

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ РЕГИСТРАЦИИ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ

1. Цель работы

Углубить знания в области борьбы с искажениями цифровых сигналов и исследовать способами регистрации единичных элементов при наличии краевых искажений и дроблений. Приобрести практические навыки в построении и исследовании схем регистрации сигналов в среде моделирования Proteus.

2. Основные теоретические положения

2.1. Причины и виды искажений цифровых сигналов

Различного рода помехи (шумы), амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики каналов связи (КС), скачки уровня и др. называют **первичными** характеристиками каналов. Они позволяют выявить характер физических явлений, влияющих на достоверность приёма информации.

Под **вторичными** характеристиками КС понимают искажения краев посылок (единичных элементов) и дробления сигналов. Эти характеристики позволяют по результатам приёма прямоугольных посылок непосредственно судить о достоверности принимаемой информации.

Причинами искажений единичных элементов являются первичные характеристики КС (например, воздействие флуктуационных и импульсных помех). Но зависимость между этими характеристиками и верностью приёма информации к настоящему времени в полном объёме ещё не установлены.

Искажение формы единичного элемента можно устранить, (например, подать на триггер) однако устранить искажения в длительности и знаке единичного элемента остаются. Рассмотрим последовательность единичных элементов данных (рисунок 2.1).

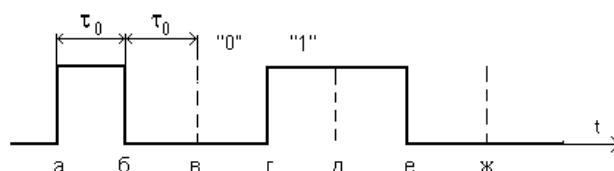


Рисунок 2.1 – Пример последовательности единичных элементов данных

Моменты времени, в которые знак импульса на передающем конце может измениться на противоположный (точки а, б, в, г, д, е, ж...) называются **характеристическими моментами модуляции (ХММ)**. Моменты времени, в которые знак посылки действительно изменился (точки а, б, г, е), называются **значащи-**

ми или действительными характеристическими моментами модуляции (ЗХММ). При приёме различают соответственно характеристические моменты восстановления (ХМВ) и значащие характеристическими моменты восстановления (ЗХМВ).

В общем случае ДХММ и ДХМВ смещены относительно друг друга. При наличии в КС мешающих факторов, ЗХМВ смещены относительно ЗХММ на время, отличающееся от времени распространения t_p (рисунок 2.2).

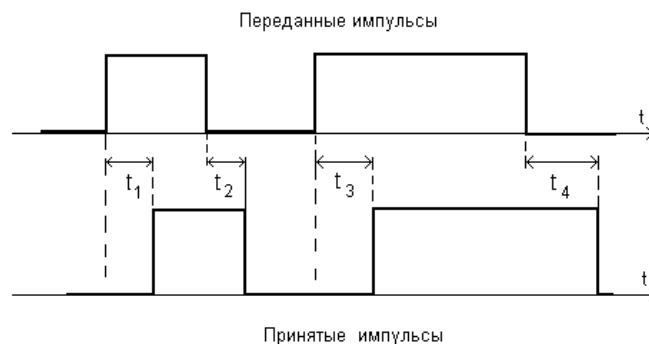


Рисунок 2.2 – Смещение характеристических моментов восстановления

Первый импульс удлинен на $\theta_1 = t_2 - t_1$, а третий укорочен на $\theta_3 = t_3 - t_4$. При бесконечной последовательности импульсов можно считать, что полная зона ДХМВ составляет

$$\theta = t_{\max} - t_{\min},$$

где t_{\max} и t_{\min} соответственно максимальное и минимальное значения смещения ДХМВ относительно ДХММ. θ – **абсолютная величина краевых искажений**. Краевые искажения – это изменение длительности принятых единичных элементов. Удобнее пользоваться **относительной** величиной краевых искажений

$$\delta = \theta / \tau_0 * 100\% = (t_{\max} - t_{\min}) / \tau_0 * 100\% = B (t_{\max} - t_{\min}) * 100\%.$$

Здесь B – скорость передачи, Бод.

