режим “Работа”.

3.6. Выполнить анализ схемы в режиме “Переходный процесс”. Зафиксировать временные диаграммы на выходе УВХ и на выходе интерполятора.

3.7. Поместить на одном графике временные диаграммы сигналов с выхода источника входного сигнала и с выхода интерполятора. Измерить задержку выходного сигнала интерполятора относительно входного сигнала.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 4.1. Расчеты, выполненные при подготовке к работе.
- 4.2. Электрическая принципиальная схема линейного интерполятора.
- 4.3. Временные диаграммы в режиме “Настройка”.
- 4.4. Временные диаграммы в режиме “Работа”.
- 4.5. Результаты измерения задержки восстановленного сигнала относительно исходного непрерывного сигнала.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Задача интерполяции.
- 5.2. Интерполяционный полином.
- 5.3. Интерполирующая функция.
- 5.4. Принцип выполнения скользящего интерполирования.
- 5.5. Интервал интерполяции.
- 5.6. Соотношение числа отсчетов на интервале интерполяции и степени интерполяционного полинома.
- 5.7. Интервал соответствия.
- 5.8. Вывести из выражения полинома Лагранжа n -й степени выражение для интерполяционного полинома первой степени.
- 5.9. Вывести из выражения полинома Лагранжа n -й степени выражение для интерполяционного полинома второй степени:
 - а) для интервала соответствия с номером $s=0$,
 - б) для интервала соответствия с номером $s=1$.

5.10. Связь периода дискретизации и погрешности восстановления непрерывного сигнала по дискретным отсчетам:

- а) при ступенчатой интерполяции,
- б) при линейной интерполяции,
- в) при параболической интерполяции.

5.11. Формирование функции отсчета при линейной интерполяции.

5.12. Соотношение между постоянной интегрирования и периодом дискретизации.

5.13. Выбор постоянной цепи заряда конденсатора памяти в УВХ.

5.14. Объясните временные диаграммы на выходе УВХ в режиме “Настройка”.

5.15. Объясните временные диаграммы на выходе интерполятора в режиме “Настройка”.

5.16. Объясните причину задержки выходного сигнала интерполятора относительно исходного непрерывного сигнала.

Лабораторная работа № 7

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНЫХ СИГНАЛОВ ПО ДИСКРЕТНЫМ ОТСЧЕТАМ СПОМОЩЬЮ ФИЛЬТРА НИЖНИХ ЧАСТОТ

Цель работы: изучение принципа восстановления непрерывных сигналов, представленных дискретными отсчетами с АИМ-1 и АИМ-2, с помощью фильтра нижних частот.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В многоканальных измерительных системах с временным разделением каналов контролируемые непрерывные сигналы дискретизируются, полученные дискретные отсчеты поочередно во времени передаются по общей линии связи на приемную аппаратуру, где осуществляется разделение группового сигнала на каналные измерительные сигналы (см. рис. 1 в лабораторной работе № 1). На выходах аппаратуры разделения каналные сигналы представлены в виде дискретных отсчетов с АИМ. Обычно это АИМ-1, так как техническая реализация просто осуществляется непосредственно в процессе дискретизации исходных непрерывных сигналов.

При гармоническом модулирующем сигнале $c(t) = \cos 2\pi F_M t$ спектр амплитуд сигнала с АИМ1 имеет вид [1]:

$$U_{\text{АИМ1}}(t) = \frac{U_0\tau}{Td} + \frac{2U_0\tau}{Td} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \pi k\tau/Td}{\pi k\tau/Td} \cos 2\pi kFdt + \frac{mU_0\tau}{Td} \cos 2\pi F_C t +$$

$$+ \frac{mU_0\tau}{Td} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \pi k\tau/Td}{\pi k\tau/Td} \cos 2\pi(kFd \pm F_C)t, \quad (1)$$

где F_C – частота модулирующего сигнала,

$m = \frac{\Delta U}{U_0}$ – коэффициент амплитудно-импульсной модуляции ($0 \leq m \leq 1$).

