

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

(институт)

Промышленная электроника

(кафедра)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника

(направленность (профиль))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему **Цифровые формирователи и генераторы временных
интервалов рециркуляционного типа**

Студент (ка)

Б. Е. Соколов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Г. Н. Абрамов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультант

Н. В. Андрюхина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

Аннотация

Объем 47 с., 9 рис., 20 источников

Целью бакалаврской работы служит детализированный анализ работы и характеристик следующих способов и средств цифрового формирования и генерирования временных интервалов рециркуляционного типа: формирователей калиброванных по длительности импульсов; преобразователей код – время повышенной точности и быстродействия; формирователей временных интервалов с наносекундной разрешающей способностью; генераторов с отдельной цифровой регулировкой частоты и фазы импульсов.

Определены основные технические параметры (быстродействие, погрешность преобразования, динамический диапазон преобразования) рассмотренных формирователей и генераторов.

Рассмотренные формирователи и генераторы рециркуляционного типа обладают простой структурой, технически реализуются на цифровых интегральных микросхемах, имеют малое энергопотребление и рекомендуются к применению в современных информационно – измерительных и телекоммуникационных системах, а также аппаратуры метрологического обеспечения, что подчеркивает актуальность темы бакалаврской работы.

Abstract

When solving practical problems in many areas of science and technology, for example, radiolocation, telecommunications, computing and control technology, there is a need for the generation (generation) of time intervals with a duration value ranging from tenths of a few seconds to a few seconds with a low error, mechanical shocks, vibrations, temperature changes, etc.

A classical and widely used method for generating a time interval (VI), assuming digital control of the value of its duration, is a direct count of the impulses of the sample generator, whose operation is synchronized by the trigger signal.

The process of formation of the VI terminates when the counter reaches a predetermined numerical value.

The purpose of the bachelor's work is a detailed analysis of the operation and characteristics of the following methods and means of digital generation and generation of time intervals of recirculation type: calibrated pulse formers; converters code - time of increased accuracy and speed; time interval generators with nanosecond resolving power; generators with separate digital frequency control and pulse phase.

The main technical parameters (speed, conversion error, dynamic range of conversion) of the shapers and generators considered are determined.

The considered generators and generators of recirculation type have a simple structure, are technically implemented on digital integrated circuits, have low power consumption and are recommended for use in modern information and measuring and telecommunication systems, as well as metrological support equipment, which emphasizes the relevance of the topic of bachelor's work.

Содержание

Введение.....	5
1. Классификация цифровых формирователей и генераторов временных интервалов рециркуляционного типа.....	6
2. Формирователь калиброванных по длительности импульсов рециркуляционного типа.....	10
3. Рециркуляционный преобразователь код – время с повышенной точностью и быстродействием.....	13
4. Быстродействующий рециркуляционный преобразователь кода во временной интервал.....	20
5. Рециркуляционный формирователь временных интервалов с наносекундной разрешающей способностью.....	28
6. Рециркуляционный генератор с отдельной цифровой регулировкой частоты и фазы импульсов.....	33
Заключение.....	45
Список используемой литературы	46

Введение

При решении практических задач во многих областях науки и техники, например, радиолокации, телекоммуникаций, вычислительной и управляющей техники, есть необходимость в формировании (генерировании) временных интервалов со значением длительности в диапазоне от десятых долей до нескольких секунд с низкой погрешностью, причем в условиях действия механических ударов, вибраций, температурных изменений и т.д.

Классическим и широко распространенным методом генерирования временного интервала (ВИ), предполагающее цифровое управление значением его длительности, служит прямой подсчет импульсов образцового генератора, работа которого синхронизируется сигналом запуска.

Процесс образования ВИ заканчивается при достижении счетчиком импульсов некоторого наперед заданного цифрового значения.

Без учёта погрешности формирующих каскадов, значение длительности генерируемого ВИ равен произведению $N \times T_0$, где N и T_0 — соответственно, количество импульсов подсчитанное счетчиком импульсов и период следования образцового генератора.

В точном генераторе – формирователе ВИ крайне востребован синхронный запуск образцового генератора, что является сложной проблемой, так как релаксационные генератора не обеспечивают стабильного периода следования своих импульсов, а стабилизированный кварцевым резонаторным элементом генератор не обеспечивает старт - стоповый режим работы.

Таким образом, задача формирования временных интервалов с высокой точностью и быстродействием, представляется широко востребованной в ряде отраслей науки и техники и, следовательно, решение ее является актуальным.

1. Классификация цифровых формирователей и генераторов временных интервалов рециркуляционного типа

Цифровые формирователи или преобразователи код - время (ПКВ) по характеру рециркуляции классифицируются на: преобразователи с простой и прогрессирующей рециркуляцией, а также с применением совместно с этими типами рециркуляции способа временной задержки совпадений (Рисунок 1.1).

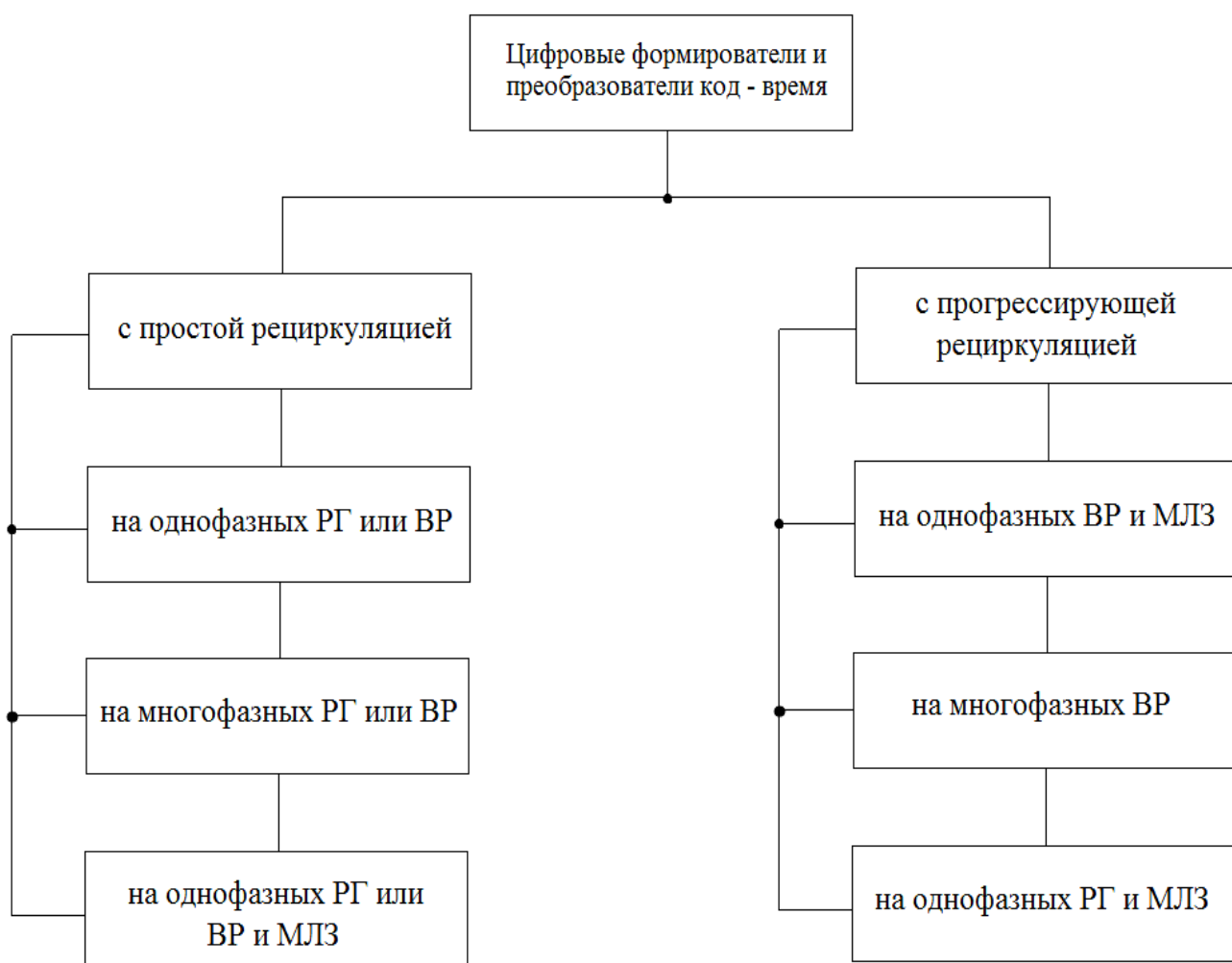


Рисунок 1.1 - Классификация цифровых преобразователей и формирователей временных интервалов

ПКВ с прогрессирующим характером (принципом) рециркуляции основаны на рециркуляции образцового ВИ, значение длительности которого строго определена и равна t_0 , во временном рециркуляторе (устройстве с положительной обратной связью (ОС) или рециркуляционном генераторе (устройстве с отрицательной ОС).

ВИ может быть представлен, в рециркуляторе, в виде одного или двух прямоугольных импульсов с калиброванной длительностью t_n и t_k , которые соответствуют началу и концу преобразуемого ВИ.

При каждой рециркуляции ВИ увеличивают на значение образцовой длительности τ , представляющей собой дискретность преобразования. Продолжительность преобразуемого ВИ, определяет количество совершенных рециркуляций n_t , с момента начала преобразования ВИ и до момента окончания рециркуляций.

Цифровые формирователи ВИ с прогрессирующим принципом рециркуляции основаны на преобразовании кода во ВИ, путем циркуляции прямоугольного импульса исходной образцовой длительности t_0 , во временном рециркуляторе (ВР) с последовательным расширением его длительности на значение дискретности преобразования Δt .

Рециркуляция происходит, пока зафиксированное число рециркуляций, не приравняется к значению преобразуемого кода.

Значение длительности Δt выбирается из необходимой точности преобразования и является по существу дискретностью преобразования.

При 1-ой рециркуляции на выходе ВР генерируется импульс, длительностью равной

$$tx_1 = t_0 + t_{эз},$$

где время задержки $t_{эз} = \Delta t$ создается элементом задержки, который должен обладать высокой стабильностью и вносить минимальные искажения.

При 2-ой рециркуляции на выходе ВР формируется уже импульс, длительность у которого

$$tx_2 = tx_1 + t_{эз}.$$

Так, с каждой рециркуляцией исходный импульс длительностью t_0 , последовательно увеличивается на одну и ту же величину $t_{\Sigma} = \Delta t$.

В случае цифрового преобразования код - время с простым характером рециркуляции старт - импульс, длительностью t_0 , подается на «Вход» временного рециркулятора ВР, в котором за время преобразования вырабатывается импульсная последовательность с периодом следования равной T_p и скважностью описываемой отношением T_p / t_0 .

Далее фиксируется число импульсов этой импульсной последовательности, до момента времени её совпадения с цифровым значением заданной длительности временного интервала.

Временной интервал длительностью Δt_x являющийся временным промежутком между передним фронтом старт - импульса и передним фронтом того импульса импульсной последовательности, который оказался последним в момент совпадения, будет служить результатом преобразования кода во временной интервал.

Цифровые формирователи временных интервалов с прогрессирующим характером рециркуляции и с использованием задержки совпадений, преобразовывают установленное значение кода во временной интервал, путем генерации прямоугольного образцового импульса, в одном формирователе длительности

По приходу прямоугольного импульса образцовой длительности t_0 во временной рециркулятор, стартует процесс рециркуляции.

