

МИНИСТЕРСТВО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИ-
ТЕТ

Кафедра “Электротехника”

ИССЛЕДОВАНИЕ АЦП ДВУХТАКТНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ

Методические указания к лабораторной работе

ВОЛГОГРАД 2003

Рецензент Е. Г. Зенина

Исследование АЦП двухтактного интегрирования. Методические указания к лабораторной работе / **Емельянов А. В., Шилин А. Н.**: метод. указ. / ВолгГТУ – Волгоград. – 22 с.

Методические указания содержат описание принципа действия АЦП двухтактного интегрирования с приведением блок-схемы с временными диаграммами, теоретических основ анализа его работы и функций влияния различных факторов на погрешность преобразования, а также лабораторной установки и методики проведения лабораторной работы и предназначены для студентов изучающих дисциплины: “Метрология, стандартизация и сертификация”, “Приборы и методы физического эксперимента”, “Электротехника и электроника” и “Электроника”.

Лабораторная работа рассчитана на 4 часа аудиторных занятий и на самостоятельную подготовку.

Ил. 7, библиогр. 5 - назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Волгоградского государственного технического университета.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение принципа действия аналого-цифрового преобразователя двойного интегрирования. Исследование функций влияния различных факторов на погрешность преобразования и его помехоустойчивость.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Введение

Основными устройствами измерительной техники и информационно-управляющих систем являются измерительные преобразователи. Основные требования, предъявляемые к преобразователям, – это точность и быстродействие измерения, а также минимальное влияние окружающей среды на их работу. Кроме основной функции измерения, эти устройства выполняют также математические операции по обработке измерительных сигналов. Одной из основных математических операций в измерительных устройствах является операция вычисления отношения измерительных сигналов, которая используется например, при реализации спектрального метода измерения температуры нагретых изделий и влажности различных материалов, а также при коррекции мультипликативной составляющей погрешности за счет введения в устройство эталонного источника сигналов.

Необходимо отметить, что для цифровых систем управления, наиболее перспективны измерительные преобразователи с частотными и импульсными выходными сигналами, поскольку эти сигналы довольно просто преобразуются в цифровой код. Наибольшими потенциальными возможностями для решения измерительных задач с вычислением отношения сигналов и представлением результата измерения в цифровой форме обладают интегрирующие преобразователи “напряжение (ток) – частота” или “напряжение (ток) – время”.

В измерительной технике широко используется аналого-цифровой преобразователь (АЦП) “напряжение-время”, основанный на методе двойного (двухтактного) интегрирования с заданной длительностью первого

этапа.

2.2. АЦП двухтактного интегрирования

Метод двойного интегрирования заключается в следующем: вначале разряженный интегрирующий конденсатор заряжают определенное время током, пропорциональным измеряемому напряжению, а затем разряжают определенным током до нуля. Время, в течение которого происходит разрядка конденсатора, будет пропорционально измеряемому напряжению. Это время измеряют с помощью счетчика импульсов; с его выхода сигналы подают на вход цифровой управляющей системы или на индикатор.

Рассмотрим работу АЦП подробнее. Он состоит (рис. 1) из аналоговой и цифровой частей. Аналоговая содержит электронные ключи $S1 - S9$, буферный операционный усилитель (ОУ) $DA1$, работающий в режиме повторителя, ОУ $DA2$ - интегратор, а также компаратор $DA3$. В цифровую часть входят генератор $G1$, логическое устройство $DD1$, счетчик импульсов CT , регистр памяти RG с выходным дешифратором DC .

На входы АЦП подают измеряемое U_{ax} и опорное U_{on} напряжения. Цикл измерения (рис. 2) состоит из двух этапов интегрирования сигнала: $(t_1 - t_2)$ – зарядки интегрирующего конденсатора (ЗИ) и $(t_2 - t_3)$ – разрядки интегрирующего конденсатора (РИ), а также этапа автоматической коррекции нуля (АК). Каждому этапу соответствует определенная коммутация элементов преобразователя, выполняемая ключами $S1 - S9$ на транзисторах структуры МОП. На рис. 1 надписи у ключей обозначают этап, в течение которого "контакты" замкнуты. Длительность каждого этапа пропорциональна периоду тактовой частоты, которая определяется выражением $f_m = f / 4$, где f – частота генератора $G1$.

В течение первого этапа $(t_1 - t_2)$ (см. рис. 2), длящегося 1000 (для данной работы) периодов тактовой частоты [5], входной сигнал через ключ $S1$ и буферный усилитель $DA1$ поступает на вход интегратора $DA2$. Это вызывает на конденсаторе $C_{инт}$ накопление заряда, пропорционального и

соответствующего по знаку приложенному входному напряжению. Напряжение на выходе интегратора $DA2$ изменяется с постоянной скоростью, пропорциональной входному сигналу (рис. 2).