Из выражения (1) видно, что в спектре сигнала с АИМ-1 содержатся составляющая с частотой F_C исходного контролируемого сигнала. Эту составляющую можно выделить с помощью фильтра нижних частот, у которого полоса частот пропускания не меньше полосы частот контролируемого сигнала.

Амплитуда восстановленного сигнала зависит от отношения длительности отсчета τ к периоду дискретизации Td .

Для увеличения амплитуды восстановленного сигнала, на приемной стороне после разделения дискретных отсчетов по своим каналам осуществляют преобразование канальных сигналов с АИМ-1 в сигналы с АИМ-2. При этом происходит запоминание значения отсчета на период дискретизации до следующего отсчета. Таким образом, в результате преобразования $\tau \approx Td$.

Спектр амплитуд сигнала с АИМ-2 имеет вид:

$$U_{АИМ2}(t) = U_0 \frac{\tau}{Td} + 2U_0 \frac{\tau}{Td} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin k\pi \frac{\tau}{Td}}{k\pi \frac{\tau}{Td}} \cos 2k\pi Fd + mU_0 \frac{\tau}{Td} \frac{\sin \pi F_C \tau}{\pi F_C \tau} \cos 2\pi F_C t + \\ + mU_0 \frac{\tau}{Td} \frac{\sin \pi(kFd \pm F_C)\tau}{\pi(kFd \pm F_C)\tau} \cos 2\pi(kFd \pm F_C)t \quad (2)$$

Если на вход фильтра нижних частот (ФНЧ) с частотой среза f_{cp} , несколько превышающей максимальную частоту F_C в спектре исходного непрерывного сигнала, подать последовательность дискретных отсчетов непрерывного сигнала, то на выход ФНЧ пройдут только составляющие с частотой до f_{cp} (рис. 1).

В данной лабораторной работе исследуется процесс восстановления непрерывных сигналов по дискретным отсчетам. В качестве ФНЧ используются фильтр четвертого порядка Баттерворта.

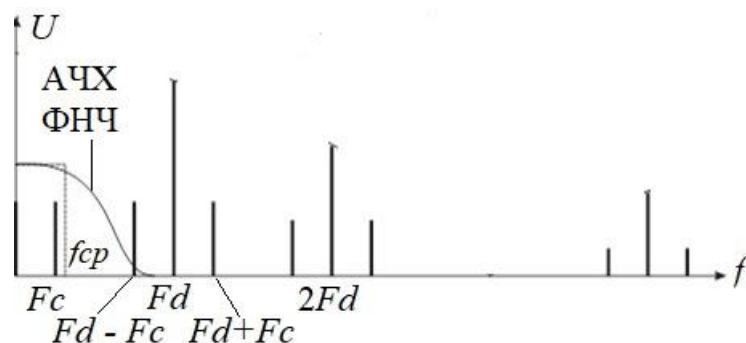


Рис. 1. Спектр АИМ-сигнала и АЧХ фильтра нижних частот

Для имитации одного из N измерительных каналов многоканальной информационно-измерительной системы используется схема, приведенная на рис. 2. В качестве входного сигнала используется синусоидальный сигнал с $F_c = F_{c2}$ из лабораторной работы №1.

Ключ $K1$ имитирует один канал телеметрической системы. Он замыкается с периодом, равным периоду дискретизации $Td2$, на время, равное каналному интервалу T_k . На выходе ключа $K1$ в точке 2 формируется сигнал с АИМ-1. Ключ $K2$ входит в состав УВХ. Он замыкается с тем же периодом $Td2$ на время $T_{упр}$. Обратите внимание на то, что импульс управления ключом $K2$ располагается по времени внутри интервала, занимаемого импульсом управления ключом $K1$. Для выбранного в работе соотношения $T_{упр}$ и T_k это вторая четверть интервала T_k . В точке 3 формируется сигнал с АИМ-2.