При 1-ой рециркуляции на выходе воспроизводится импульс длительностью

$$t_{x1}^I = \Delta t.$$

При 2-ой рециркуляции, воспроизводится импульс длительностью

$$t_{x2}^I = t_{x1}^I + t_{\Sigma 30} = 2\Delta t,$$

где $t_{\Sigma 30}$ - время задержки ЭЗ, при этом необходимо, чтобы

$$t_{\Sigma 30} = \Delta t,$$

а ЭЗ должен иметь как можно меньше искажений при задержке расширенных импульсов и обладать большой стабильностью.

Так, с каждой рециркуляцией исходный импульс длительностью t_0 последовательно расширяется на одну и ту же величину $t_{ЭЗ0} = \Delta t$.

Далее осуществляется подсчет количества рециркуляций.

Процесс рециркуляции в ВР, осуществляется до временного момента совпадения количества рециркуляций со значением преобразуемого кода.

В случае цифрового преобразования кода во временной интервал с простым характером рециркуляции, стартовый импульс длительностью t_0 подается в ВР.

В котором на m выходе его m - выводной ЛЗ вырабатывается последовательность импульсов

$$F_0(t) = f(t_0 + nT_p),$$

где n – количество рециркуляций в ВР, а $T_p < t_x$, здесь t_x - длительность результата преобразования код – время (ПКВ).

Вместе с тем на $(m-1)$ выходах m - выводной ЛЗ временного рециркулятора генерируются последовательность импульсов

$$F_{лз}(t) = F_0(t) + i \Delta t \times \tau,$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, m-1$ с дискретностью задержки Δt .

По приходу стопового импульса $t_{ст}$, фиксирующего совпадение рециркулирующей импульсной последовательности с цифровым значением преобразуемого кода, процесс рециркуляции в ВР заканчивается и в выходном триггере фиксируется результат ПКВ.

Далее происходит фиксация совпадения последовательностей импульсов $F_{лз}(t)$ с стоповым импульсом $t_{ст}$ и по порядковому β номеру $(m - 1)$ - входного регистра хранения, который первым отметил момент совпадения, определяется уже уточняется результат преобразования код - время.

Функция преобразования кода во временной интервал в данном случае выглядит как

$$t_x = t_0 + nT_{ст} + \beta \tau.$$

Полагая, что

$$t_0 = \eta \Delta t,$$

где η - цифровое значение длительности t_0 стартового импульса, который участвует в ПКВ, устанавливается при его настройки, результат преобразования находится как

$$t_x = (\eta + n \cdot m + \beta) \times \Delta t = N \cdot \Delta t.$$

При этом время за которое осуществляется преобразование кода во временной интервал $T_{пр} = t_x$.

2. Формирователь калиброванных по длительности импульсов рециркуляционного типа

Данный формирователь может использоваться для формирования импульсов калиброванной длительности при метрологической аттестации приборов, измеряющих временные интервалы.

Из наиболее близких к изобретению устройств, известен формирователь импульсов, который содержит кольцевое устройство сдвига, триггер и два элемента совпадения [1÷3].

Недостаток его заключается в низкой точности формирования и невозможности регулировать длительность выходных импульсов.

Формирователь импульсов рециркуляционного типа (РФИ) (Рисунок 2.1) функционирует следующим образом.

На шину «Уст.» поступает импульсный сигнал, который переключает триггеры (ТГ) 6 и 5 в устойчивые состояния, при этом, на элемент И 8 подается запрещающий импульс с выхода ТГ 5, а импульсом с выхода ТГ 6 открывается элемент ИЛИ 4.

Сигнал установки, также записывает в счетчик 7 значение обратного кода N , пропорционального значению длительности импульса, который будет сформирован в результате ПКВ.

Счетчик импульсов (СИ) 7 установится в состояние $(Q - N)$, где Q – емкость счетчика 7, а N – обратный код.

Импульс τ_0 калиброванной длительности подается на вход формирователя.

Этот импульс через логическую схему ИЛИ 3 приходит на счетчик 7, уменьшая при этом на единицу, в нем записанный обратный код.

Счетчик 7 меняет свое состояние задним фронтом выходного импульса схемы ИЛИ 3.

Данный импульс τ_0 также приходит на один из двух входов схемы ИЛИ 4 напрямую, а на другой вход схемы ИЛИ 4 посредством устройства задержки (ЭЗ) 2.

Так, на оба входа схемы ИЛИ 4 поступают импульсные сигналы длительностью τ_0 , однако смещенные относительно друг друга на время задержки Δt .

Если на 3-ем входе схемы ИЛИ 4 появиться разрешающий уровень, то она создаст на своем выходе импульс со значением длительности равным $\tau_0 + \Delta T$, который через ЭЗ 1 поступит на 2-ой вход ИЛИ 3.

Процесс циркуляции импульса дальше в каждом из циклов, увеличивающемся на величину ΔT , происходит до момента времени переполнения счетчика импульсов 7.

То есть, процесс циркуляции импульса τ_0 в замкнутом контуре (временном рециркуляторе (ВР), выполненным на элементах 3, 2, 4, 1) прекратится, когда этот импульс приобретёт N приращений величиной ΔT .

Для этого, когда счетчик импульсов 7 достигнет состояния $(Q-1)$ триггер ТГ 5 переключается во 2-е логическое состояние и открывает элемент И 8.

ТГ 5 переключается по заднему фронту импульса, который соответствует состоянию $Q - 1$ счетчика импульсов 7.

Это является свидетельством того, что в контуре циркуляции произошло $N-1$ циклов.

Т. о., к началу N-го цикла элемент И 8 открывается и N - ый импульс идет на выход ПКВ и переводит ТР 6 во 2-е состояние устойчивости, при котором заканчивается рециркуляционный процесс.

При этом значение длительность выходного импульса ПКВ рециркуляционного типа $\tau_{\text{ВЫХ}} = N \times \Delta T + T_0$.

Величина задержки T_3 элемента задержки ЭЗ 1, устанавливает верхнюю границу динамического диапазона длительностей формируемых импульсов, нижняя граница которого определяется величиной τ_0 , то есть $T_3 > \tau_{\text{ВЫХ}} > \tau_0$

РФИ без увеличения объема оборудования позволяет достичь увеличения точности формирования импульсов по длительности до десятых долей наносекунды.

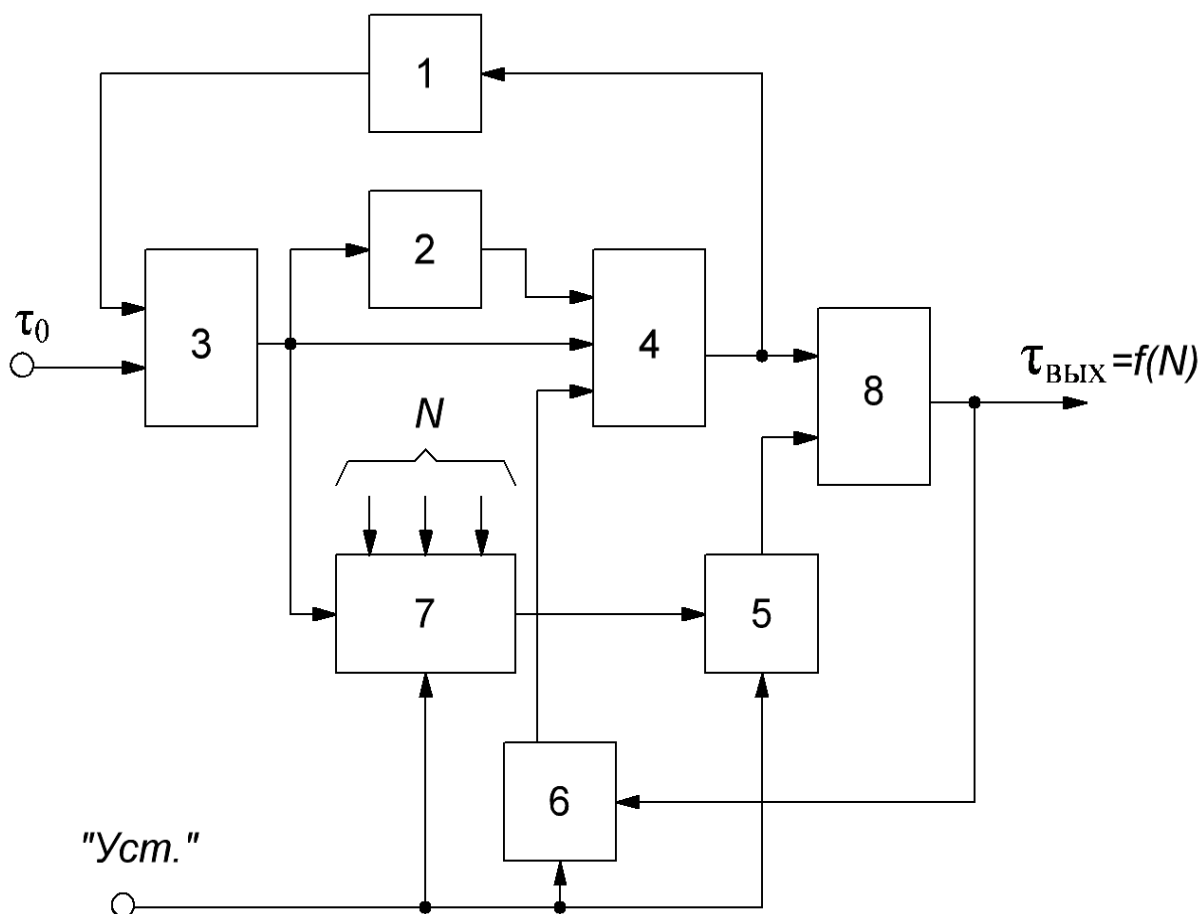


Рисунок 2.1 – Формирователь калиброванных импульсов рециркуляционного типа

3. Рециркуляционный преобразователь код – время с повышенной точностью и быстродействием

Данное устройство может использоваться для точного преобразования кода в значение длительности импульсных сигналов наносекундного диапазона в радиолокации, экспериментальной физике и промышленной электронике.

Целью его технического решения, служит упрощение процесса преобразования при сохранении его высокой точности.

На рисунке 3.1 приведена схема структурная рециркуляционного преобразователя кода во временной интервал (РПК во ВИ); на рисунке 3.2 — то же самое, но с другим вариантом возможного исполнения счетного устройства.

Опишем функционирование РПК во ВИ.

Перед стартом преобразования составные узлы счетного устройства 5 (регистр 16 и счетчик 14, либо реверсивный счетчик 19 и счетчик 17) устанавливаются на нулевой логический уровень сигналом установки. Триггер 11 при этом по инверсному и прямому выходам устанавливается в логические состояния, соответственно "Лог. 1", и "Лог.0".

Таким образом происходит закрывание элемента И 10 и открывание элемента И 1. После этого на клеммах 13 выставляется значение преобразуемого кода, который далее поступает на счетное устройство 5, от исполнения которого зависит, куда записывается значение кода, либо в регистр 16 памяти (Рисунок 3.1), либо в реверсивный 19 счетчик через блок элементов НЕ 18 (Рисунок 3.2).

При появлении сигнала "Запуск" на клемме 7, формирующее устройство 9 формирует прямоугольный импульсный сигнал с калиброванным значением длительности Δt .

