

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

СЧЕТЧИКИ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления «Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

2012

Бородин Максим Викторович
Саликаев Юрий Рафаельевич

Счетчики: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Электроника и микроэлектроника» (специальность 210105 – Электронные приборы и устройства) / М.В. Бородин, Ю.Р. Саликаев; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2012. – 15 с.

Лабораторная работа выполняется с использованием программной среды QUCS (Quite Universal Circuit Simulator) и заключается в моделировании цифровых цепей. Для обработки результатов и оформления отчёта могут применяться различные математические и офисные программные средства.

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Электроника и микроэлектроника» (специальность 210105 – Электронные приборы и устройства) по дисциплине «Математические модели и САПР электронных приборов и устройств»

© Бородин Максим Викторович, 2012
© Саликаев Юрий Рафаельевич, 2012

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
« ____ » _____ 2012 г.

СЧЕТЧИКИ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления «Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

Разработчик
_____ М.В. Бородин
_____ Ю.Р. Саликаев
« ____ » _____ 2012 г

2012

Содержание

1 Введение	5
2 Лабораторная работа. Счетчики	5
2.1 Цель работы	5
2.2 Краткие сведения из теории.....	5
2.2.1 Счетчики.	5
2.2.2 Изменение направления счета	6
2.2.3 Изменение коэффициента пересчета	7
2.3 Порядок проведения экспериментов.....	9
2.4 Контрольные вопросы	13
3 Содержание отчета.....	13
Список рекомендуемой литературы.....	14

1 Введение

Лабораторная работа выполняется с использованием программной среды QUCS (Quite Universal Circuit Simulator) и заключается в моделировании цифровых цепей. Для обработки результатов и оформления отчёта могут применяться различные математические и офисные программные средства. При выполнении работы используются следующие приборы и элементы: цифровые источники базовые логические элементы; базовые триггеры JK типа.

2 Лабораторная работа. Счетчики

2.1 Цель работы

1. Изучение структуры и исследование работы суммирующих и вычитающих счетчиков.
2. Изучение способов изменения коэффициента пересчета счетчиков.
3. Изучение работы счётчиков с коэффициентом пересчета, отличным от 2^n .

2.2 Краткие сведения из теории

2.2.1 Счетчики.

Счетчик - устройство для подсчета числа входных импульсов. Число, представляемое состоянием его выходов по фронту каждого входного импульса, изменяется на единицу. Счетчик можно реализовать на нескольких триггерах. В суммирующих счетчиках каждый входной импульс увеличивает число на его выходе на единицу, в вычитающих счетчиках каждый входной импульс уменьшает это число на единицу. Наиболее простые счетчики – двоичные. На рис.2.1 представлен суммирующий двоичный счетчик и диаграммы его работы.

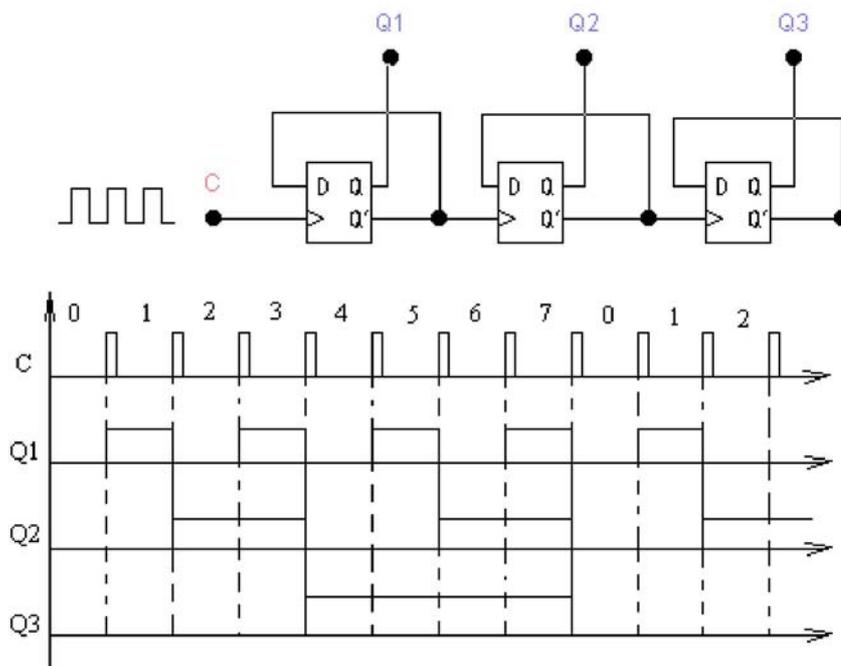


Рисунок 2.1

2.2.2 Изменение направления счета

Как уже говорилось ранее, счетчики можно реализовать на триггерах. При этом триггеры соединяют последовательно. Выход каждого триггера непосредственно действует на тактовый вход следующего. Для того, чтобы реализовать суммирующий счетчик, необходимо счетный вход очередного триггера подключать к инверсному выходу предыдущего. Для того, чтобы изменить направление счета (реализовать вычитающий счетчик), можно предложить следующие способы:

а). Считывать выходные сигналы счетчика не с прямых, а с инверсных выходов триггеров. Число, образуемое состоянием инверсных выходов триггеров счетчика, связано с числом, образованным состоянием прямых выходов триггеров следующим соотношением:

$$N_{\text{ПП}} = 2^n - N_{\text{ИНВ}} - 1,$$

где n - разрядность выхода счетчика. В таблице 2.1 приведен пример связи числа на прямых выходах с числом на инверсных выходах триггеров счетчика.

б). Изменить структуру связей в счетчике: подавать на счетный вход следующего триггера сигнал не с инверсного, а с прямого выхода предыдущего, как показано на рис.2.2. В этом случае изменяется последовательность переключения триггеров.

Таблица 1

Состояние прямых входов			Число	Состояние инверсных выходов			Число
Q3	Q2	Q1		Q3'	N	Q1'	
0	0	0	0	1	1	1	7
0	0	1	1	1	1	0	6
0	1	0	2	1	0	1	5

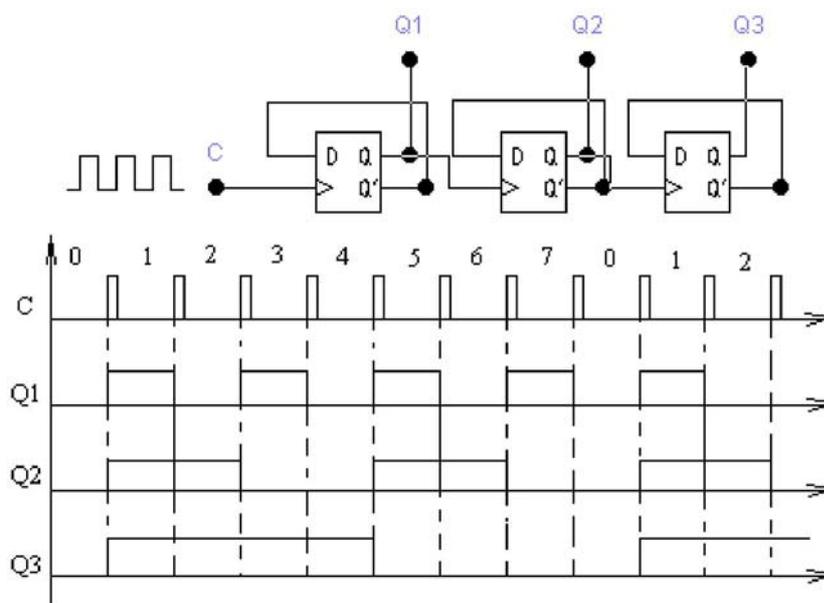


Рисунок 2.2

2.2.3 Изменение коэффициента пересчета

Счетчики характеризуются числом состояний в течение одного периода (цикла). Для схем на рис. 14.18 и 14.19 цикл содержит $N = 2^3 = 8$ состояний (от 000 до 111). Часто число состояний называют коэффициентом пересчета $K_{СЧ}$, который равен отношению числа импульсов N_C на входе

$$K_{СЧ} = \frac{N_C}{N_{ОСТ}}$$

к числу импульсов $N_{ОСТ}$ на выходе старшего разряда за период:

Если на вход счетчика подавать периодическую последовательность импульсов с частотой f_C , то частота f_O на выходе старшего разряда счетчика будет меньше в $K_{СЧ}$ раз:

$$K_{СЧ} = \frac{f_C}{f_O}$$

Поэтому счетчики также называют делителями частоты, а величину $K_{СЧ}$ коэффициентом деления. Для увеличения величины $K_{СЧ}$ приходится увеличивать число триггеров в цепочке. Каждый дополнительный триггер удваивает число состояний счетчика и число $K_{СЧ}$. Для уменьшения коэффициента $K_{СЧ}$ можно в качестве выхода счетчика рассматривать выходы триггеров промежуточных каскадов. Например, для счетчика на трех триггерах $K_{СЧ} = 8$, если взять выход 2-го триггера, то $K_{СЧ} = 4$. При этом $K_{СЧ}$ является целой степенью числа 2: 2, 4, 8, 16 и т. д.

Можно реализовать счетчик, для которого $K_{СЧ}$ - любое целое число. Например, для счетчика на трех триггерах можно сделать $K_{СЧ}$ от 2 до 7, но при этом один или два триггера могут быть лишними. При использовании всех трех триггеров можно получить $K_{СЧ} = 5 \dots 7$: $2^2 < K_{СЧ} < 2^3$. Счетчик с $K_{СЧ} = 5$ должен иметь 5 состояний, которые в простейшем случае образуют последовательность: {0, 1, 2, 3, 4}. Циклическое повторение этой последовательности означает, что коэффициент деления счетчика равен 5.