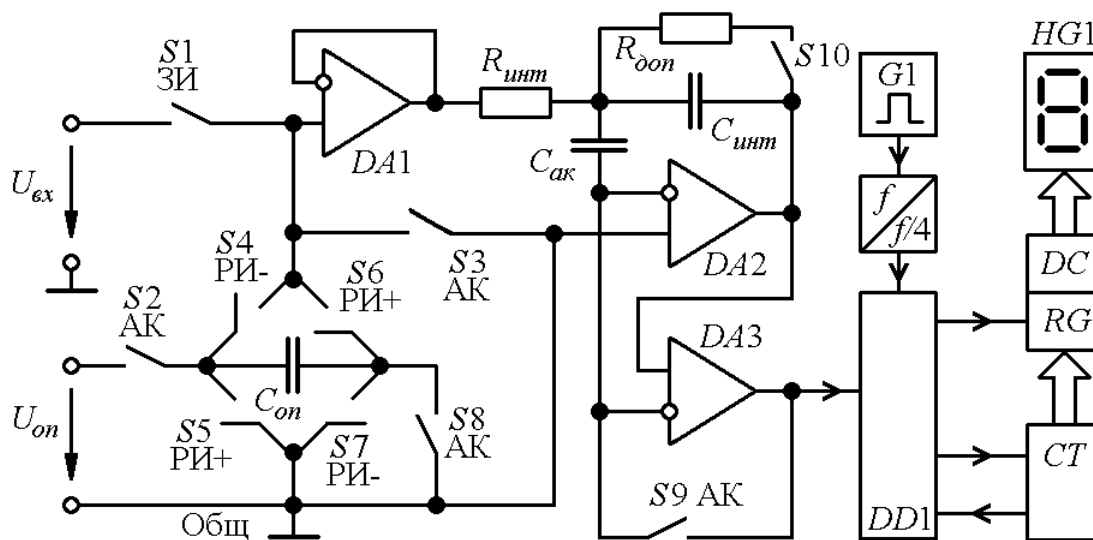


Рис. 1. Структура АЦП двойного интегрирования

Предположим, что к моменту времени t_1 заряд на конденсаторах $C_{инт}$ и $C_{ак}$ и напряжение смещения нуля ОУ $DA1 - DA3$ равны нулю ($C_{ак}$ - запоминающий конденсатор узла автоматической коррекции "нуля"). Пусть также конденсатор $C_{оп}$ уже заряжен от источника опорного напряжения до $U_{оп}$. Так как входной ток интегратора $DA2$ мал, изменения напряжения на конденсаторе $C_{ак}$ не происходит, и он фактически не оказывает влияния на процесс интегрирования. Во время первого этапа ($t_1 - t_2$) компаратор $DA3$ определяет знак входного напряжения по знаку напряжения на выходе интегратора $DA2$. Чувствительность компаратора $DA3$ такова, что он правильно определяет полярность входного сигнала, даже если сигнал существенно меньше единицы отсчета.

В момент времени t_2 напряжение на выходе интегратора определяется выражением

$$U_{инт} = -\frac{1}{\tau} \int_{t_1}^{t_2} U_{вх} dt, \quad (1)$$

где $\tau = R_{инт} C_{инт}$ - постоянная времени интегратора.

При работе АЦП на втором этапе ($t_2 - t_3$) входной сигнал на интегратор $DA2$ не поступает (см. рис. 1). К его входу выключатели $S5, S6$ (если $U_{ex} > 0$) или $S4, S7$ (если $U_{ex} < 0$) присоединяют заряженный до опорного напряжения конденсатор C_{on} , причем в такой полярности (этим и обусловлен выбор той или иной пары выключателей), при которой происходит разрядка конденсатора $C_{инт}$.

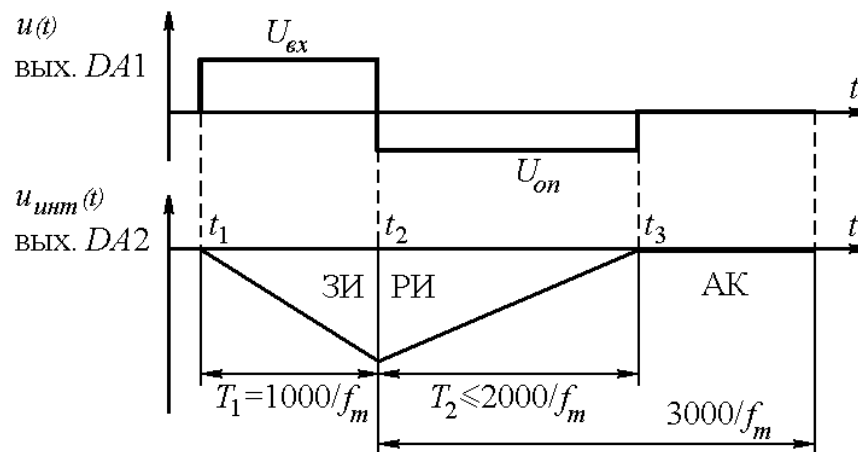


Рис. 2. Временная диаграмма работы ОУ $DA1$ и интегратора $DA2$

Разрядка длится до тех пор, пока конденсатор $C_{инт}$ не разрядится полностью, т. е. напряжение на выходе ОУ $DA2$ не станет равным нулю. В этот момент срабатывает компаратор $DA3$, завершая этап T_2 .

$$U_{инт} = -\frac{1}{\tau} \int_{t_1}^{t_2} U_{ex} dt + \frac{1}{\tau} \int_{t_2}^{t_3} U_{on} dt = 0,$$

откуда

$$\frac{U_{ex}(t_2 - t_1)}{\tau} = \frac{U_{on}(t_3 - t_2)}{\tau}, \text{ или } U_{ex}T_1 = U_{on}T_2.$$

Время разрядки конденсатора $C_{инт}$, выраженное числом периодов тактовых импульсов, и есть результат измерения, записанный в счетчике CT

$$N = f_m T_2 = f_m T_1 \frac{U_{ex}}{U_{on}} = f_m \frac{1000}{f_m} \frac{U_{ex}}{U_{on}} = \frac{1000 U_{ex}}{U_{on}}. \quad (2)$$

Состояние счетчика переписывается в регистр RG , а затем преобразуется в сигналы семиэлементного кода, которые поступают на индикатор $HG1$.