Краевые искажения в свою очередь подразделяются на: преобладания $\delta_{пр}$, характеристические $\delta_{хар}$ и случайные $\delta_{сл}$. Если искажения отдельных посылок $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_i$ остаются постоянными во времени (по величине и знаку), то их относят к искажениям, называемыми **преобладаниями**.

Особенностью **характеристических** искажений является зависимость их величины от характера передаваемой последовательности. Длительность посылок на выходе при этом меняется в зависимости от вида предыдущих посылок.

Случайные искажения вызываются обычно помехами и являются случайной величиной, меняющейся во времени. В общем случае принимаемые посылки подвержены действию искажений указанных типов одновременно:

$$\delta_{общ} = \delta_{пр} + \delta_{хар} + \delta_{сл}.$$

Дроблением посылок называется искажение, состоящее в смене полярности сигнала во время передачи посылки. Действие дроблений сопровождается изменением числа ЗХМВ по сравнению с ЗХММ. Момент начала дробления и его продолжительность носит случайный характер (рис.2.6).

Многочисленными исследованиями на проводных КС при передаче двоичной информации установлено, что в большинстве случаев распределение смещений ЗХМВ подчинено нормальному закону распределения. Однако это не исключает возможности иных распределений в других условиях. Кривая плотности вероятности распределения краевых искажений имеет следующий вид:

$$\varphi(\delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\delta - \bar{\delta})^2}{2\sigma^2}\right),$$

где $\bar{\delta}$ – среднее значение краевых искажений ≈ 0 ; σ – среднеквадратичное отклонение.

Распределение длительности дроблений для большинства проводных каналов подчиняется логарифмически-нормальному закону, т. е. по нормальному закону распределена не длительность дроблений, а её логарифм.

$$\varphi(t_{dp}) = \frac{1}{t_{dp}\tilde{\sigma}\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\lg t_{dp} - \tilde{m})^2}{2\tilde{\sigma}^2}\right), \quad 0 < t_{dp} < \infty.$$

Здесь \tilde{m} – математическое ожидание $\lg t_{dp}$, $\tilde{\sigma}$ – среднеквадратичное отклонение $\lg t_{dp}$.

2.2. Регистрация сигналов стробированием

В аппаратуре передачи данных устройства регистрации включаются, как правило, после демодулятора и служат для правильной фиксации единичных элементов при наличии краевых искажений или дроблений. В зависимости от вида искажений применяют стробирование, интегрирование или комбинированный метод регистрации.

Метод стробирования заключается в том, что значение единичного элемента проверяется в момент времени, наименее подверженный искажениям, т.е. в середине посылки, путем подачи на ключевые элементы стробирующего импульса (*строба*). В качестве стробов используются последовательность коротких импульсов с периодом следования τ_0 , вырабатываемое специальной схемой синхронизации. В зависимости от вида информации, поступающей со схемы сравнения демодулятора (однофазной или парафазной), применяют устройства, представленные на рисунках 2.3,а и 2.3,б соответственно.

В случае использования в качестве регистрирующего элемента асинхронного *RS*-триггера функцию стробирования выполняет логические элементы И (рисунок 2.3а). Применение синхронного *RS*-триггера позволяет исключить схемы совпадения И (рисунок 2.3б).