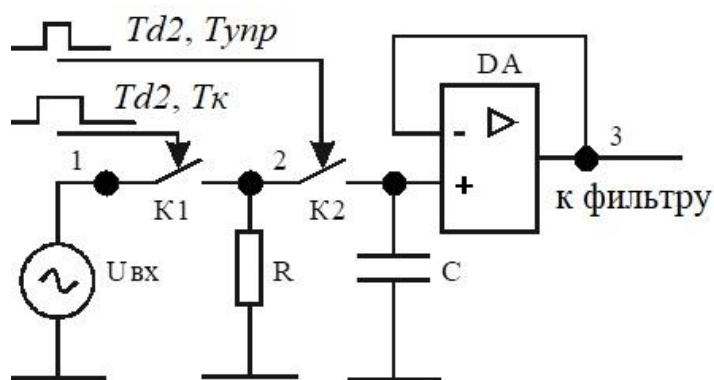


Рис. 2. Модель измерительного канала

2. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

2.1. Подготовить исходные данные, которые требуются для выполнения необходимых расчетов. В качестве исходных данных взять: F_{c2} , F_{d2} , T_k из лабораторной работы № 1. Составить схему ФНЧ четвертого порядка, состоящую из двух типовых ячеек второго порядка. Схема типовой ячейки приведена на рис. 3.

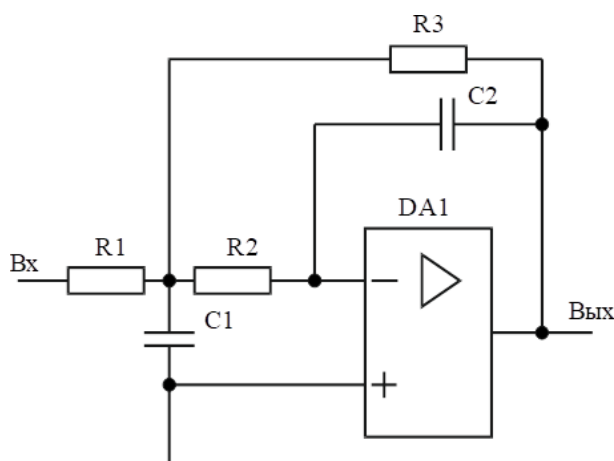


Рис. 3. Типовая ячейка ФНЧ второго порядка

2.2. Используя выражение (1), рассчитать амплитуду сигнала на выходе ФНЧ, восстановленного по дискретным отсчетам с АИМ-1. Расчет выполнить для $\tau = T_k$. Принять $m=1$, $U_0 = 1\text{ В}$.

2.3. Используя выражение (2), рассчитать амплитуду сигнала на выходе ФНЧ, восстановленного по дискретным отсчетам с АИМ-2. Расчет выполнить для $\tau = T_{\text{опр}}$. Принять $m=1$, $U_0 = 1\text{ В}$.

2.4. Рассчитать временные параметры импульсов управления ключом УВХ (ключ К2 на рис. 2): длительность, приняв $T_{\text{упр}} = T_k/4$, и положение на временной оси, учитывая рекомендации, приведенные в разделе 1.

2.5. Рассчитать параметры элементов фильтра Баттерворта 4-го порядка.

При расчете параметров элементов первого каскада (первого из последовательно включенных в типовой ячейке второго порядка) в качестве коэффициентов a_i , b_i используют значения пары коэффициентов a_1 и b_1 , а для второго каскада - a_2 и b_2 .

$$R3 = \frac{a_i C1 - \sqrt{a_i^2 C1^2 - 4C1C2b_i(1 - Ko)}}{4\pi f_{cp} C1C2}, \quad (3)$$

$$R2 = \frac{b_i}{4\pi^2 f_{cp}^2 C1C2R3}, \quad (4)$$

$$R1 = \frac{R3}{-Ko}. \quad (5)$$

В работе исследуются фильтры с коэффициентом передачи на нулевой частоте $Ko = -1$.

Чтобы значение сопротивления резистора $R3$ было действительным, должно выполняться условие

$$\frac{C1}{C2} \geq \frac{4b_i(1 - Ko)}{a_i^2} = m. \quad (6)$$

Сильно превышать значение m не рекомендуется.