Как следует из последней формулы, метод двойного интегрирования

нечувствителен к изменению частоты тактирования или скорости интегрирования, особых требований к стабильности $R_{инт}$ и частотоподающим элементам генератора $G1$ не предъявляется.

На рис. 3 показано изменение напряжения на выходе ОУ $DA2$ при $U_{вх} < U_{он}$ для различных постоянных времени τ интегратора и $f = const$ (рис. 3, а); для различных рабочих частот f и $\tau = const$ (рис. 3, б).

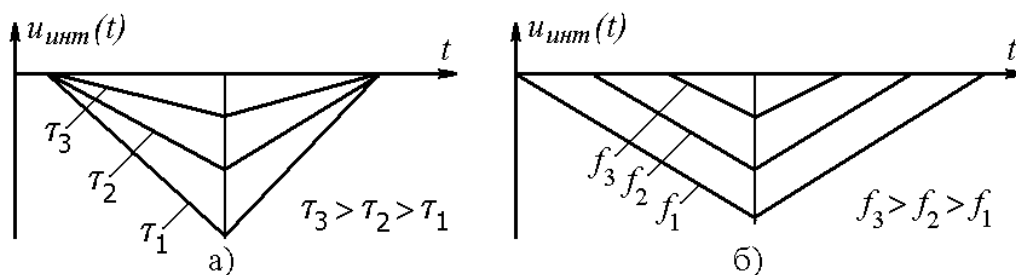


Рис. 3. Диаграммы работы интегратора $DA2$ при различных τ , и f

Этап автокоррекции начинается с прекращения работы счетчика CT , когда логическое устройство $DD1$ "замыкает контакты" выключателей $S2$, $S3$ и $S9$. В результате усилители $DA2$ и $DA3$ оказываются охваченными отрицательной обратной связью с коэффициентом, равным 1, вследствие чего их суммарный коэффициент усиления становится равным единице. На нижней (по схеме) обкладке конденсатора $C_{ак}$ устанавливается напряжение, равное сумме напряжения смещения усилителя $DA2$ и приведенного напряжения смещения усилителя $DA3$. На верхней же обкладке этого конденсатора будет присутствовать напряжение смещения усилителя $DA1$. Таким образом, на конденсаторе $C_{ак}$ на этапе автокоррекции запоминается напряжение ошибки, обусловленное смещениями всех трех ОУ ($DA1 - DA3$). В последующих двух этапах интегрирования ($t_1 - t_2$) и ($t_2 - t_3$) ключ $S9$ размыкается и напряжение на $C_{ак}$ вычитается из входного сигнала ОУ $DA2$. Таким способом удастся уменьшить суммарное напряжение смещения АЦП до значения, не превосходящего 10 мкВ (для данной работы).

В этапе автокоррекции осуществляется также заряд конденсатора $C_{он}$ опорным напряжением $U_{он}$.

2.3. Особенности работы АЦП применённого в данной работе

Ядром описываемой работы является микросхема АЦП серии 7106 (отечественный аналог 572ПВ5), выполняющая также функции управления жидкокристаллическим индикатором [5]. Рассмотрим некоторые особенности её работы.

Пределы входного напряжения устройства зависят от опорного напряжения U_{on} и определяются соотношением $U_{ex\max} = \pm 1,999U_{on}$. Рекомендуемые значения U_{on} – это 1 В или 0,1 В. В этом случае диапазон входных сигналов будет $\pm 1,999$ В, а во втором $\pm 0,1999$ В.

При знаке напряжения U_{ex} , противоположном указанному на рис. 1, на индикаторе *HG1* индицируется знак "минус". При перегрузке, когда $U_{ex} > 1,999U_{on}$, на индикаторе остается лишь цифра 1 в старшем разряде и знак "минус" (для отрицательного напряжения).

Как уже было указано, АЦП измеряет отношение значений напряжения на входах U_{ex} , и U_{on} . Поэтому возможны два основных варианта его применения. Традиционный вариант – напряжение U_{on} неизменно, U_{ex} меняется в пределах $\pm 2U_{on}$ (или от 0 ... $2U_{on}$). Изменение напряжения на конденсаторе $C_{инт}$ и на выходе интегратора *DA2* для этого случая показано на рис. 4, а. При втором варианте (рис. 4, б) напряжение U_{ex} остается постоянным, а меняется U_{on} . Возможен и смешанный вариант, когда при изменении измеряемой величины меняются и U_{ex} , и U_{on} .