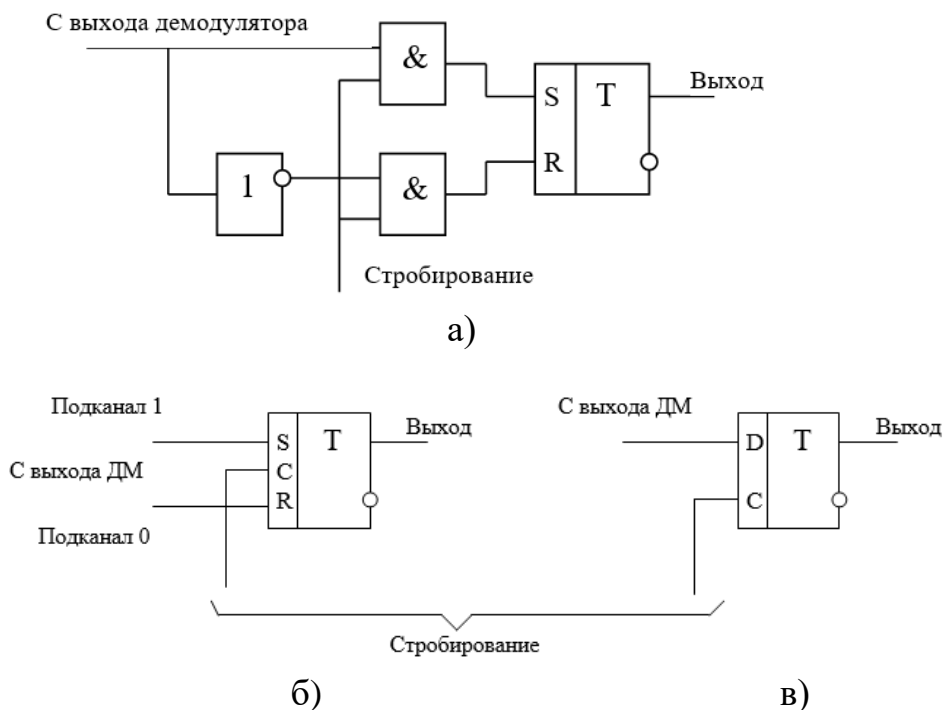


Рисунок 2.3 – Схемы регистрации единичных элементов стробированием

Следует заметить, что использование в качестве регистра синхронного D-триггера (рисунок 2.3,в) позволяет еще более упростить схему (рисунок 2.3,а) путем исключения инвертора. Временная диаграмма функционирования устройства регистрации единичных элементов со стробированием показана на рисунке 2.4.

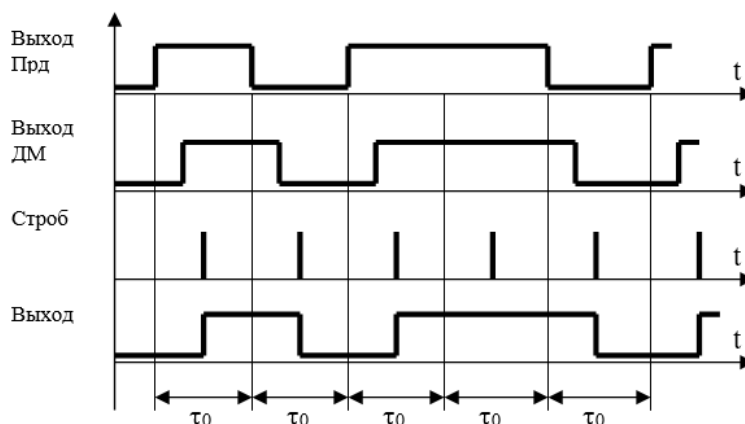


Рисунок 2.4 – Временные диаграммы регистрации единичных элементов стробированием

Важнейшим параметром, определяющим вероятность ошибочной регистрации единичных элементов при наличии искажений, является исправляющая способность устройства $\mu_{эф}$, численно равная максимальной величине искажений, при которой еще осуществляется правильный прием.

Недостатком регистрации стробированием является наличие ошибок при дроблениях сигналов, а именно, при появлении дробления в середине импульса. Для устранения этого недостатка был разработан интегральный способ регистрации единичных элементов.