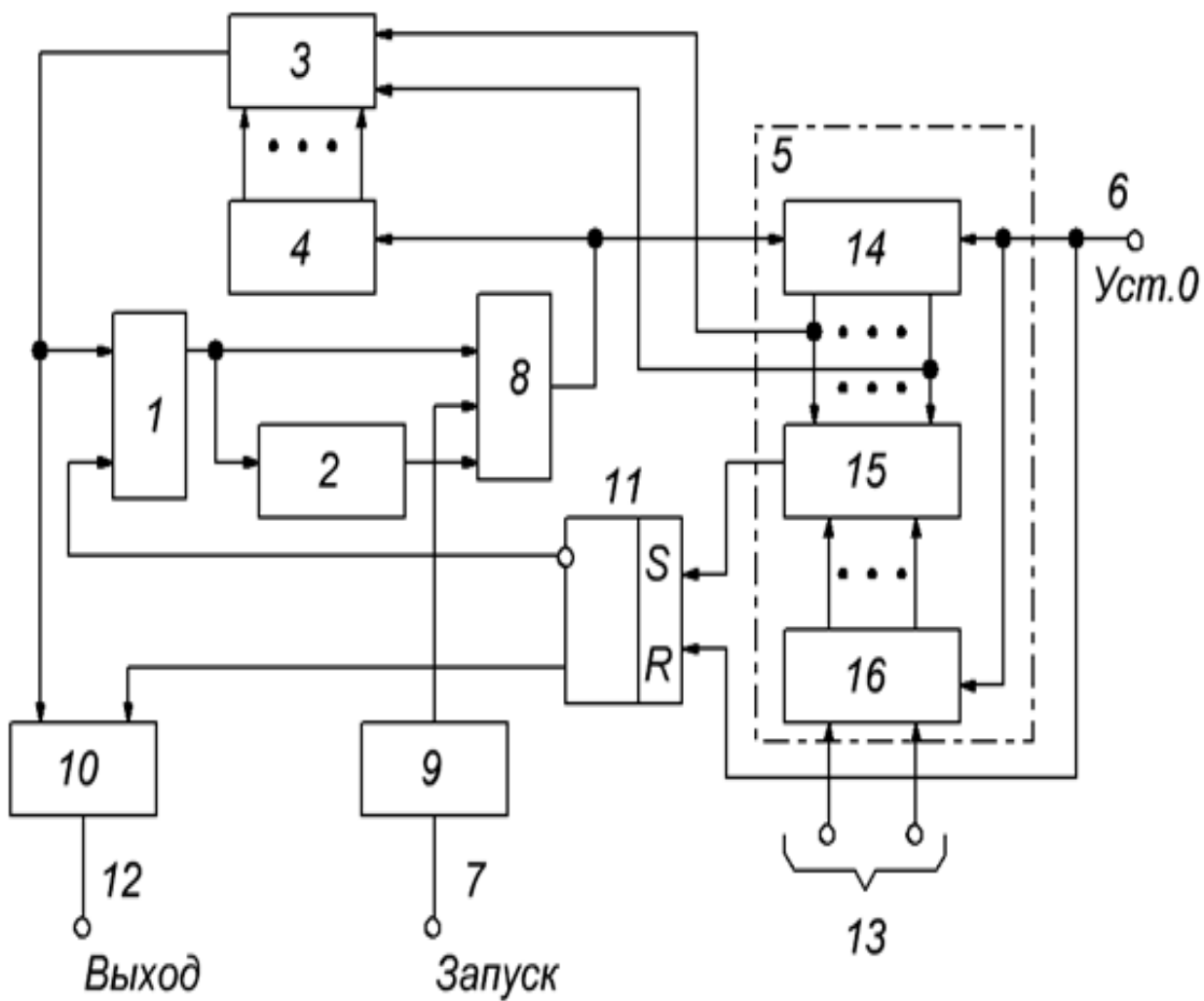


Рисунок .3.1 - Структурная схема РПК во ВИ

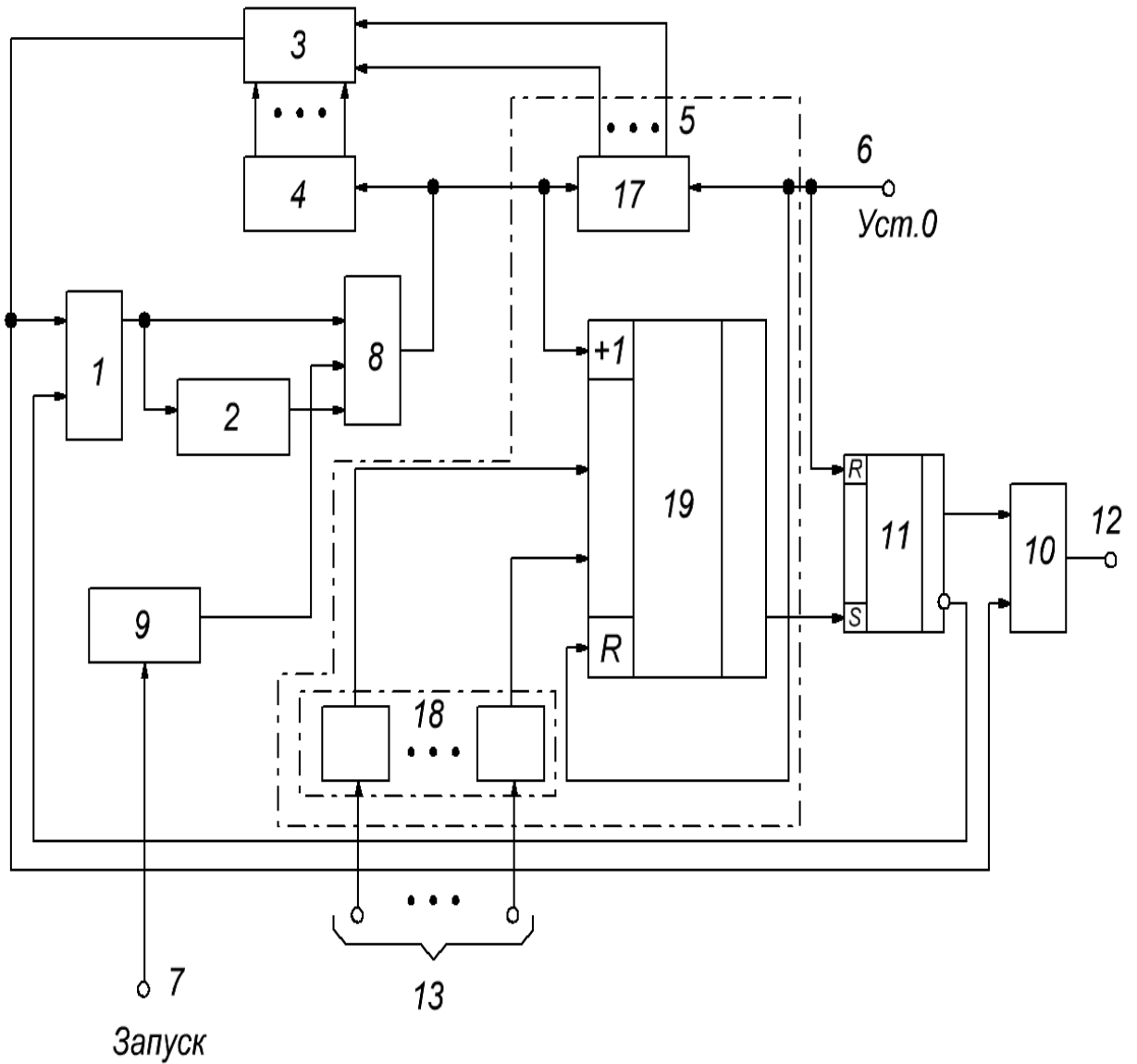


Рисунок 3.2 – Схема структурная РПК во ВИ, с другим вариантом исполнения счетного устройства

Значение длительности Δt выбирается исходя, из нужной точности преобразования и устанавливает дискретность преобразования.

Этот импульс Δt вводится в цепь циркуляции (далее во временной рециркулятор), который состоит из элементов И 1, ИЛИ 8, цифрового устройства задержки (ДЭЗ) 4 и селектора-мультиплектора 3.

После его ввода начинается осуществляться рециркуляционный импульсный процесс.

При 1-ой рециркуляции на выходе ИЛИ 8 генерируется импульс длительностью

$$t_{x_1} = \Delta t + t_{эз_1} = 2\Delta t,$$

где $t_{эз_1}$ - время задержки ЭЗ 2, причем необходимо, чтобы

$$t_{эз_1} = \Delta t.$$

Необходимо, чтобы ЭЗ 2 обладал высокой стабильностью и вносил минимальные искажения.

При 2-ой рециркуляции выход схемы ИЛИ 8 формирует импульс, длительность которого равна

$$t_{x_2} = t_{x_1} + t_{эз_1} = 3\Delta t.$$

В виду того, что в процессе рециркуляции исходный импульс длительностью Δt последовательно увеличивается на одну и ту же величину

$$t_{эз_1} = \Delta t.$$

Счетчик импульсов (блок 14(17)) счетного устройства 5 подсчитывает число рециркуляций, при этом селектор-мультиплексор 3 по ходу работы счетчика импульсов (блок 14(17)) счетного устройства 5 последовательно переключает отводы ДЭЗ 4.

ДЭЗ 4 выполнен с n отводами, где

$$N = 2^m - 1;$$

$$m = \lceil \log_2(N_{\max} + 1) \rceil;$$

m – количество разрядов, которые имеет счетчика импульсов (блок 14(17));

N_{\max} – наивысшее значение входного кода, который подвергается ПКВ.

При этом дискретность задержки, между отводами, должна быть

$$t_3 > 2\Delta t.$$

А временная задержка ДЭЗ 4, то есть, от 1-го отвода до n-го, равно

$$T = n \times t_3,$$

также необходимо учитывать, чтобы

$$T > N_{\text{макс}} \times \Delta t.$$

Логика коммутации выводов многовыводного ДЭЗ 4 состоит в следующем. Например, после 1 - ой рециркуляции СИ (блок 14(17)) фиксирует число, равное логической единице.

Блок 14(17) с помощью селектора-мультиплексора 3 (СМ 3) соединяет первый вывод многовыводного ДЭЗ 4 (который имеет задержку t_3) с первым входом И 1.

Поэтому импульс, длительность которого равна

$$t_{x_1} = 2\Delta t$$

задерживается в многовыводном ДЭЗ 4 на время t_3 .

После 2-ой рециркуляции импульс длительностью

$$t_{x_2} = t_{x_1} + t_{эз_1} = 3\Delta t$$

задерживается в многовыводном ДЭЗ 4 уже на $2t_3$.

По мере роста количества рециркуляций, а соответственно, и содержимого счетчика импульсов 14(17), СМ 3 производит коммутацию выводов ДЭЗ 4, то есть регулирование его временной задержки -- периода рециркуляции от величины t_3 до величины $n \times t_3$.

Рециркуляция происходит, до той поры пока количество рециркуляций, зафиксированное в счетном блоке 5, не сравняется со значением цифрового кода на клеммах 13, например β (где $\beta \in [N_{\text{мин}} - N_{\text{макс}}]$; $N_{\text{мин}}$ минимальное значение этого кода) $[4 \div 6]$.

В первом варианте исполнения счетного устройства 5 (Рисунок 3.1) время равенства кода, записанного в регистр 6, с числом, зафиксированным в счетчике импульсов 14, фиксируется блоком сравнения кодов 15.

Сигнал на его выходе, пройдя через триггер 11, формирует сигнал разрешения на 2 - ой схему И 10.

А импульсный сигнал с длительностью

$$tx_{\beta} = \beta \Delta t$$

приходит с выхода СМ 3 на клемму 12 выхода, и одновременно с этим, на инверсном выходе триггера 11 создается импульсный сигнал, закрывающий элемент И 1.

Время преобразования определяется выражением:

$$T_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{макс}}} t_{\text{ци}},$$

где $t_{\text{ци}}$ - период, соответствующий рециркуляции.