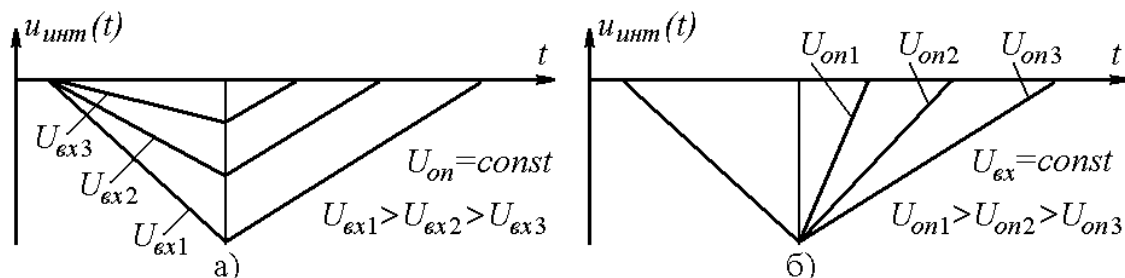


Рис. 4. Диаграммы работы интегратора *DA2* при различных U_{ex} , и U_{on}

Напряжение на входах и выходах ОУ, входящих в состав АЦП, не должно выводить их за пределы линейного режима работы. Для ОУ, изготовленных по технологии КМОП, сигнал на входах и выходах может изменяться в диапазоне питающих напряжений (для данной работы ± 5 В).

Для обеспечения максимальной точности измерения желательно, чтобы одно из крайних значений напряжения на конденсаторе $C_{инт}$, меняясь в широких пределах, приближалось к максимально возможному. Это и определяет правильный выбор элементов интегратора

$$C_{инт} R_{инт} = 1000 U_{вх} / (U_{инт} f_m).$$

Кроме того, необходимо обеспечить оптимальный интегрирующий ток $I_{инт} = U_{вх} / R_{инт}$ ОУ DA2, для АЦП используемого в данной работе, – 4 мкА [5]. При пониженном значении этого тока показания ЖКИ становятся нестабильными.

Линейность функции преобразования “напряжение – время”, и в частности данного АЦП, в значительной степени зависит от качества конденсатора $C_{инт}$, и прежде всего от диэлектрической абсорбции этого конденсатора [5]. Наилучший результат даёт использование конденсаторов с полистироловым или полипропиленовым диэлектриком (K71-5, K72-9, K73-16, K73-17) [1].

При работе АЦП в условиях помех на полезный входной сигнал может накладываться напряжение помехи. Как правило, это помехи от промышленной сети частотой 50 Гц или 60 Гц.

В этом случае на входе интегратора DA2 (или выходе ОУ DA1) действует сумма полезного сигнала и помехи (см. рис. 5), в данном случае синусоидальной формы. Интегрирование суммарного сигнала происходит на первом этапе ($t_1 - t_2$), а на втором этапе ($t_2 - t_3$) входной сигнал отключается. Как видно из рис. 5, зависимость $u_{инт}(t)$ на первом этапе теперь не является линейной. Если длительность первого этапа кратна периоду помехи, то в момент времени t_2 значение $U_{инт}$ останется таким же, как и при отсутствии помехи. То есть,

для обеспечения максимальной помехоустойчивости АЦП должно выполняться соотношение:

$$T_1 = k / f_n \text{ или } 4000 / f = k / f_n \text{ откуда } 4000 f_n / f = k, \quad (3)$$

где f – частота генератора $G1$, f_n – частота помехи, $k = 1, 2, 3, \dots$ – коэффициент кратности периода помехи.

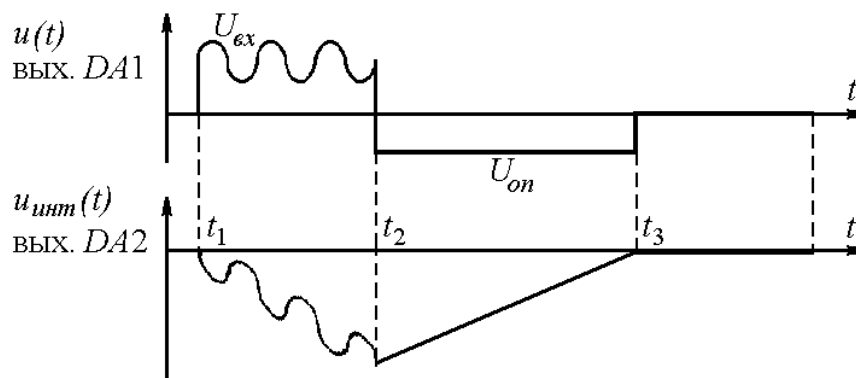


Рис. 5. Временная диаграмма работы ОУ $DA1$ и $DA2$ при наличии помехи

Таким образом, для ослабления сетевой помехи, например, частотой 50 Гц частота генератора $G1$ должна принимать одно из значений 200 кГц, 100 кГц, $66\frac{2}{3}$ кГц, 50 кГц, 40 кГц и т.д (Для АЦП серии 7106 рекомендуемые значения частот генератора $G1$ от 40 кГц до 240 кГц [5]).

2.4. Линеаризация статических характеристик АЦП двухтактного интегрирования

Часто измерительные преобразователи имеют нелинейную градуировочную (статическую) характеристику, например, в оптико-электронных приборах для измерения температуры твердых тел это зависимость напряжения на выходе усилителя фототока от температуры тела. Для повышения точности измерения и технологичности производства устройств контроля необходима линеаризация их характеристик. В измерительной технике применяют различные способы: используют в качестве линеаризующих элементов диодно-резистивные цепи, транзисторы, логарифмические преобразователи. Основ-

ным недостатком этих способов является зависимость параметров полупроводниковых элементов от температуры.

Как уже было указано выше, АЦП двойного интегрирования осуществляет преобразование измеряемой величины (U или I) во временной сигнал. Поэтому в устройствах контроля, использующих такие АЦП для линеаризации статических характеристик, целесообразно использовать переходные процессы в RC цепях.