2.3. Интегральный способ регистрации

Интегральный способ регистрации осуществляется не на основании одного отсчета, взятого в середине посылки, а путем анализа результата интегрирования в течение длительности единичного интервала τ_0 раздробленных частей сигнала, подвергнувшегося искажению. Интегральный способ может быть реализован путем непрерывного интегрирования или дискретного суммирования отсчетов. На рисунке 2.5 приведены функциональная схема, реализующая непрерывный интегральный метод регистрации.

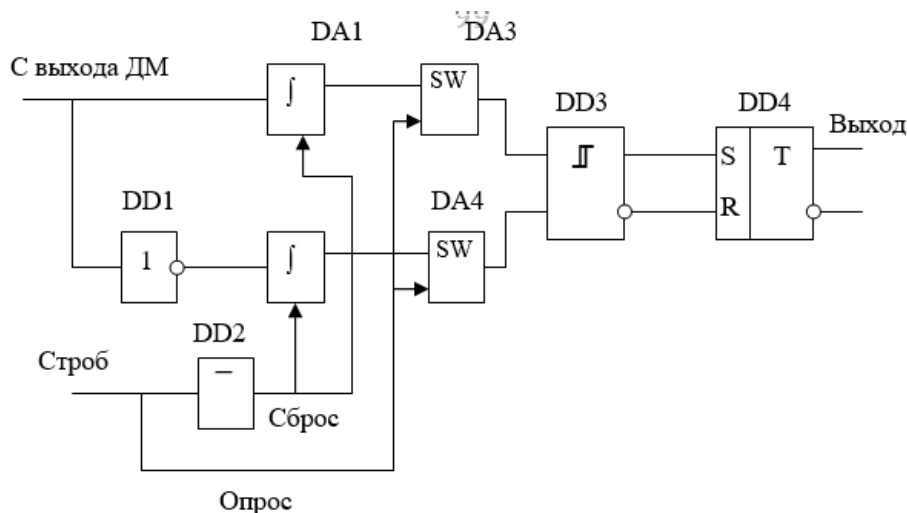


Рисунок 2.5 – Схема регистрации единичных элементов интегрированием

Устройство состоит из двух идентичных подканалов («1» и «0»), состоящих из интеграторов и ключевых элементов. Особенностью схемы является то, что импульс отсчета (строб) должен подаваться до завершения единичного интервала, т.е. в момент времени равный примерно $0,98 \tau_0$, а в следующий момент от $0,98 \tau_0$ до τ_0 необходимо обеспечить сброс (гашение) интеграторов. Для этого на специальные выходы интеграторов подают гасящий импульс, который приводит их в исходное состояние. Импульс сброса сформируется элементом

задержки DD2 путем задержки строга на время регистрации. Следует заметить, что в схеме должны использоваться аналоговые ключи SW и аналоговые схемы сравнения.

Временные диаграммы интегрального способа регистрации единичных элементов показаны на рисунке 2.6. Из диаграмм видно, что наличии на входе интегратора единичного сигнала, напряжение на его выходе линейно возрастает. При нулевом уровне на входе интегратора напряжение на его выходе не изменяется. Для интегрирования логического нуля сигнал на вход интегратора нулевого подканала подается через инвертор. По окончании единичного элемента напряжения интеграторов сбрасываются.