Для построения суммирующего счетчика с $K_{СЧ} = 5$ надо, чтобы после формирования последнего числа из последовательности {0, 1, 2, 3, 4} счетчик переходил не к числу 5, а к числу 0. В двоичном коде это означает, что от числа 100 нужно перейти к числу 000, а не 101. Изменение естественного порядка счета возможно при введении дополнительных связей между триггерами счетчика. Можно воспользоваться следующим способом: как только счетчик попадает в нерабочее состояние (в данном случае 101), этот факт должен быть опознан и повлечь последующую выработку сигнала, который перевел бы счетчик в состояние 000. Рассмотрим этот способ более детально.

$$F = (101) \vee (110) \vee (111) = Q_3 \cdot \bar{Q}_2 \cdot Q_1 \vee Q_3 \cdot Q_2 \cdot \bar{Q}_1 \vee Q_3 \cdot Q_2 \cdot Q_1 = Q_3 \cdot Q_1 \vee Q_3 \cdot Q_2$$

Состояния 110 и 111 также являются нерабочими и поэтому учтены при составлении уравнения. Если на выходе эквивалентной логической схемы $F = 0$, значит счетчик находится в одном из рабочих состояний:

$0 \vee 1 \vee 2 \vee 3 \vee 4$. Как только он попадает в одно из нерабочих состояний $5 \vee 6 \vee 7$, формируется сигнал $F = 1$. Появление сигнала $F = 1$ должно переводить счетчик в начальное состояние 000 , следовательно, этот сигнал нужно использовать для воздействия на установочные входы триггеров счетчика, которые осуществляли бы сброс счетчика в состояние $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 0$. При реализации счетчика на триггерах со входами установки логическим нулем для сброса триггеров требуется подать на входы сброса сигнал $R=0$. Для обнаружения факта попадания в нерабочее состояние используем схему, реализующую функцию F и выполненную на элементах И-НЕ. Для этого преобразуем выражение для функции:

$$F = \overline{Q_3 \cdot Q_1 \vee Q_3 \cdot Q_2} = \overline{Q_3 \cdot (Q_1 \cdot Q_2)}$$

Соответствующая схемная реализация приведена на рис. 2.3.

Счетчик будет работать следующим образом: при счете от 0 до 4 все происходит как в обычном суммирующем счетчике с $K_{Сч} = 8$. Установочные сигналы равны 1 и естественному порядку счета не препятствуют. Счет происходит по положительному фронту импульса на счетном входе С. В тот момент, когда счетчик находится в состоянии 4 (100), следующий тактовый импульс сначала переводит счетчик в состояние 5(101), что немедленно (задолго до прихода следующего тактового импульса) приводит к формированию сигнала сброса, который поступает на установочные входы сброса триггеров. В результате счетчик сбрасывается в 0 и ждет прихода следующего тактового импульса на счетный вход. Один цикл счета закончился, счетчик готов к началу следующего цикла.

Применяя такие схемы с обратной связью для сброса счетчика, нужно иметь в виду, что операция сброса занимает конечное время, поэтому непосредственно перед сбросом счетчика в 0 на выходе первого триггера появляются кратковременные импульсы, или "иголки".

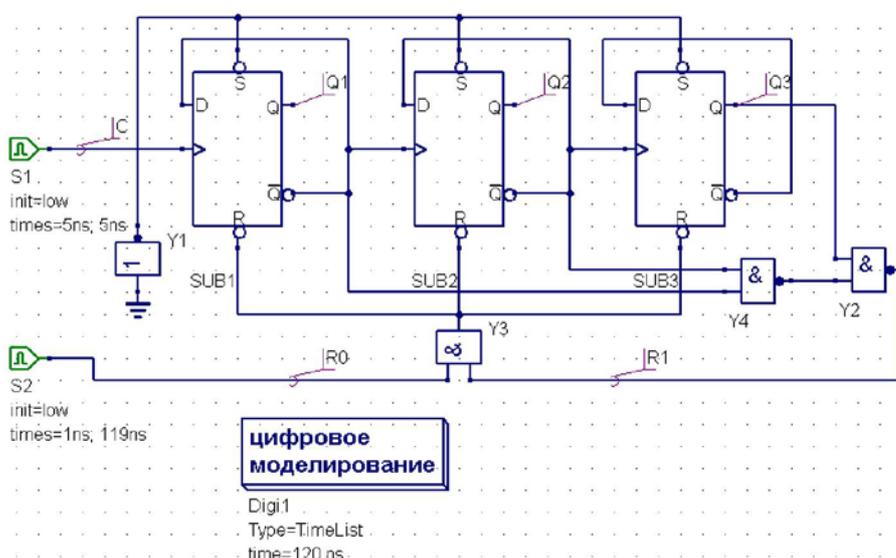


Рисунок 2.3

Это не имеет значения при подключении счетчика напрямую к индикатору, но при использовании этого выхода счетчика в качестве источника тактовых импульсов могут возникнуть определенные проблемы. Схема, в которой это явление устранено, приведена на рис.2.4. Важным отличием является то, что схема обнаруживает не факт попадания в нерабочее состояние 101, а факт попадания в состояние 100 и в следующем такте вырабатывает сигнал сброса.