Например, в оптико-электронном преобразователе зависимость напряжения на выходе усилителя фототока от температуры тела $U_\phi = f(\theta)$, в простейшем случае, может быть аппроксимирована экспоненциальной функцией. Это напряжение непосредственно измеряется АЦП, т.е. $U_\phi = U_{\text{вх}}$. Из теории измерительной техники известно, что для линеаризации статической характеристики АЦП необходимо, чтобы функция развертки совпадала с функцией характеристики. Другими словами, если зависимость выходного кода АЦП от входного и опорного напряжений $N = f(U_{\text{вх}}, U_{\text{он}})$, является, как, например, для нашего случая экспоненциальной, то градуировочная характеристика прибора $N = f(\theta)$ будет линейной.

Для получения нелинейной (экспоненциальной) развертывающей функции (рис. 6) к интегратору подключается (см. рис. 1) с помощью ключа $S10$ дополнительный резистор $R_{\text{дон}}$.

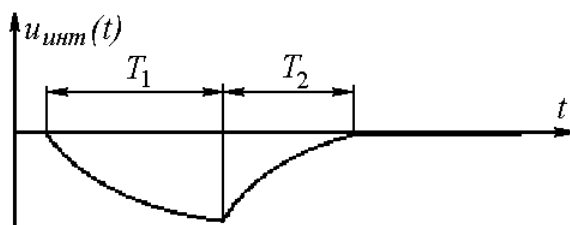


Рис. 6. Диаграмма работы интегратора $DA2$ в нелинейном режиме

Определим функциональную связь между входными и выходными сигналами АЦП. Напряжение на выходе операционного усилителя $DA2$ в конце первого этапа определяется с помощью выражения:

$$U_1 = - \frac{R_{\partial on}}{R_{инт}} U_{\partial x} (1 - e^{pT_1}), \text{ где } p = -1/R_{\partial on} C_{инт}.$$

Напряжение на выходе операционного усилителя DA2 в конце второго этапа равно нулю, причем напряжения $U_{\partial x}$ и U_{on} имеют различную полярность

$$U_2 = \frac{R_{\partial on}}{R_{инт}} U_{обp} \left[1 - \left(1 + \frac{U_{\partial x}}{U_{on}} (1 - e^{pT_1}) \right) e^{pT_2} \right] = 0.$$

Из этого выражения определим промежуток времени T_2 , по величине которого определяется отношение напряжений

$$T_2 = R_{\partial on} C_{инт} \ln \left[1 + \frac{U_{\partial x}}{U_{on}} (1 - e^{pT_1}) \right].$$

Выходной код преобразователя определяется выражением

$$N = f_m T_2 = f_m R_{\partial on} C_{инт} \ln \left[1 + \frac{U_{\partial x}}{U_{on}} (1 - e^{pT_1}) \right]. \quad (4)$$

Подбором $R_{\partial on}$, $C_{инт}$, а также f_m и U_{on} добиваются линейности градуировочной характеристики преобразователя.

Линеаризация более сложных функциональных зависимостей статических характеристик АЦП требует использования и более сложных электрических цепей и в данной работе не рассматривается. Функция преобразования устройства в этом случае обычно задаётся не аналитически, а в виде графика или таблицы, и поэтому её необходимо аппроксимировать некоторой аналитической функцией. Выбор функции необходимо выполнять таким образом, чтобы она при наименьшей погрешности имела наиболее простую реализацию [4].

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1. Описание лабораторного стенда

Конструктивно лабораторный стенд представляет собой переносное устройство и включает в себя: блок питания, источники входного и опорного напряжений, генератор тактовых импульсов, электронные ключи для изменения постоянной времени интегратора, устройство синхронизации для устойчивого наблюдения сигналов на осциллографе, жидкокристаллический индикатор (ЖКИ), а также собственно АЦП.

Расположение органов управления и гнезд на передней панели лабораторного стенда приведено на рис. 7.