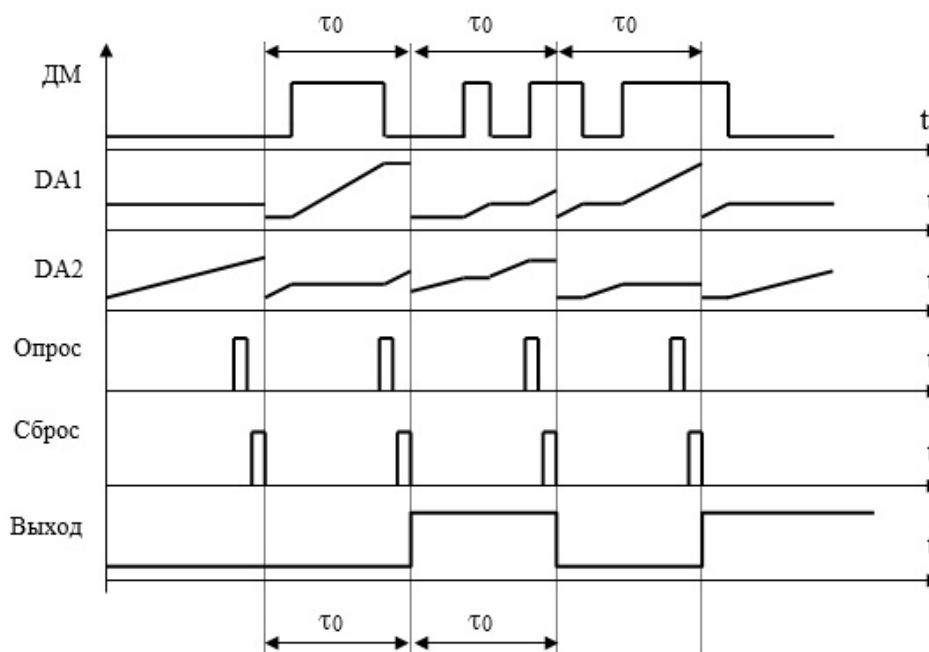


Рисунок 2.6 – Временные диаграммы интегрального способа регистрации

Нетрудно заметить, что при интегральном способе стробирования выходная последовательность сигналов смещается по отношению ко входной на один единичный интервал.

2.4. Комбинированный способ регистрации единичных элементов

В реальных каналах связи зачастую имеют место как краевые искажения, так и дробления сигналов. Эффективным способом защиты сигналов от ошибок в такой ситуации является применение комбинированного способа регистрации, при котором осуществляется многократное стробирование посылок и последующим интегрированием. Причем, вместо непрерывного интегрирования используется дискретное суммирование результата стробирования. При дискретном суммировании отсчетов, поступивший единичный элемент стробируется нечетное число раз (обычно 3-5), а результаты отсчетов накапливаются в

счетчиках импульсов. Решение принимается по правилу большинства. Если в процессе суммирования получено большее количество единичных отсчетов в подканале "1", чем в подканале "0", то принимается решение, что был передан единичный элемент, соответствующий символу логической "1" и наоборот. Дискретное суммирование отсчетов называется еще *комбинированным* методом регистрации.

Функциональная схема, реализующая этот метод, показана на рисунке 2.7. Дискретные отсчеты в подканалах "1" и "0" осуществляется за счет подачи стробирующих импульсов на синхронизирующие входы двоичных счетчиков. Длительность сигнала опроса, а также время задержки элемента "1" должно быть больше суммарного времени задержки схемы и времени переключения выходного триггера.