Так как

$$t_{\text{ци}1} = t_3;$$

$$t_{\text{ци}2} = 2t_3;$$

$$t_{\text{ци}3} = 3t_3; \dots; t_{\text{ци}} = nt_3,$$

то

$$T_{\text{пр}} = \frac{n(n+1)}{2} t_3.$$

Ввиду того, что

$$n = 2^m - 1 = 2^{\log_2(N_{\text{макс}} + 1)} - 1 = N_{\text{макс}}, T_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{макс}}(N_{\text{макс}}+1)}{2} t_3.$$

Согласно значениям преобразуемого кода, который подвергается ПКВ, динамический диапазон выходных импульсов преобразователя будет равен

$(tx_{\text{мин}} - tx_{\text{макс}})$, где

$$tx_{\text{мин}} = \Delta t;$$

$$tx_{\text{макс}} = N_{\text{макс}} \Delta t.$$

При другом варианте исполнения счетного устройства 5 (Рисунок 3.2) преобразователь работает также как и рассмотренный, только с той разницей, что преобразуемый код, после инвертирования в блоке элементов НЕ 18, закладывается в реверсивный счетчик 19.

Счет числа рециркуляций при этом происходит по входу суммирования реверсивного счетчика (РСТ) 19 до момента времени появления на его выходе импульса переполнения.

Этот импульс переполнения переустанавливает триггер 11 и производит вывод из временного рециркулятора (ВР) на клемму 12 импульса, длительность которого представляет собой результату ПКВ.

Блок элементов НЕ 18 можно исключить.

Тогда преобразуемый код напрямую подается на входы предварительной записи РСТ 19.

В этом случае счет числа рециркуляций будет происходить по входу вычитания реверсивного счетчика до момента, когда появиться на его выходе сигнал обнуления.

Этот сигнал обнуления с помощью триггера 11 производит вывод результата преобразования кода в длительность импульса из временного рециркулятора.

4. Быстродействующий рециркуляционный преобразователь кода во временной интервал

Рассматриваемый ниже рециркуляционный ПКВ может применяться для создания источников кодоуправляемых образцовых временных интервалов (ВИ) наносекундной длительности.

На рисунке 4.1 приведена структурная схема рециркуляционного ПКВ.

Его отличительная особенность заключается в повышенном быстродействии преобразования.

Преобразователь функционирует по следующему алгоритму.

Вначале каждого из преобразований входящий сигнал установки, устанавливает счетное устройство 10 на нулевой уровень, а RS - триггер 4 по инверсному и прямому выходу устанавливается в единичное и нулевое состояние, соответственно.

В результате закрывается И 2 и открывается И 1.

После этого на клеммах 9 устанавливается и удерживается до окончания преобразования преобразуемый код, которое описывается m разрядами позиционного двоичного кода (ПДК), при этом на клеммах 9_0 фиксируется m_0 старших разрядов (СР), а на шинах 9_1 — m_1 младших разрядов (МР).

При появлении на шине 8 сигнала, формирователь 7 генерирует прямоугольный образцовый импульс длительности

$$\Delta t_1 = 2^{mt} \Delta t,$$

а формирователь 15

$$\Delta t_2 = \Delta t.$$

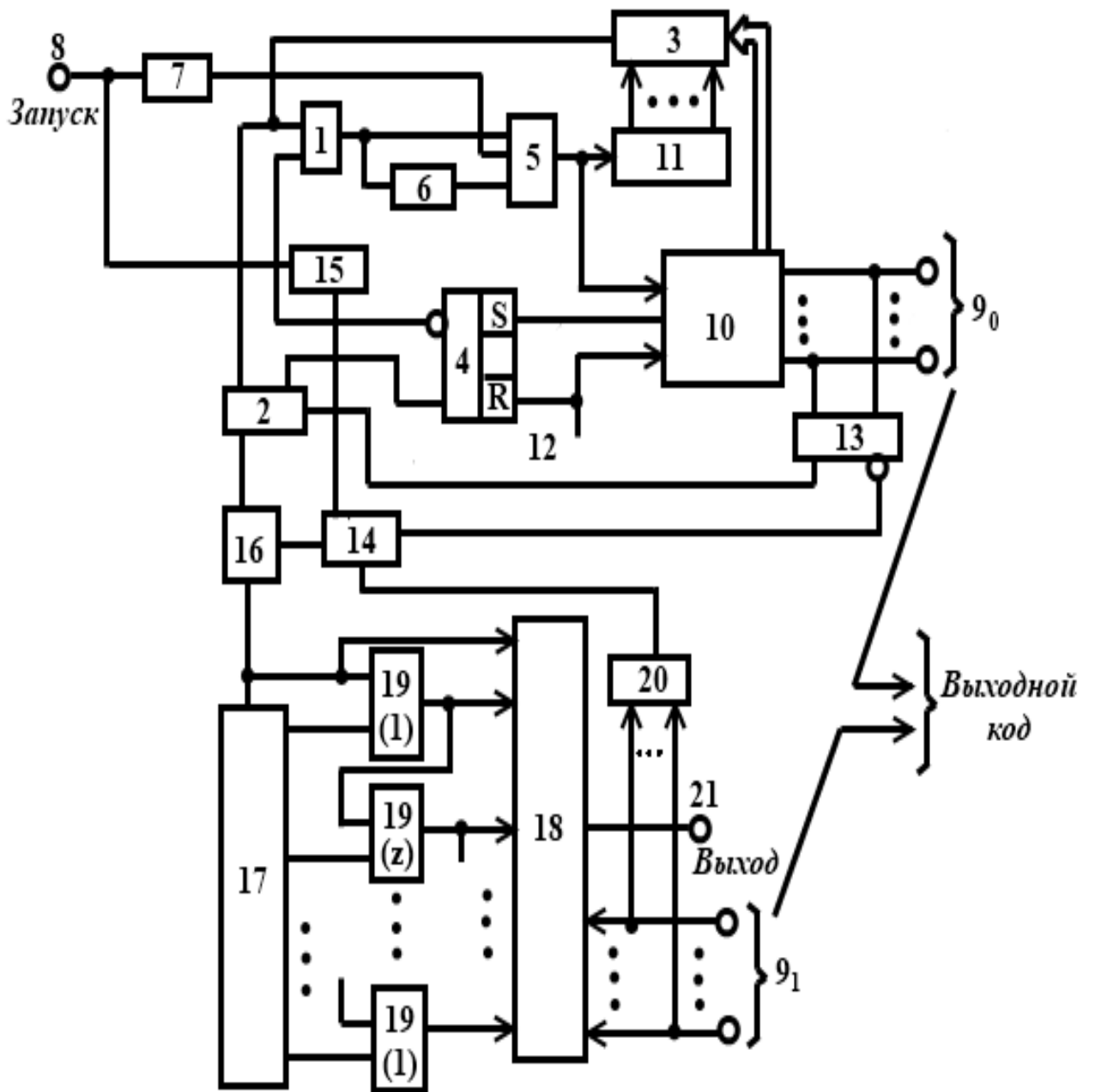


Рисунок 4.1 – Схема структурная РПК во ВИ.

Значение Δt выбирается исходя из нужной дискретности ПКВ (преобразования цифрового кода во ВИ).

Приходящий импульс образцовой длительности Δt_1 подается во временной рециркулятор (ВР), сгенерированный первым элементом ИЛИ 5,

селектором - мультиплексором 3, ДЭЗ 11, И 1 и устройством задержки (УЗ) 6, после этого начинается рециркуляционный процесс.

При 1 - ой рециркуляции на выходе ИЛИ 5 воспроизводится импульс длительностью

$$t_{x1}^I = \Delta t_1.$$

На выходе ИЛИ 5, при 2-ой рециркуляции, воспроизводится импульс длительностью

$$t_{x2}^I = t_{x1}^I + t_{\text{ЭЗ}6} = 2\Delta t_1,$$

где $t_{\text{ЭЗ}6}$ - время задержки УЗ 6,

при этом необходимо, чтобы

$$t_{\text{ЭЗ}6} = \Delta t_1,$$

а УЗ 6 должен обладать низкой временной нестабильностью и минимальными искажениями при задержке импульсов.

Так образом, в каждой из рециркуляций исходный импульс образцовым значением длительности Δt_1 на одну и ту же величину последовательно расширяется $t_{\text{ЭЗ}6} = \Delta t_1$.

Подсчет рециркуляций осуществляется счетным блоком (СЧБ) 10, а последовательная коммутация выводов ДЭЗ 11 — селектором-мультиплексором (СМ) 3. ДЭЗ 11 выполнен с

$N = 2^{m_0} - 1$ выводами (m_0 — количество разрядов СЧБ 10), время задержки между выводами

$$t_3 > \Delta t_1.$$

Полное время задержки ДЭЗ11 от 1-го отвода до n-го:

$$T_0 = n t.$$

Логика коммутации выводов ДЭЗ11 следующая: например, при 1-ой рециркуляции в СЧБ 10 по счетному входу фиксируется число, равное

единице, которое с помощью посредством СМ 3 подсоединяет первый отвод ДЭЗ 11 с первым входом схемы И 1.

В связи с этим импульсный сигнал с длительностью

$$t_{x1}^I = \Delta t_1$$

задерживается в ДЭЗ11 на время t .

При 2 - ой рециркуляции импульс длительностью

$$t_{x2}^I = t_{x1}^I + t_{\text{ЭЗ0}} = 2\Delta t_1$$

задерживается в ДЭЗ 11 на время $2t$.

Таким образом, в процессе возрастания количества рециркуляций, а значит и, по ходу повышения содержимого СЧБ 10, СМ 3 осуществляет последовательное изменение времени его задержки (изменение периода рециркуляции ВР) от величины t до величины $n \times t$, переключением отводов ДЭЗ 11.

Процесс рециркуляции в ВР, идет до тех пор, пока количество рециркуляций, зафиксированное в СЧБ 10, не станет равным значению преобразуемого кода m_0 (СР) [7, 9].

Когда произойдет равенство, на информационном выходе СЧБ 10 возникнет импульс, который с помощью RS - триггера 4 выработает разрешающий сигнал элементу И 2 и запрещающий — элементу И 1, т.е. И 1 закроется, и процесс рециркуляции в ВР прекратится, а И 2 откроется, и на его выходе выработается импульс с значением длительности

$$t_{x\beta} = \beta \Delta t_1, \text{ где значение}$$

$$\beta \in (1 - (2^{m_0} - 1)),$$

причем

$$\beta_{\text{макс}} = 2^{m_0} - 1.$$

Вместе с этим сигналы на выходах ИЛИ 13, закрывают элемент И 14 и отпирают И 2, при этом импульс длительностью

$$t_{x\beta}^I = \beta \Delta t_1$$

через ИЛИ 16 поступает на вход ДЭЗ 17, на информационный вход СМ 18 и на 2 - ой вход 1 - го ИЛИ 19₁.

Данный процесс осуществляется если $B \neq 0$.

При $B = 0$ и $\alpha \neq 0$, причем $\alpha \in (1 - (2^{m_1} - 1))$

и описывает значение, входного кода m_1 (младшие разряды МР), тогда как

$$\alpha_{\text{макс}} = 2^{m_1} - 1$$

На инверсном выходе схемы ИЛИ 13 имеется «Лог. 1», а на прямом — «Лог. 0», на выходе ИЛИ 20 — «Лог. 1», в связи с этим схема И 14 открыта, И 2 заперт и импульс с образцовой длительностью равной

$$\Delta t_2 = \Delta t,$$

генерируемый формирователем 15, идет через схему ИЛИ 16 на вход ДЭЗ 17, информационный вход СМ 18 и на вход ИЛИ 19₁.