Значения коэффициентов a_i и b_i для фильтров четвертого порядка следующие:
 фильтр Баттерворта - $a_1=1.8478$, $b_1=1.000$, $a_2=0.7654$, $b_2=1.000$;

Расчет параметров элементов ФНЧ лучше вести в такой последовательности.

1. Рассчитать частоту среза результирующего фильтра f_{cp} [Гц], при следующих исходных данных:

$Fc2$ – из лабораторной работы №1;

$\alpha_c=0.1$ дБ – затухание АЧХ фильтра на частоте $Fc2$;

$n = 4$ – порядок фильтра нижних частот;

$$f_{cp} = \frac{10^{\frac{\log(2\pi Fc2) - \frac{\log\left(10^{\frac{\alpha_c}{10}} - 1\right)}{2n}}}{2\pi}$$

2. Выбрать значение емкости конденсатора $C1$ из условия

$$C1[\text{мкФ}] \approx 10/f_{cp}[\text{Гц}].$$

3. Определить значение m из выражения (6), приняв $Ko = -1$.

4. В соответствии с полученным значением m определить емкость конденсатора $C2$ из условия $C2 \leq C1/m$.

5. Вычислить значения сопротивлений резисторов $R3$, $R2$, $R1$ по выражениям (3), (4) и (5).

При вычислении параметров элементов обращайтесь внимание на размерности входящих в формулы величин.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Ввести схему, имитирующую один канал телеметрической системы, взяв за основу схему, приведенную на рис. 2. Емкость конденсатора C выбрать из условия $2r_{кл}C < 0.2T_{упр}$, где $r_{кл}$ - сопротивление открытого ключа $K1$ (или $K2$). В качестве источника входного сигнала взять источник синусоидального напряжения, задав следующие параметры: $F=Fc2$, $A=1$, $DC=0$. В качестве ключей использовать ключ, управляемый напряжением (V-SWITCH).

3.2. Выполнить анализ схемы во временной области (Transient Analysis). Зафиксировать временные диаграммы в точках 1, 2, 3 (см. рис. 2).

3.3. Ввести схемы всех ФНЧ (можно через “Буфер обмена”). Подключить входы всех фильтров к точке 2 (см. рис. 2).

3.4. Выполнить анализ схемы во временной области. Зафиксировать графики непрерывных сигналов на выходе каждого ФНЧ.

3.5. Определить амплитуды сигналов на выходе каждого фильтра и сравнить их с расчетными данными и с амплитудой входного сигнала (точка 1 на рис. 2).

3.6. Определить время запаздывания выходного сигнала относительно входного для каждого фильтра.

3.7. Отключить входы всех ФНЧ от точки 2 и подключить к точке 3 (рис. 2).

3.8. Выполнить действия по пунктам 3.4 - 3.6.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

4.1. Функциональная схема одного канала телеметрической системы с подключенным к его выходу фильтром нижних частот.

4.2. Временные диаграммы сигналов управления ключами с числовыми значениями их параметров.

4.3. Графики выходных сигналов, восстановленных по дискретным отсчетам с АИМ-1.

4.4. Графики выходных сигналов, восстановленных по дискретным отсчетам с АИМ-2.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Начертите график спектра сигналов с АИМ. Опишите состав спектра.

5.2. Объясните принцип восстановления непрерывных сигналов по дискретным отсчетам с помощью фильтров нижних частот.

5.3. В чем различие спектров сигналов с АИМ-1 и АИМ-2?

5.4. С какой целью при восстановлении непрерывных сигналов по дискретным отсчетам используют преобразование АИМ-1 в АИМ-2?

5.5. Чем отличаются восстановленные сигналы, если дискретизированные сигналы были представлены в виде сигналов с АИМ-1 и АИМ-2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисов Ю. П., Пенин П. И. Основы многоканальной передачи информации. М.: Связь, 1967. С. 222 - 230.