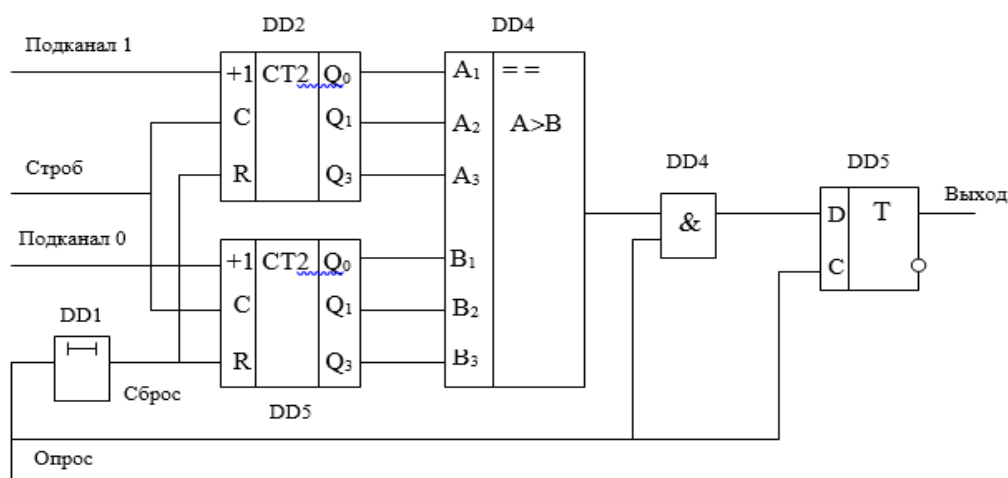


Рисунок 2.7 – Схема регистрации единичных элементов комбинированным способом

В приведенной схеме используется парафазный (одновременно прямой и инверсный) вход, который применяется в случае, если имеется отдельные выходы детекторов подканалов "1" и "0". Если же в приемном устройстве есть только однофазный выход (например, в схеме частотного дискриминатора), то счетный вход 2 в этом случае соединяется со входом 3 через инвертор, как это сделано, например, в схеме с аналоговым интегрированием.

Выигрыш в отношении сигнал/помеха при комбинированном методе пропорционален числу отсчетов на интервале анализа.

2.5. Исправляющая способность приемников

Под исправляющей способностью приемника понимают способность приемного устройства правильно регистрировать единичные элементы сигналов при наличии в них искажений. В зависимости от вида искажений различают исправляющую способность по краевым искажениям и по дроблениям. Количе-

ственно исправляющая способность определяется максимальной величиной искажений, при которых еще возможен правильный прием сигналов. Исправляющая способность, в зависимости от условий ее определения, подразделяется на теоретическую, эффективную и номинальную.

Теоретическая исправляющая способность рассчитывается при идеальных условиях работы приемного устройства. При вычислении *эффективной* исправляющей способности учитываются реальные параметры конкретного приемника (конечная длительность стробирующих импульсов, погрешность синхронизации и др.). *Номинальная* исправляющая способность представляет собой минимальную величину эффективной исправляющей способности, измеренную для группы однотипных приемников.

Теоретическая исправляющая способность при наличии краевых искажений μ_T определяется максимальной величиной искажения, при котором еще возможен правильный прием, т.е. μ_T равна 50%. Эффективная исправляющая способность $\mu_{эфф}$ рассчитывается с учетом длительности строба a и погрешности установки его по отношению к середине единичного элемента ε_c (погрешности синхронизации). Для расчета воспользуемся рисунком 2.8.

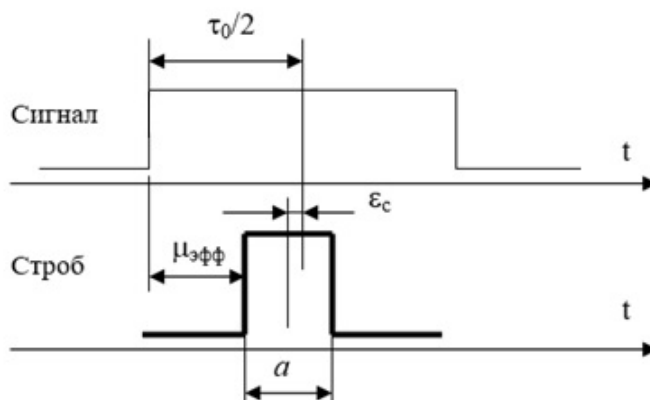


Рисунок 2.8 – Стробирование единичного элемента сигнала в реальных условиях

Из рисунка видно, что

$$\mu_{эфф} = [(\tau_0 - a) / 2 - \varepsilon_c] / \tau_0 .$$

Для расчета исправляющей способности при наличии дроблений воспользуемся временными диаграммами (рисунок 2.8). Отсюда теоретическая исправляющая способность по дроблениям v_T равна $0,98(\tau_0/2) = 49\%$.

При расчете эффективной исправляющей способности по дроблениям $v_{эфф}$ предположим, что сравнение результата интегрирования осуществляется по переднему фронту импульса строба, длительность которого равна a , а сброс интеграторов происходит по заднему фронту строба. В этом случае

$$v_{эфф} = [(\tau_0/2 - a) - \varepsilon_c] / \tau_0 .$$

7. Описание лабораторной установки

В качестве лабораторной установки используется персональный компьютер с установленной системой ISIS пакета моделирования электронных схем Proteus. Схема регистрации единичных элементов в системе ISIS изображена на рисунке 3.1.