Так, в зависимости от значений β и α на выходе ИЛИ 16 существует либо импульсный сигнал

$$t_{x\beta}^I = \beta \Delta t_1 \text{ (при } \beta \neq 0),$$

либо

$$\Delta t_2 = \Delta t \text{ (при } \beta = 0).$$

ДЭЗ 17 имеет

$$\eta = 2^{m_1} - 1 = \alpha_{\text{макс}}$$

отводов с дискретностью задержки между выводами

$$t_{\text{дэ}} = \Delta t_2 = \Delta t.$$

При

$$\beta \neq 0 \text{ и } \alpha \neq 0$$

вырабатываются импульсные сигналы следующих длительностей: на выходе элемента ИЛИ 19₁

$$t_{x\beta}^I + t_{\text{дэ}} = t_{x\beta}^I + \Delta t;$$

ИЛИ 19₂

$$t_{x\beta}^I + 2t_{\text{дэ}} = t_{x\beta}^I + 2\Delta t;$$

ИЛИ 19₃

$$t_{x\beta}^I + 3t_{\text{дэ}} = t_{x\beta}^I + 3\Delta t$$

и т.д. до элемента ИЛИ 19_η, где длительность формируемого им импульса равна:

$$t_{x\beta}^I + \eta t_{дэ} = t_{x\beta}^I + \eta \Delta t.$$

Согласно текущего значения α , СМ 18 переключает выход соответствующего данному значению элемента ИЛИ из их группы 19, к выходной клемме 21, на которой формируется импульс со значением длительности равной

$$t_x \Big|_{\substack{\beta \neq 0 \\ \alpha \neq 0}} = t_{x\beta}^I + \alpha \Delta t = \beta \Delta t_1 + \alpha \Delta t = \langle \beta(2^{mi}) + \alpha \rangle \Delta t,$$

который и служит результатом ПКВ.

При $B = 0$ и $\alpha \neq 0$ 2-ой элемент И 2 заперт, третья схема И 14 открыта,

$$t_{x\beta}^I = 0$$

и на выходе элемента ИЛИ 16 существует импульсный сигнал

$$\Delta t_2 = \Delta t.$$

В зависимости от значения α , установленного на входах управления СМ 18 по входным клеммам 9₁, на выходной клемме 21 вырабатывается импульс со значением длительности равной:

$$t_x \Big|_{\substack{\beta=0 \\ \alpha \neq 0}} = \alpha \Delta t,$$

который в этом случае и представляет результат преобразования.

При $B \neq 0$ и $\alpha = 0$

элемент И 14 заперт, схема И 2 открыта и на выходе ИЛИ 16 генерируется импульсный сигнал

$$t_{x\beta}^I = \beta \Delta t_1,$$

который посредством информационного входа СМ 18 поступает на выходную клемму 21 ПКВ.

В этом случае результат преобразования код - время описывается как:

$$t_x \Big|_{\text{при } \alpha=0}^{\beta \neq 0} = t_{x\beta}^I = \beta \Delta t_1$$

Таким образом, результат преобразования код-время при разных β и α имеет вид:

$$t_x = \begin{cases} \beta \Delta t_1 + \alpha \Delta t, & \text{при } \beta \neq 0 \text{ и } \alpha \neq 0; \\ \alpha \Delta t, & \text{при } \beta = 0 \text{ и } \alpha \neq 0; \\ \beta \Delta t_1, & \text{при } \beta \neq 0 \text{ и } \alpha = 0; \\ 0 & \text{при } \beta = 0 \text{ и } \alpha = 0 \end{cases}$$

или, так как

$$\Delta t_1 = 2^{m1} \Delta t = (\alpha_{\text{макс}} + 1) \Delta t,$$

$$t_x = \begin{cases} <\beta(\alpha_{\text{макс}} + 1) + \alpha > \Delta t & \text{при } \beta \neq 0 \text{ и } \alpha \neq 0; \\ \alpha \Delta t. & \text{при } \beta = 0 \text{ и } \alpha \neq 0; \\ \beta(\alpha_{\text{макс}} + 1) \Delta t, & \text{при } \beta \neq 0 \text{ и } \alpha = 0; \\ 0, & \text{при } \beta = 0 \text{ и } \alpha = 0. \end{cases}$$

При этом время преобразования

$$T_{\text{пр}} = \beta_{\text{макс}}(\beta_{\text{макс}} + 1) \Delta t_1,$$

так как

$$\Delta t_1 = 2^{m1} \Delta t = (\alpha_{\text{макс}} + 1) \Delta t,$$

$$T_{\text{пр}} = \beta_{\text{макс}}(\beta_{\text{макс}} + 1)(\alpha_{\text{макс}} + 1) \Delta t.$$

Время преобразования прототипа

$$T_{\text{пр}} = N_{\text{макс}}(N_{\text{макс}} + 1) \Delta t,$$

где

$$N_{\text{макс}} = 2^m - 1.$$

Из этого следует, что выигрыш во времени преобразования составит:

$$\gamma = \frac{T_{\text{пр}}^f}{T_{\text{пр}}} = \frac{N_{\text{макс}}(N_{\text{макс}} + 1)}{\beta_{\text{макс}}(\beta_{\text{макс}} + 1) (\alpha_{\text{макс}} + 1)} > 1.$$

При $\beta_{\text{макс}} = \alpha_{\text{макс}} = \sqrt{N_{\text{макс}}} \sqrt{N_{\text{макс}}}$,

т.е.

$$m_0 = m_1 = m/2, \gamma \approx \sqrt{N_{\text{макс}}} > 1.$$

Таким образом, повышается быстродействие преобразования.

Счетный блок 10 имеет возможность быть выполненным как на блоке сравнения кодов и счетчике импульсов, так и на реверсивном счетчике, блоке элементов НЕ и счетчике импульсов [10].

Первый и второй формирователи импульсов, соответственно 7 и 15 могут выполняться на схеме НЕ, выход у которого через элемент задержки ЭЗ (к примеру, на основе радиочастотного коаксиального кабеле) соединен с первым входом элемента И, 2 - ой вход которого подсоединен к входу формирователя и к входу схемы НЕ, а выход соединен с выходом формирователя.

5. Рециркуляционный формирователь временных интервалов с наносекундной разрешающей способностью

Данное устройство относится к импульсной электронике и может использоваться при разработке и сборки измерительных систем.

Популярны преобразователи цифрового кода во временной интервал (ВИ), которые основаны на том, что считывают заданный бинарный код сигналами эталонной частоты и имеют схему жесткой привязки импульсов опорного генератора к началу создаваемого интервала времени [11, 14].

Недостаток этих устройств - сложность синхронизирующих схем, которые требуют коррекции созданного интервала времени, полученного кодом синхронизации ошибки.

Использование линии задержки (ЛЗ) с множеством отводов, эквивалентно использованию генератора эталонных счетных импульсов, у которых частота, в n раз больше предельно возможной для этого генератора, (n – количество отводов ЛЗ).

Управление включением соответствующего вывода ЛЗ, в соответствие с цифровым кодом требуемого значения ВИ, к входу счета счетчика, дает возможность с большой точностью задавать создаваемый интервал времени.

Таким образом, и дискретность, и точность ВИ, определяется дискретностью отводов ЛЗ, притом он имеет возможность свободно укладываться в значение нестабильности опорного генератора.

На рисунке 5.1 изображена структурная схема устройств формирования временного интервала с многоотводной ЛЗ

Его работа осуществляется по следующему алгоритма.

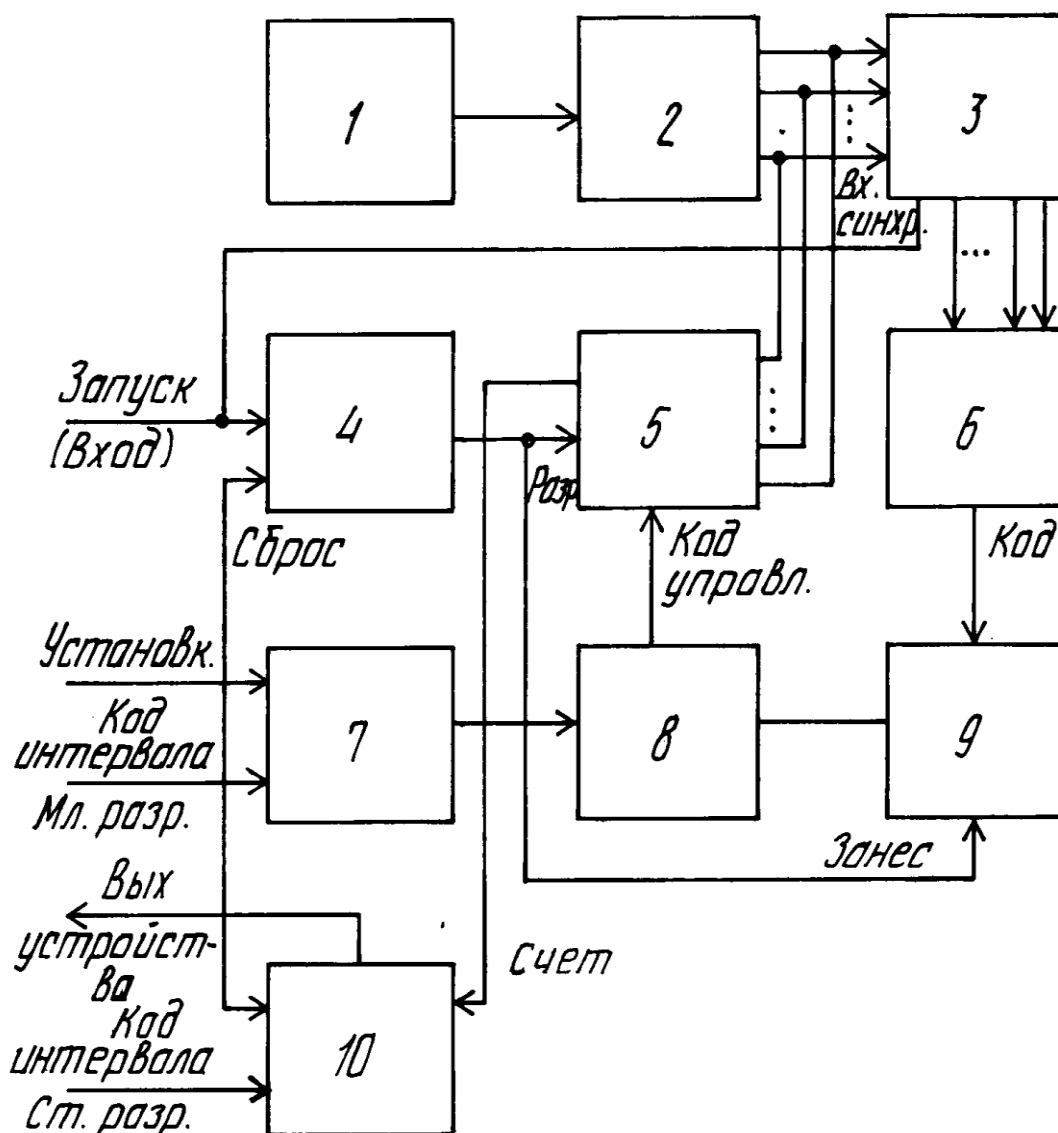


Рисунок 5.1 – Устройство формирования временного интервала с многоотводной ЛЗ

Счетные импульсы опорной частоты, которые вырабатываются генератором 1, распределенные в пространстве и во времени посредством линии задержки (ЛЗ) 2, так что период генератора T_0 дробится на n дискретов времени, каждый из них не менее $\geq T_0/n$ (n – количество отводов ЛЗ 2), приходят на входы блока синхронизации (БС) 3.