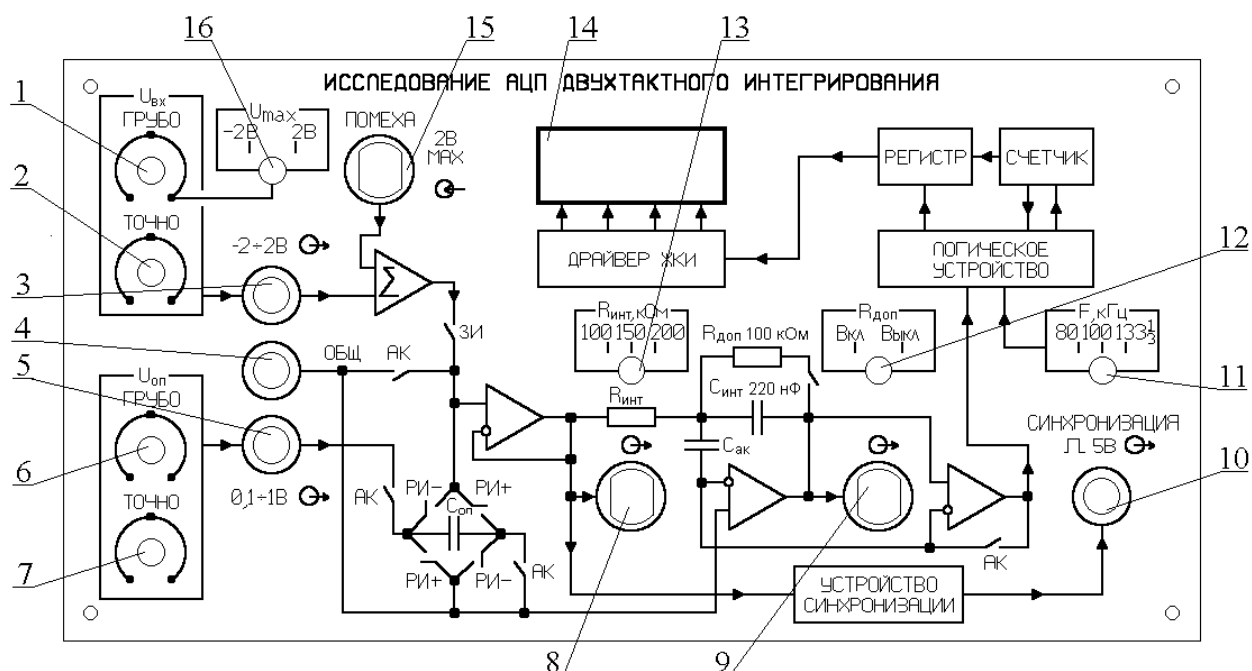


Рис. 7. Внешний вид лабораторного стенда (вид сверху)

Назначение органов управления и гнезд стенда: 1 – ручка грубой регулировки входного напряжения; 2 – ручка плавной регулировки входного напряжения; 3 – гнездо для измерения входного напряжения; 4 – гнездо общего провода; 5 – гнездо для измерения опорного напряжения; 6 – ручка грубой регулировки опорного напряжения; 7 – ручка плавной регулировки опорного напряжения; 8 – гнездо для контроля входного напряжения интегратора; 9 – гнездо для контроля напряжения на выходе интегратора; 10 – гнездо выхода

синхронизирующих импульсов; 11 – переключатель частоты генератора $G1$ (см. рис. 1); 12 – переключатель для включения / отключения резистора $R_{доп}$ (рис. 1, ключ $S10$); 13 – переключатель сопротивления резистора $R_{инт}$; 14 – жидкокристаллический индикатор (рис. 1, $HG1$); 15 – гнездо для подачи сигнала имитирующего помеху; 16 – переключатель полярности входного напряжения.

Примечания:

1. Диапазон регулирования входного напряжения может быть от 0 до 2 В или от 0 до -2 В (в зависимости от положения переключателя 16).
Диапазон регулирования опорного напряжения от 0,1 до 1 В.
2. Измерение входного или опорного напряжений проводить относительно общего провода (рис. 7, гнездо 4), вольтметром с входным сопротивлением не менее 10 кОм/В и классом точности не ниже 0,5.

ВНИМАНИЕ! Гнёзда **3, 4, 5** предназначены для подключения **к вольтметру**; **8, 9, 10** – для подключения **к осциллографу**; 15 – для подачи сигнала с внешнего генератора, амплитудное значение подаваемого напряжения не должно превышать 2 В.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ подавать какие-либо внешние сигналы на гнёзда 3, 5, 8, 9, 10, а также замыкать их на общий провод стенда или корпус внешних приборов подключенных к данному стенду.

3.2. Подготовка дополнительных измерительных приборов к работе

При проведении лабораторной работы необходимы следующие приборы: цифровой вольтметр, низкочастотный генератор синусоидальных сигналов, осциллограф. Настройте эти приборы следующим образом:

- Переключите вольтметр в режим измерения постоянного напряжения, измеряемые напряжения не будут превышать 2 В.
- При помощи осциллографа установите амплитуду выходного сигнала генератора в пределах 1 – 2 В (по заданию преподавателя), частоту – 50 Гц.

- Переключите осциллограф в режим работы с внешними синхронизирующими импульсами амплитудой 5 В. Развертка должна запускаться положительной частью синхронизирующего сигнала. На вход усилителя Y исследуемый сигнал должен поступать вместе с постоянной составляющей (открытый вход).

Примечание. Проводя измерения осциллографом, ручки “ \updownarrow ” и “ \leftrightarrow ”, а также переключатели “V / ДЕЛ” и “ВРЕМЯ / ДЕЛ” устанавливайте в такие положения, чтобы исследуемый сигнал на экране, занимал как можно большую площадь. Не забывайте записывать положения переключателей “V / ДЕЛ” и “ВРЕМЯ / ДЕЛ”.

3.3. Подготовка стенда к работе

Установите органы управления на передней панели в следующие положения:

- ручки “ $U_{вх}$ ГРУБО” и “ $U_{вх}$ ТОЧНО” – в среднее;
- переключатель полярности “ U_{max} ” – “2 В”;
- ручку “ U_{on} ГРУБО” – в крайнее правое;
- ручку “ U_{on} ТОЧНО” – в среднее;
- переключатель “ $R_{инт}$, кОм” – “100 кОм”;
- переключатель “ $R_{доп}$ ” – “ВЫКЛ”;
- переключатель “ F , кГц” – “100 кГц”.

3.4. Порядок выполнения работы

3.4.1. Измерение постоянного напряжения при $U_{on} = const$

1. С помощью ручек “ U_{on} ГРУБО” и “ U_{on} ТОЧНО” по вольтметру подключённому к гнездам 4 и 5 установите $U_{on} = 1,000$ В.
2. Подключите вольтметр к гнездам 3 и 4. Показания ЖКИ (рис. 7, поз. 14) должны определяться соотношением (2) и совпадать с показаниями вольтметра.