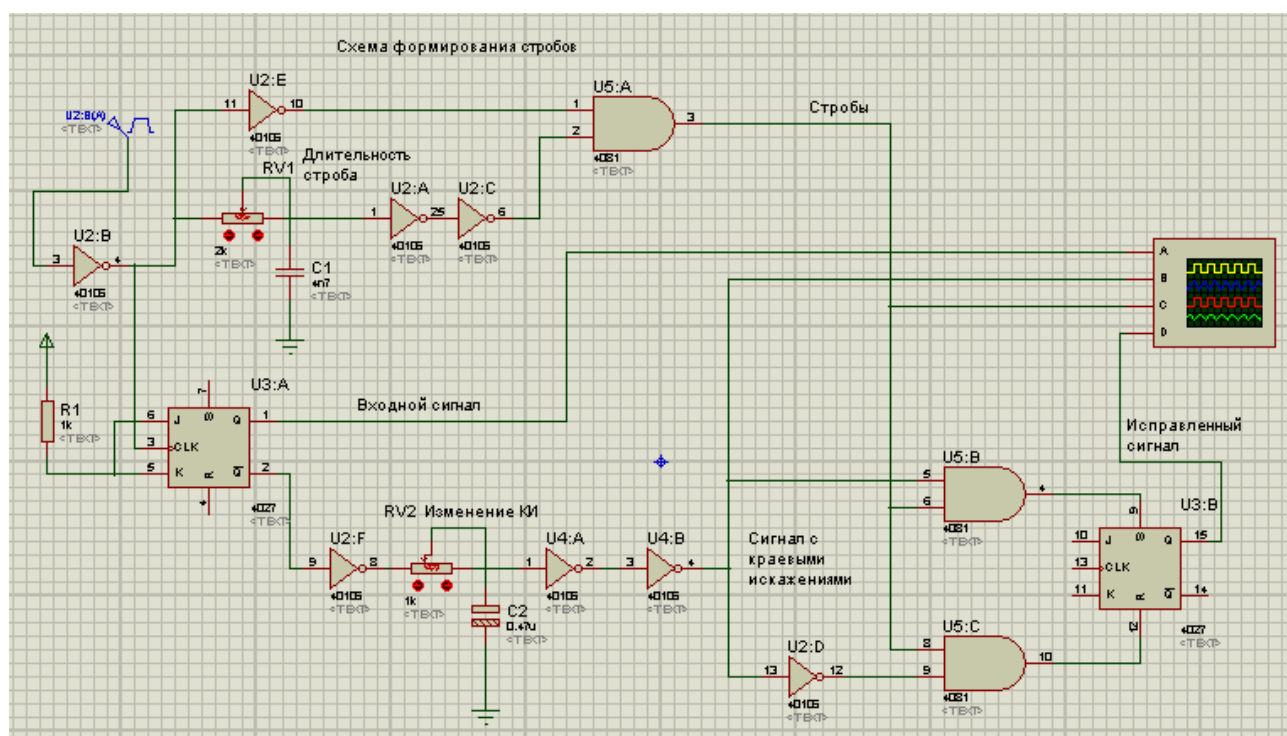


Рисунок 3.1 – Схема исследования способа регистрации цифровых сигналов стробированием

Схема установки состоит из трех частей.

1. Схемы формирования стробирующих импульсов. Она представляет собой дифференцирующую цепочку, выделяющую задний фронт прямоугольных импульсов, следующих с удвоенной частотой (например, 2 кГц) по отношению к частоте импульсов входных данных.

2. Схемы формирования входных сигналов типа 1:1 (триггер U3:A) со схемой, вносящей краевые искажения (интегрирующая цепочка и три инвертора).