По сигналу "Запуск", на одном из выходов БС 3, формируется импульс, который совпадает по времени с фронтом импульса соответствующего отвода ЛЗ 2.

Дальше с выхода БС 3 унитарный код приходит на шифратор двоичного кода 6, с выхода которого бинарный код идет на вход регистра 9, и по фронту сигнала с управляющего триггера 4 записывается в памяти.

С входа устройства на 2-ой регистр 7 приходит и запоминается сигналом "Установка" бинарный код ВИ (его младшие разряды), который соответствует дробной части периода следования импульсов с генератора 1.

С регистров памяти 9 и 7 бинарные коды приходят на сумматор 8, где они суммируются, далее результат суммирования подается на вход управления мультиплексора 5, и соединяет соответствующий отвод ЛЗ 2 со счетным входом счетчика 10.

По приходу сигнала "Установка" на счетчике (СЧ) 10 записывается код интервала времени старших разрядов СР (код интервала времени, равный целому количеству периодов следования импульсов с генератора 1).

Когда полностью происходит считывание кода из СЧ 10, его выход формирует сигнал, который означает отметку заданного ВИ, а дробная его часть, меньшая периода счета, учитывается при включении соответствующего вывода ЛЗ 2.

Прибор начинает работу с приходом сигнала "Запуск", которое означает старт генерируемого интервала времени, и сигнала "Установка", по которой заносится код интервала и происходит сброс триггера 4 управления.

Также по сигналу "Запуск" Триггером 4 формируется импульс, разрешающий счет, а также создается в регистре 9 бинарный код номера

отвода ЛЗ 2, при котором сигнал совпадает во времени с запускающим сигналом

На рисунке 5.2 изображена схема блока синхронизации (БС) 3.

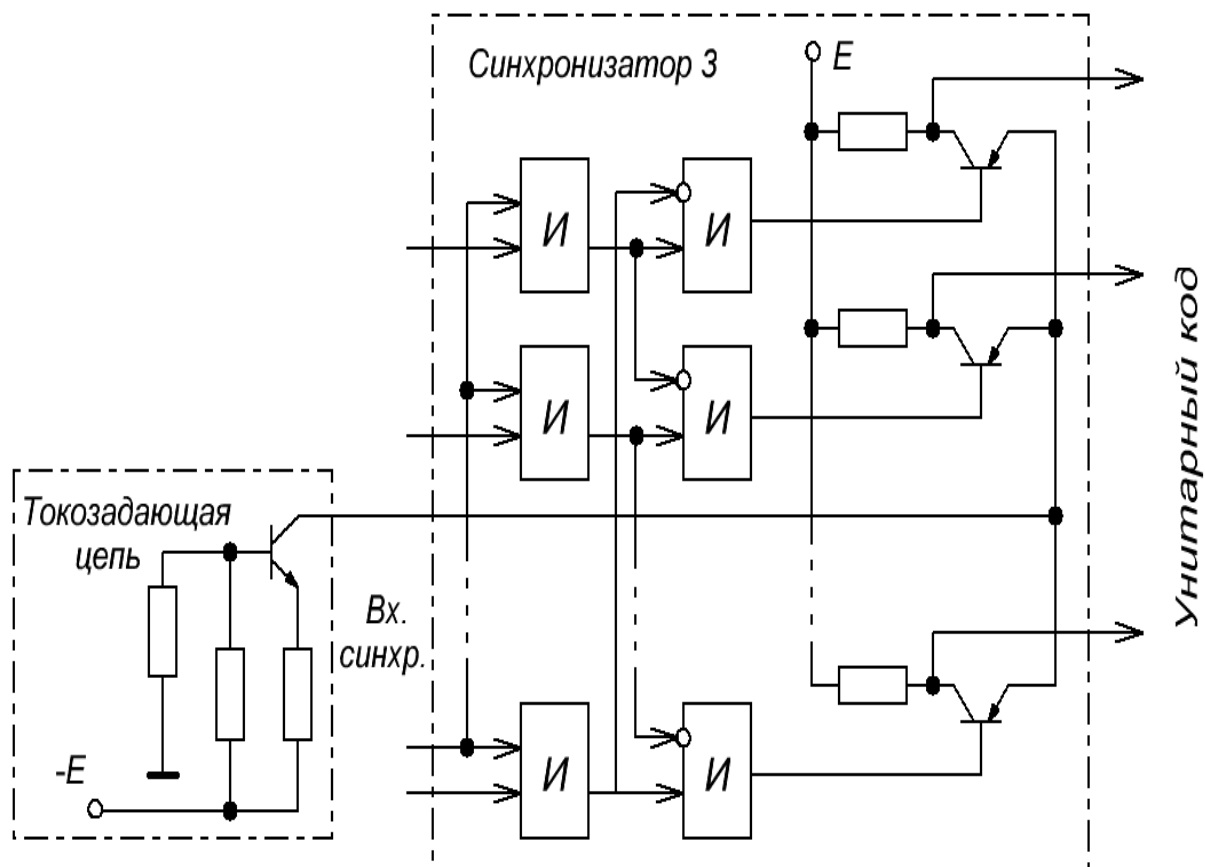


Рисунок 5.2 – Блок синхронизации

На всяком из входов БС 3 подключена схема И, на вторые входы которых подается синхронизирующий сигнал ("Запуск").

В результате чего на выходах этих элементов И фиксируется временной момент, больший или равный периоду следования импульсов сгенератора 1.

Далее подключен следующий массив схем И, у которых один вход соединен с соответствующим предыдущим выходом схемы И, а инвертированный вход - с выходом предыдущей схемы И.

В итоге на одном из выходов (или на двух, но не более) схем совпадения (если дискретность вывода ЛЗ $> T_0/n$) генерируется сигнал, который совпадает по времени только с фронтом сигнала "Запуск" и с фронтом одного из импульсов с ЛЗ 2.

Сигналы с каждой из схем совпадения приходят на соответствующие базы транзисторов устройства выделения наибольшего сигнала из n сигналов. Открывается полностью тот транзистор, у которого приходит на базу максимальный сигнал, остальные запираются.

Таким образом, происходит формирование унитарного кода, который потом приходит на шифратор 6.

При этом импульсы на СЧ 10 поступают через ключ мультиплексор 5, а генерируемый код управления по следующей цепи:

БС 3, шифратор 6, первый регистр 9, сумматор 8.

Суммарное время работы данной последовательной этой цепи не должно превышать период следования импульсов с генератора 1, а также не вносить погрешности установки длительности ВИ составляющей через сумматор 8.

Таким образом, данный формирователь позволяет увеличить точность создания временных интервалов.

6. Рециркуляционный генератор с отдельной цифровой регулировкой частоты и фазы импульсов

Генераторы, имеющие электронную перестройку фазы и частоты вырабатываемых импульсов, применяются в технике синтеза частот и синхронизации, в системах автоматического управления и связи с частотной и фазовой модуляцией.

Повышенную надежность и стабильность имеют генераторы с цифровым управлением.

К ним, например, относится, генератор переменной частоты, на базе генератора высокостабильной частоты, с блоком прибавления/вычитания импульсов [12,13], нагрузкой у которого служит цифрууправляемый делитель частоты следования.

Подобного типа устройства, однако, рассчитаны на применение в относительно низком частотном диапазоне информационных сигналов, по причине того, что погрешность синхронизации у них не имеет возможность быть меньше опорного периода.

Известно устройство - генератор импульсов с цифровой регулировкой фазы [7], который входит в устройство фазовой синхронизации.

Оно состоит из кварцевого генератора, который подключен к входу ЛЗ, время задержки которой можно программировать.

Время этой задержки меняется посредством цифрового управления. Благодаря использованию программируемой задержки, уменьшается шаг квантования фазы до значения, которое определяется элементарной секцией ЛЗ.

К недостатку известного генератора ограничивающего его функциональные возможности относится отсутствующий режим перестройки частоты импульсов.

Схожий способ цифрового управления фазой импульсов применяется в цифровой петле фазовой автоматической подстройки [14-16], которая содержит кварцевый гетеродин, подключенный к секционированной цепи элементов задержки (СЛЗ).

Выводы СЛЗ включены с информационными входами мультиплексора, адрес которого устанавливает порядковый номер вывода цепи задержки, который подключается к выходу мультиплексора, и, как из этого следует, фазу выходного импульса.

В знакомом генераторе также не учтено регулирование частоты импульсов, собственно, что ограничивает его возможности.

К данному устройству близким по технической сути, подходит прибор синхронизации каналов считывания данных [17-19], содержащей опорный мультифазный генератор (ОМГ) в облике инвертора, который нагружен на СЛЗ.

А выводы, служащие сигнальными выходами ОМГ, подсоединены к входам информации мультиплексора.

Цель предлагаемого технического решения состоит в увеличении функциональных возможностей при помощи цифрового отдельного регулирования фазы и частоты генерируемых импульсов, которая достигается при помощи нового выполнения ОМГ и применения фазовращателя (ФВ).

Причем ФВ подсоединен к входам цифрового кода (ЦК) значения фазы, а ОМГ -- к входам цифрового кода значения частоты.

Регулирование частоты осуществляется изменением количества рабочих фаз в ОМГ, а регулирование фазы осуществляется ФВ при помощи выбора той или иной фазы ОМГ в качестве фазы выходного импульса.

Для совместной работы ФВ и ОМГ они оснащены преобразователями цифровых кодов соответственно фазы и частоты (ПЦКФ и ПЦКЧ).

Выводы СЛЗ в ОМГ, которые образуют группу его опорных выходов, подключены к опорным входам ФВ, а выходы ЦК количества рабочих фаз ОМГ соединены с одноименными входами ФВ.

Выход ОМГ подключен к входу инвертора, при помощи включенных последовательно СЛЗ и подключенной выводами к соответствующим информационным входам мультиплексора, и инвертора.

Дополнительно в ОМГ встроен регистр.

Выходы регистра работают выходами ЦК количества рабочих фаз, синхровход подключен к выходу мультиплексора, а информационные входы, и соответствующие адресные входа мультиплексора, соединены с соответствующими выходами ПЦКЧ.

Один вход ПЦКЧ подключен к первому отводу СЛЗ, а другие входы его служат входами ЦК частоты ОМГ.

Предпочтительный вариант исполнения, когда входящий в ОМГ ПЦКЧ является упрощенным сумматором в виде соединенных последовательно полусумматоров.

Он прибавляет 1 - цу к числу, а именно содержимое МР ЦК частоты к содержимому всех его СР при уровне «Лог.1» на выходе инвертора.

Для этого вход переноса упрощенного сумматора подключен к выходу элемента И, один вход которого подсоединен к входу МР ЦК частоты, а другой - с первым выводом СЛЗ.

СР ЦК частоты идут на информационные входы упрощенного сумматора.

В предпочтительном варианте выполнения, ФВ включает в себя: ПЦКФ, элемент ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ и мультиплексор.

Информационные входы мультиплексора являются также опорными входами ФВ.

Выход элемента ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ служит выходом ФВ и в целом устройства, а его входы соединены с выходом мультиплексора и одним выходом ПЦКФ соответственно.

Группа других выходов подсоединена к соответствующим адресным входам мультиплексора. 1-я группа входов ПЦКФ служит входами ЦК числа рабочих фаз, а другая группа его входов соответствует входам ЦК фазы.