3. Соедините гнездо стенда “СИНХРОНИЗАЦИЯ” (рис. 7, поз. 10) с гнездом осциллографа “1:1 ВНЕШ. СИНХР”.
4. Соедините гнездо 8 стенда с Y – входом осциллографа. Добейтесь устойчивого изображения сигнала на его экране.
5. С помощью ручек “ $U_{вх}$ ГРУБО” и “ $U_{вх}$ ТОЧНО” по вольтметру, подключённому к гнездам 4 и 5, установите $U_{вх} = 1,500$ В.
6. Зарисуйте полученное на экране осциллографа изображение входного сигнала интегратора (см. примечание в п. 3.2).
7. Повторите пункты 5 и 6 сначала для $U_{вх} = 1,000$ В, а затем для $U_{вх} = 0,500$ В, не изменяя установленные в пункте 6 положения переключателей и ручек осциллографа.
8. Переключите вход Y осциллографа на гнездо 9 стенда, затем установите на гнездах стенда 3 и 4 $U_{вх} = 1,500$ В.
9. Зарисуйте полученное на экране осциллографа изображение выходного сигнала интегратора (см. примечание в п. 3.2).
10. Не изменяя установленные в предыдущем пункте положения переключателей и ручек осциллографа, повторите пункт 9 для $U_{вх} = 1,000$ В и $U_{вх} = 0,500$ В.
11. Переключатель полярности входного напряжения “ U_{max} ” (рис. 7, поз. 16) переведите в положение “-2 В”.
12. Повторите пункты 4 – 10, для $U_{вх} = -1,500$; $-1,000$; $-0,500$ В.
13. Используя формулу (1), рассчитайте теоретическое значение $U_{инт}$ в момент времени t_2 (см. рис. 2) для каждого значения $U_{вх}$ (значение $C_{инт}$ указано на стенде). Сравните теоретические значения $U_{инт}$ с экспериментальными.

3.4.2. Измерение постоянного напряжения при $U_{вх} = const$

1. Переключатель полярности входного напряжения “ U_{max} ” переведите в положение “2 В”.

2. С помощью ручек “ U_{ex} ГРУБО” и “ U_{ex} ТОЧНО” по вольтметру подключённому к гнездам 3 и 4 установите $U_{ex} = 395 \pm 2$ мВ.
3. С помощью ручек “ U_{on} ГРУБО” и “ U_{on} ТОЧНО” по вольтметру подключённому к гнездам 4 и 5 установите $U_{on} = 200$ мВ.
4. Обратите внимание на показания ЖКИ (рис. 7, поз. 14). Должны ли они совпадать с показаниями вольтметра подключённого к гнездам 3 и 4?
5. Соедините вход Y осциллографа с гнездом 8 стенда. Добейтесь устойчивого изображения сигнала на его экране, затем зарисуйте входное напряжение интегратора (см. примечание в п. 3.2).
6. Не изменяя установленные в предыдущем пункте положения переключателей и ручек осциллографа, повторите пункт 5 для $U_{on} = 400$ и 600 мВ.
7. Переключите вход Y осциллографа на гнездо 9 стенда, затем установите на гнездах стенда 4 и 5 $U_{on} = 200$ мВ.
8. Зарисуйте полученное на экране осциллографа изображение выходного сигнала интегратора (см. примечание в п. 3.2).
9. Не изменяя установленные в предыдущем пункте положения переключателей и ручек осциллографа, повторите пункт 8 для $U_{on} = 400$ и 600 мВ.

3.4.3. Исследование влияния постоянной интегрирования на погрешность измерения

1. С помощью ручек “ U_{ex} ” и “ U_{on} ” (рис. 7, поз. 1, 2, 6, 7) установите на гнездах 3, 4 и 4, 5 напряжения: $U_{ex} = 1,000$ В и $U_{on} = 1,000$ В, соответственно.
2. Соедините вход Y осциллографа с гнездом 9 стенда. Добейтесь устойчивого изображения сигнала на его экране.
3. Как можно точнее зарисуйте (см. примечание в п. 3.2) напряжение на выходе интегратора для всех положений переключателя “ $R_{инт}$, кОм” (рис. 7, поз. 13).
4. Обратите внимание на показания ЖКИ (рис. 7, поз. 14). Допустимые отклонения показаний ЖКИ не должны превышать ± 1 мл. зн. Сделайте соответствующие выводы.

5. Используя формулу (1), рассчитайте теоретическое значение $U_{инт}$ в момент времени t_2 (см. рис. 2), для каждого положения переключателя “ $R_{инт}, кОм$ ”. Сравните теоретические значения $U_{инт}$ с экспериментальными.

3.4.4. Исследование влияния частоты генератора тактовых импульсов на погрешность измерения

1. С помощью вольтметра проконтролируйте на гнездах 3, 4 и 4, 5 напряжения: $U_{вх} = 1,000 В$ и $U_{оп} = 1,000 В$, соответственно.
2. Переключатель “ $R_{инт}, кОм$ ”, установите в положение “100 кОм”.
3. Как можно точнее зарисуйте (см. примечание в п. 3.2) напряжение на выходе интегратора (гнездо 9) для всех трёх положений переключателя $F, кГц$ (рис. 7, поз. 11).
4. Обратите внимание на показания ЖКИ (рис. 7, поз. 14). Допустимые отклонения показаний ЖКИ не должны превышать ± 1 мл. зн. Сделайте соответствующие выводы.
5. Используя формулу (1), рассчитайте теоретическое значение $U_{инт}$ в момент времени t_2 (см. рис. 2) для каждого положения переключателя “ $F, кГц$ ”. Сравните теоретические значения $U_{инт}$ с экспериментальными.