3. Схемы регистрации стробированием на основе использования комбинированного триггера в режиме RS-триггера.

8. Программа работы и методические рекомендации

- 3.1 Изучить теоретический материал по видам искажений дискретных сигналов и способам борьбы с искажениями цифровых сигналов (выполняется в процессе домашней подготовки).
- 3.2 Составить схему регистрации единичных элементов способом стробирования, изображенную на рисунке 3.1. В качестве элементной базы использовать интегральные микросхемы серии CMOS 4000: инверторы – микросхема 40106; схема совпадения И – 4081; комбинированный триггер – 4027; переменный резистор типа POT-HG. Емкость конденсатора C1– 4,7 нФ, а C2 – 0,47 мкФ (электролитический). Сопротивления потенциометров 1 кОм.
- 3.3 Запустить процесс моделирования и снять осциллограммы сигналов на выходах каждого элемента. Для устойчивого отображения осциллограмм рекомендуется в качестве источника синхронизации использовать входной сигнал (выход триггера U3:A). Путем установления уровня синхронизирующего сигнала вращением диска Level добиться устойчивого (без подергивания) положения сигналов на экране осциллографа.
- 3.4 Изменяя величину краевых искажений путем изменения положения движка потенциометра RV2 измерить, при какой величине краевых искажений произойдет ошибочная регистрации единичных элементов. в указанных точках, подключив щупы, при различных входных сигналах и занести показания в отчет. Точки снятия отмечены подключённым к ним осциллографом.
- 3.5 Оформить отчёт.

5. Содержание отчета

- 5.7. Титульный лист.
- 5.8. Цель и программа работы.
- 5.9. Схемы устройства регистрации цифровых сигналов.
- 5.10. Результаты измерения величины краевых искажений.
- 5.11. Осциллограммы сигналов в характерных точках.
- 5.12. Выводы

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Какие существуют виды искажений цифровых сигналов и каковы их причины?

- 6.2. Каким образом осуществляется исправление формы сигналов при краевых искажениях?
- 6.3. Начертите схему реализации способа стробирования и объясните её принцип действия?
- 6.4. В чем состоит особенность интегрального способа регистрации единичных элементов и в каких случаях его целесообразно применять?
- 6.5. Начертите схему интегральной регистрации сигналов и объясните её принцип действия.
- 6.6. В чем состоит особенность комбинированного способа регистрации единичных элементов и в каких случаях целесообразно его применять?
- 6.7. Начертите схему комбинированного способа регистрации и объясните её принцип действия?
- 6.8. Что понимается под исправляющей способностью приемника и как она оценивается количественно?
- 6.9. Напишите формулу эффективной исправляющей способности.
- 6.10. Как изменяется исправляющая способность приемного устройства при повышении скорости передачи сигналов?

Список рекомендованной литературы

1. Основы формирования, передачи и приема цифровой информации: Учебное пособие / В. И. Лузин, Н.П. Никитин, В.И. Гадзиковский. - М.: СОЛОН-Пр., 2014. - 316 с.: 70x100 1/16. (обложка) ISBN 978-5-321-01961-0. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=493066>
2. Сети и телекоммуникации: учебник и практикум для академического бакалавриата / Под ред. К.Е. Самуйлова, И.А. Шалимова, Д.С. Кулябова. — М.: Изд-во Юрайт, 2016. — 363 с. <https://biblio-online.ru/book/seti-i-telekommunikacii-432824>
3. Proteus по-русски. Радиоежегодник, 2013. Выпуск 24. — 443 с. <http://www.radioprofessional.info/radioezhegodnik-vypusk-24.php>
4. Чернега В.С. Расчет и проектирование технических средств обмена и передачи информации / В.С. Чернега, В.А. Василенко, В.Н. Бондарев. — М.: Высш. шк., 1990. — 224 с.
5. Чернега В.С. Компьютерные сети / В.С. Чернега, Б. Платтнер. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. — 500 с.