ПЦКФ, который входит в ФВ, в соответствии с количеством рабочих фаз ОМГ корректирует код фазы.

При значении ЦК фазы, которое получается больше значения ЦК количества опорных фаз, преобразователь проделывает их вычитание с генерацией сигнала займа.

ПЦКФ содержит компаратор, инвертор, элементы ИЛИ-НЕ и многоразрядный сумматор.

Выходы инвертора и сумматора являются также выходами ПЦКФ. Причем выход инвертора включен к входу переноса сумматора и его входу СР1 - го слагаемого.

Вход инвертора, соединенный с первыми входами всех элементов ИЛИ-НЕ, присоединен к выходу компаратора.

Другие входы элементов ИЛИ - НЕ, которые соединены с соответствующими входами 1-го сравниваемого числа компаратора, являются также входами ЦК числа рабочих фаз ФВ.

Входы 2 - го слагаемого сумматора, которые объединены с соответствующими входами 2-го сравниваемого числа компаратора, являются входами ЦК фазы ФВ.

В случае, если ЦК фазы и частоты представлены n -разрядными двоичными числами, то мультиплексоры в ФВ и ОМГ должны иметь по $(n-1)$ адресных входов и

$$2^{n-1}$$

Информационных входов, регистр в ОМГ и упрощенный сумматор выполняются

$(n-1)$ - разрядными,

а сумматор и компаратор в ФВ,

– n – разрядными,

СЛЗ должна состоять из 2^{n-1} секций.

На рисунке 6.1 изображена функциональная электрическая схема генератора с отдельной цифровой регулировкой фазы и частоты импульсов.

Схема состоит из ОМГ 1, входы которого подключены с входными жабимами 3 n - разрядного ЦК частоты и ФВ 2, входы которого подключены с входными жабимами 4 n - разрядного ЦК фазы.

ОМГ 1 содержит инвертор 5, нагруженный на секционную ЛЗ 6, которая может быть электромагнитного типа с соответствующим согласованием по выходу.

Отводы ЛЗ 6 подсоединены к информационным входам мультиплексора 7, через который замыкается цепь обратной связи (ОС) инвертора 5.

Выход мультиплексора 7 подключен с синхронизирующим входом $(n-1)$ -разрядного регистра 8, выходы которого являются выходами ЦК количества рабочих фаз ОМГ 1, а входы, подключенные с соответствующими адресными входами мультиплексора 7, соединены с выходами ПЦКЧ 9.

ПЦКЧ 9 включает в себя упрощенный $(n-1)$ - разрядный сумматор 10 и элемент И 11, выход у которого подключен к входу переноса упрощенного

сумматора 10, один вход подключен с 1-ым выводом СЛЗ 6, а другой - с зажимом 3-1 МРЦК частоты.

Оставшиеся зажимы ЦК частоты 3-2, 3-3 и 3-4 присоединены к остальным старшим входам ПЦКЧ 9, каковыми являются информационные входы упрощенного сумматора 10.

Упрощенный сумматор 10, если есть наличие сигнала переноса, добавляет единицу к числу на своих информационных входах, или, по другому, суммирует содержимое МРЦК частоты и содержимое всех его СР. Происходит это в случае, если на первом выводе СЛЗ 6 образуется уровень «Лог. 1».

Выводы СЛЗ 6 служат опорными выходами ОМГ 1.

В ФВ 2 входят элементы ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ 13, мультиплексор 12 и ПЦКФ 14. Опорными входами ФВ 2, являются информационные входы мультиплексора 12.

Мультиплексор 12 соединен выходом с одним входом элемента ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ 13, выход которого служит выходом ФВ 2 и прибора в целом.

Путем преобразования кода фазы ПЦКФ 14 приводит ФВ 2 к модулю, задаваемому опорным мультифазным генератором 1 по его выходам ЦК количества фаз, и формирует бинарное число.

Старший разряд этого бинарного числа отправляется на оставшийся вход элемента 13 ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, а младшие передаются на соответствующие адресные входы мультиплексора 12.

ПЦКФ14 1-ой группой входов подключен к выходам ЦК числа рабочих фаз ОМГ 1, а другой группой входов - с входными зажимами 4-1..4-4 ЦК фазы. В него входят элементы ИЛИ-НЕ 18, инвертор 17, компаратор 16 и многоразрядный сумматор 15.

Выход инвертора 17, подключенный к входам переноса и СР1-го слагаемого сумматора 15, и выходы сумматора 15, служат выходами ПЦКФ 14.

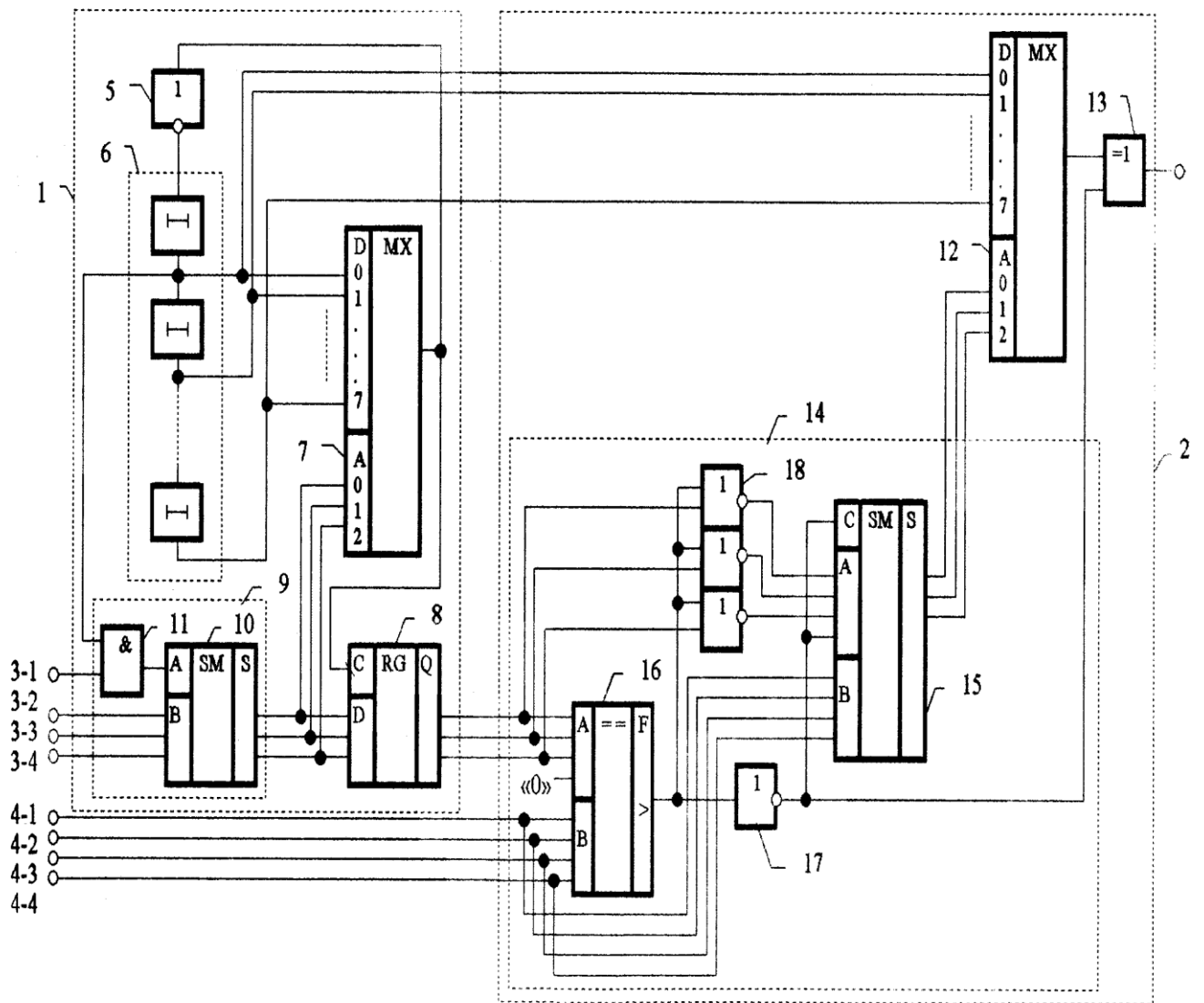


Рисунок 6.1 - Генератор с отдельной цифровой регулировкой частоты и фазы импульсов

Входы элементов ИЛИ-НЕ 18, соединенные с соответствующими входами 1-го сравниваемого числа компаратора 16, служат входами ЦК числа рабочих фаз.

Выход компаратора 16 подсоединен к входу инвертора 17 и оставшимся входам всех элементов ИЛИ-НЕ 18, а его входы 2-го сравниваемого числа подключены к соответствующим входам 2-го слагаемого сумматора 15 и служат входами ЦК фазы.

В устройстве частота генерируемых импульсов задается ЦК, который поступает на зажимы 3.

Двоичное число, которое соответствует данному коду, определяет период импульсов в единицах элементарных времен задержки одной секции СЛЗ 6.

Длительность положительной полуволны в этом периоде в указанных единицах образуется упрощенным сумматором 10, при помощи добавления содержимого МР кода на зажиме 3-1 к содержимому его старших разрядов на зажимах 3-2, 3-3, 3-4.

Длительность отрицательной полуволны в тех же единицах равна числу, которое содержится в СР.

На рисунке 6.2 показаны временные диаграммы сигналов, которые иллюстрируют принцип действия предложенного генератора.

Генерирование импульсов в ОМГ 1 идет в следующем порядке.

Пусть ЦК фазы и частоты состоят из 4 - х разрядов, как это показано на рисунке 6.1 (где $n = 4$).

И пусть, на зажимах 3 - 4, 3 - 3, 3 - 2 и 3 - 1 цифровой код (ЦК) значения частоты равен 1011 в двоичной системе исчисления (СС) (или 11 в десятичной).

Так как инвертор 5 постоянно замкнут по схеме ОС через один из выводов СЛЗ 6 и мультиплексор 7, то на его выходе импульсы (рисунок 8 диаграмма 19) всегда генерируются.

При появлении «Лог. 1» на первом отводе СЛЗ 6 (рисунок 8 диаграмма 20) через элемент И 11 на вход переноса упрощенного сумматора 10 приходит содержимое МР кода частоты с зажима 3-1.

Содержимое этого разряда, равное единице, добавляется в упрощенном сумматоре 10 к содержимому старших разрядов (СР) на зажимах 3-2, 3-3 и 3-4, которое равно в данном примере 101.

Упрощенный сумматор 10 генерирует на своих выходах число 110 (6 в десятичной системе исчисления СС).

Поэтому мультиплексор 7 подсоединяет к входу инвертора свой 6-й информационный вход, или, что, то же самое, 6 - й вывод СЛЗ 6.

На диаграммах 20-25 проиллюстрировано протекание импульса с выхода инвертора 5 через СЛЗ 6, (импульсы на отводах с номерами с 1-го по 6-ой).

Когда уровень «Лог. 1» доходит до 6-го отвода СЛЗ 6, то он через мультиплексор 7 идет на вход инвертора 5.

В результате данного процесса, напряжение с выхода инвертора 5, изменяется с высокого на низкий уровень и распространяется в СЛЗ 6.

Из-за того, что при этом элемент И 11 прекращает фиксировать совпадение единиц на своих входах, то пропадает и сигнал переноса упрощенного сумматора 10.

Из этого следует, что число на выходе упрощенного сумматора 10 становится меньше на единицу, или равным содержимому СР ЦК частоты, которое равно в данном примере 101.