3.4.5. Исследование помехоустойчивости АЦП

1. С помощью вольтметра проконтролируйте на гнездах 3, 4 и 4, 5 напряжения: $U_{вх} = 1,000 В$ и $U_{оп} = 1,000 В$, соответственно.
2. Переключатель “ $R_{инт}, кОм$ ”, может находиться в любом положении.
3. Переключатель “ $F, кГц$ ” установите в положение “100 кГц”.
4. Подайте синусоидальный сигнал с генератора на гнездо ”ПОМЕХА” стенда (рис. 7, поз. 15).
5. Соедините вход Y осциллографа с гнездом 8 стенда. Добейтесь устойчивого изображения сигнала на его экране и зарисуйте входное напряжение интегратора (см. примечание в п. 3.2).

6. Переключите вход Y осциллографа на гнездо 9 стенда, затем зарисуйте напряжение на выходе интегратора (см. примечание в п. 3.2).
7. Проверьте справедливость равенства (3). Для этого изменяйте или частоту генератора (в диапазоне 40 Гц - 1000 Гц), или положение переключателя " $F, \text{кГц}$ ". При выполнении условия (3) допустимые отклонения показаний ЖКИ не должны превышать ± 1 мл. зн.
8. Отключите генератор синусоидальных сигналов от гнезда стенда "ПОМЕХА".

3.4.6. Исследование АЦП в нелинейном режиме

1. Установите на гнездах 3, 4 и 4, 5 напряжения: $U_{\text{ex}} = 1,000 \text{ В}$ и $U_{\text{on}} = 1,000 \text{ В}$, соответственно.
2. Установите переключатели в следующие положения: " $F, \text{кГц}$ " - " 100 кГц ", " $R_{\text{доп}}$ " - "ВКЛ".
3. Соедините вход Y осциллографа с гнездом 9 стенда. Добейтесь устойчивого изображения сигнала на его экране и зарисуйте выходное напряжение интегратора для всех положений переключателя " $R_{\text{инт}}, \text{кОм}$ " (см. примечание в п. 3.2).
4. С помощью ручек " U_{ex} ГРУБО" и " U_{ex} ТОЧНО" изменяйте U_{ex} от 0 до 2 В с шагом 0,2 В, записывая при этом показания ЖКИ, а также вольтметра, подключённого к гнездам 3, 4.
5. По полученным экспериментальным данным постройте график зависимости $N = f(U_{\text{ex}})$ (значения $R_{\text{доп}}$, $R_{\text{инт}}$, $C_{\text{инт}}$ и f указаны на стенде).
6. Используя формулу (4), рассчитайте теоретическую зависимость $N = f(U_{\text{ex}})$. Сравните экспериментальные данные с теоретическими.

Контрольные вопросы

1. В чём заключается суть метода двухтактного интегрирования?
2. Из каких основных функциональных элементов состоит АЦП двухтактного интегрирования?
3. Как в АЦП осуществляется коррекция его напряжения смещения?
4. Как влияет на результат двухтактного интегрирования изменение постоянной времени интегратора, а также частоты генератора тактовых импульсов?
5. Чем определяется выбор элементов $R_{\text{инт}}$ и $C_{\text{инт}}$ интегратора?
6. Какие требования предъявляются к конденсатору $C_{\text{инт}}$?
7. Как рассчитать напряжение на выходе интегратора в конце первого этапа?
8. Почему $U_{\text{оп}}$ “снимается” с конденсатора $C_{\text{оп}}$, а не с источника опорного напряжения, непосредственно?
9. Чем определяется выбор частоты работы АЦП в условиях помех?
10. Объясните, способ линеаризации градуировочной характеристики измерительного преобразователя, описанный в данной работе. Какие недостатки данного метода вы можете назвать?

ЛИТЕРАТУРА

1. Гутников В. С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 304 с.: ил.
2. Матханов П. Н. Основы синтеза линейных электрических цепей. -М.: Высшая школа, 1976. - 208 с.
3. Шахов Э. К., Михотин В. Д. Интегрирующие преобразователи напряжения. -М.: Энергоатомиздат, 1986. - 144 с.
4. Шилин А. Н., Емельянов А. В. Параметрический синтез оптико - электронных устройств контроля с двухтактным интегрированием // Контроль. Диагностика. – 2001. - №8. – с. 17 – 24.
5. ICL7106, ICL7107, ICL7107S - 3 1/2 Digit, LCD/LED Display, A/D Converters - Intersil Corporation, Data Sheet, February 2001.

Алексей Викторович Емельянов
Александр Николаевич Шилин

Исследование АЦП двухтактного интегрирования

Редактор Т. В. Кудясова
Темплан 2002 г. поз. № ____

Лицензия _____ от _____
Подписано в печать _____ Формат 60х84 1/16
Бумага газетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. _____
Уч. -изд. л. 2,41 Тираж ____ Заказ _____

Волгоградский государственный технический университет.
400131 Волгоград, пр. Ленина, 28.

РПК «Политехник»
Волгоградского государственного технического университета.
400131 Волгоград, ул. Советская, 35.