Поэтому мультиплексор 7 включает к входу инвертора 5 5 - й вывод СЛЗ 6. Когда уровень нулевого напряжения достигает этого вывода, инвертор 5 меняет свой выходной уровень на единичный и цикл работы ОМГ 1 повторяется.

Т.о., длительность положительной полуволны T_1 и напряжения на выходе инвертора получится $6 \Delta t$, а отрицательной полуволны

$$T_2 - 5 \Delta t$$

(рисунок 6.2, диаграмма 19).

Период импульсов

$$T = T_1 + T_2 = 11 \Delta t.$$

Каждый раз в конце очередного импульса на выходе мультиплексора 7 в регистр 8 запишется число с выхода упрощенного сумматора 10, которое в рассматриваемом примере равно 110.

Допустим, что значение ЦК фазы, которое установлено на зажимах 4 - 1, 4 - 2, 4 - 3 и 4 - 4 равно 1000 (8 в десятичной СС).

Тогда компаратор 16 в фазовращателе (ФВ) 2 зафиксирует, что 1-е сравниваемое число, приходящее с выходов регистра 8, не больше числа, приходящего с входных зажимов ЦК фазы 4, и сгенерирует на своем выходе уровень «Лог. 0».

На вход 1-го слагаемого сумматора 15 через элементы 18 ИЛИ-НЕ идет поразрядная инверсия кода числа рабочих фаз с выходов регистра 8, на вход 2 - го слагаемого – ЦК фазы с зажимов 4, а на вход переноса - уровень «Лог. 1» с выхода инвертора 17.

Сумматор 15 производит сложение второго числа с дополнительным кодом 1-го числа, то есть вычитает 1 - ое число из 2 - го.

Поэтому на выходах сумматора 15, старший выход из которых не используется, в рассматриваемом примере образуется число 010 (2 в десятичной СС).

В ФВ 2, мультиплексор 12, по адресу 010 пропускает на свой выход сигнал со 2 - го отвода СЛЗ 6 (сигнал на диаграмме 25, совпадающий по фазе с сигналом на диаграмме 21 на рисунок 6.2).

Поскольку на 2-ой вход элемента ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ 13 с выхода инвертора 17 приходит «Лог. 1», то он производит инверсию сигнала, имеющегося на его первом входе (диаграмма 26 на рисунок 6.2).

В итоге, как видно из рисунка 6.2, положительный фронт выходного сигнала на диаграмме 26, который образуется на выходе элемента ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ 13, оказывается с задержкой относительно положительного фронта сигнала на диаграмме 19, на выходе инвертора 5 на $8\Delta t$ [20].

Т.о. частота выходных сигналов устройства равна [18]

$$f = 1/N_f \Delta t,$$

а их фаза составляет

$$\varphi = 2\pi N_\varphi / N_f,$$

где N_f и N_φ – ЦК соответственно значений частоты и фазы.

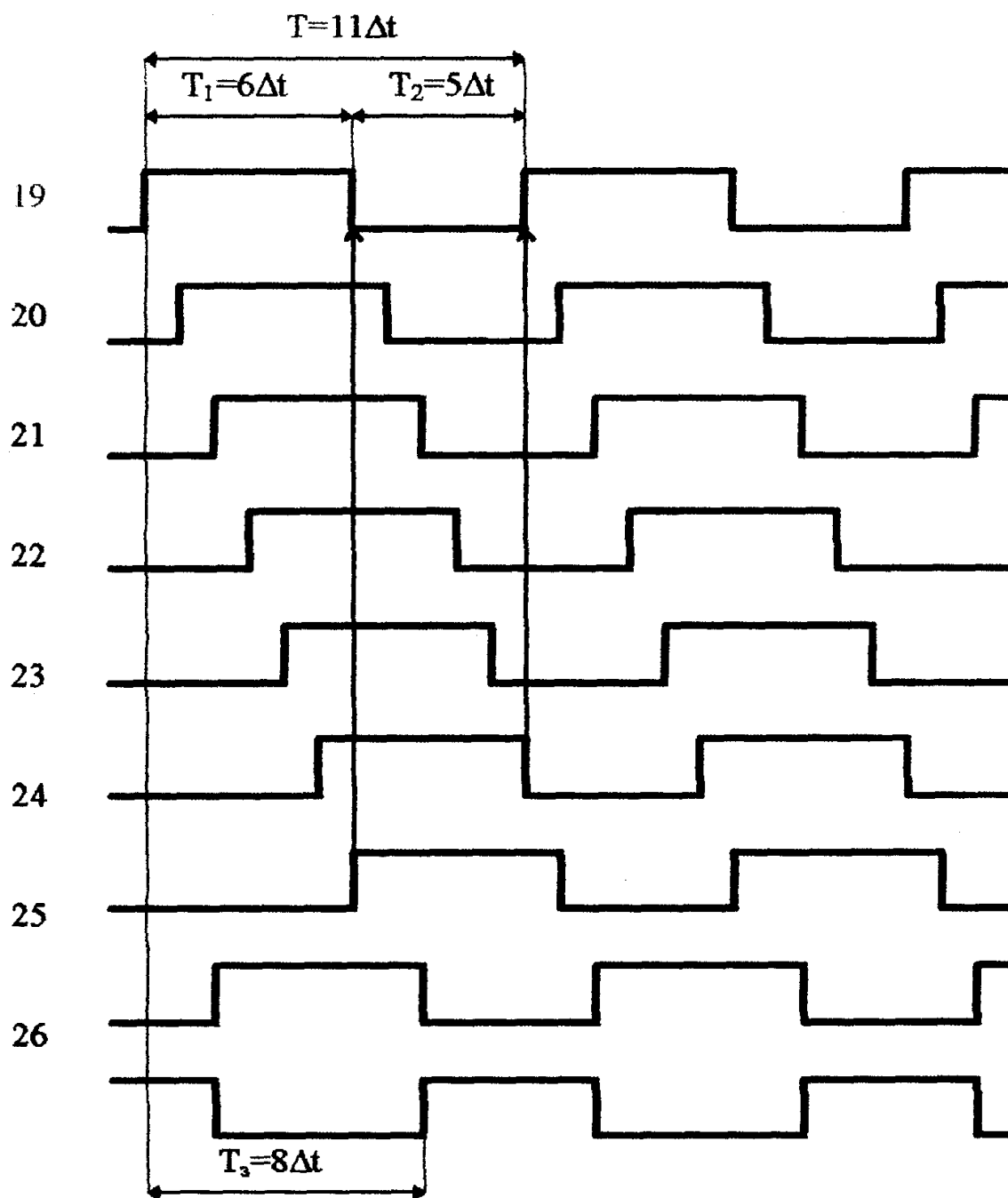


Рисунок 6.2 - Временные диаграммы работы генератора с отдельной цифровой регулировкой частоты и фазы импульсов

Список используемых сокращений

РФИ – Рециркуляционный формирователь импульсов;

РПК во ВИ – Рециркуляционный преобразователь кода во временной интервал;

ДЭЗ – Дискретный элемент задержки;

СИ – Счетчик импульсов;

ОМГ – Опорный мультифазный генератор;

СЛЗ – Секционированная линия задержки;

ПЦКЧ – Преобразователь цифрового кода частоты;

ПЦКФ – Преобразователь цифрового кода фазы;

ЛЗ – Линия задержки;

ЭЗ – Элемент задержки;

МР – Младший разряд;

СР – Старший разряд;

СС – Система счисления;

ОС – Обратная связь;

ЦК – Цифровой код;

Заключение

В бакалаврской работе осуществлен детализированный анализ работы и характеристик следующих способов и средств импульсной синхронизации с привлечением линий задержки:

- на многофазном опорном генераторе;

- опорных временных интервалов с жесткой привязкой их начала к фазе запускающих импульсных сигналов;

- генерирование импульсных последовательностей с импульсной синхронизацией фазы и цифровой перестройкой периода следования;

- синхронизация каналов воспроизведения данных;

- импульсная синхронизация фаз генерируемых импульсных последовательностей.

Рассмотренные устройства ПЭС имеют простую структуру и выполняются на цифровых ИМС и рекомендуются к использованию в информационно – измерительных и телекоммуникационных системах.

Список используемой литературы

1. Мелешко, Е.А. Быстродействующая импульсная электроника / Е.А. Мелешко. – М. Физматлит, 2007. – 320 с.
2. Mirichenko A., Sarwana S., Mukhanov O. // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. 2001 V.11(1). P.978.
3. Чулков, В.А. Интерполирующие устройства синхронизации и преобразователи информации/ В.А.Чулков.- М.: Физматлит, 2010. - 324 с.
4. Józef Kalisz // Metrologia. 2004. V. 41(1). P. 17.
5. Цитович, А.П. Ядерная электроника/ А.П. Цитович.- М.:Энергоатомиздат,1984. - 408с.
6. Mahkonen, T.E., Kostamovaara, J.T.//IEEE Journal of Solid-State Circuits. 1993. V. 28(8). P. 887.
7. Гурин Е.И. // ПТЭ. 1998. № 4. С.82-84.
8. Абрамов, Г.Н. Рециркуляционные преобразователи время - код и код - время / Г.Н. Абрамов. – Тольятти: Издательский дом «Довгань», 1995г. – 144 с.
9. Nutt R // The Review of Scientific Instruments. 1968. V.39(9). P. 1342.
10. Бакиновский, К.Н., Малевич, И.А.,Чернявский, А.Ф., Якушев, К.А. Быстродействующий рециркуляционный генератор с малой относительной нестабильностью частоты. Приборы и техника эксперимента.1970.,№6.
- 11.Абрамов, Г.Н. Рециркуляционные генераторы с кодоуправляемым периодом колебаний / Г.Н. Абрамов, Ю.Г. Абрамов, И.А. Беличенко // Сборник статей X Международной научной конференции (28 сентября 2012 г.) «Синергетика природных, технических и социально-экономических систем» - Тольятти: Изд-во ПВГУС,2012. С.121-128.
12. Чу и Фергюсон. Генераторы импульсов с разрешением 20 пс // Электроника.-1977.-№23. - с.25-34.

13. Малевич, И.А., Чернявский, А. Ф. Двухшкальный преобразователь время - код на двух стабилизированных по частоте рециркуляционных генераторах \ Автометрия, 1974. №3, с.67-74.
14. Roth E. P. All-digital standard-cell based audio clock synthesis. // Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences, Swiss federal institute of technology, Zurich, 2004.
15. Шполянский В.А. Хронометрические системы. М. Машиностроение, 1980.
16. Carro L., Negreiros M., Jahn G. P., Souza Jr. A. A., Franco D. T. Circuit-Level Considerations for Mixed-Signal Programmable Components. - IEEE Design and Test of Computers, Vol.20, № 1, January/February 2003. pp.76 - 84.
17. Системы фазовой автоподстройки частоты с элементами дискретизации./ Шахгильдян В.В., Ляховкин А. А. , Карякин В.Л. и др. Под ред. В.В. Шахгильдяна. - М.: Связь, 1979, с. 156, рис.4.32.
18. Новожилов О. П. Электроника и схемотехника: учеб. для акад. бакалавриата. В 2 ч. Ч. 1 / О. П. Новожилов. - Гриф УМО. - Москва: Юрайт, 2016. - 381 с.
19. Новожилов О. П. Электроника и схемотехника: учеб. для акад. бакалавриата. В 2 ч. Ч. 2 / О. П. Новожилов. - Гриф УМО. - Москва: Юрайт, 2016. - 420 с.
20. Джонс М. Электроника - практический курс : [учеб. пособие] / М. Джонс ; пер. с англ. Е. В. Воронова, А. Л. Ларина. - Москва : Техносфера, 2013. - 520 с.