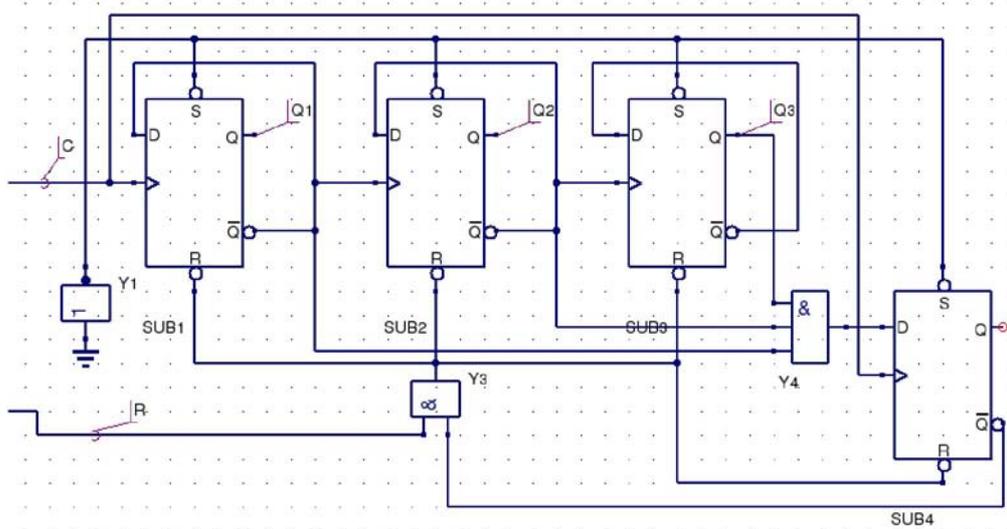


Рисунок 2.4

2.3 Порядок проведения экспериментов

Внимание! При создании проекта не используйте пробелы и русские символы в названии проекта и схем. При размещении временных диаграмм в отчете учтите, что диаграмма может не поместиться полностью в окно просмотра. В этом случае вместо одного скриншота можно использовать несколько, с соответствующими участками диаграммы на каждом, или зарисовать диаграмму в соответствующем масштабе.

Задание 1. D-триггер с асинхронными установочными входами.

В последующих экспериментах в качестве подсхемы будет использоваться D-триггер с асинхронными установочными S и R входами. Создайте подсхему согласно рис.5. Порядок создания подсхемы такой же, как в лабораторной работе «Дешифраторы».

Для данной подсхемы создайте и отредактируйте соответствующим образом компактное схемное обозначение, которое будет использоваться в дальнейшем.

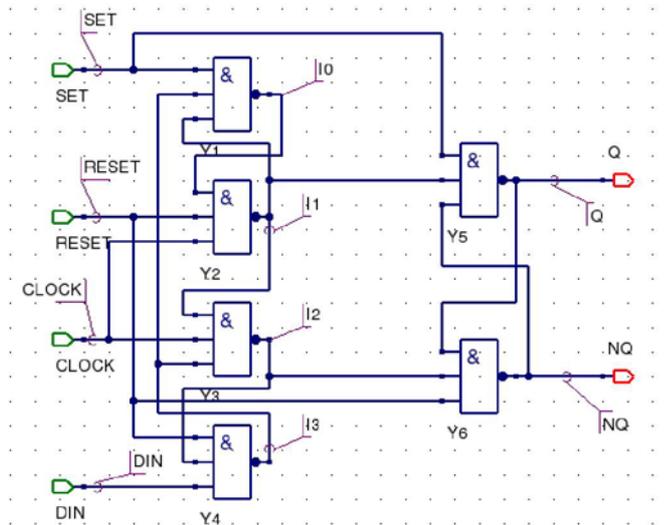


Рисунок 2.5

Эксперимент 2. Исследование суммирующего счетчика.

Создайте схему суммирующего счетчика согласно рис.6. Параметры компонентов указаны на рисунке. Запустите симуляцию и получите временные диаграммы сигналов C,R, Q1-Q3,NQ1-NQ3. Диаграммы приведите в отчете. Определите коэффициент пересчета счетчика.

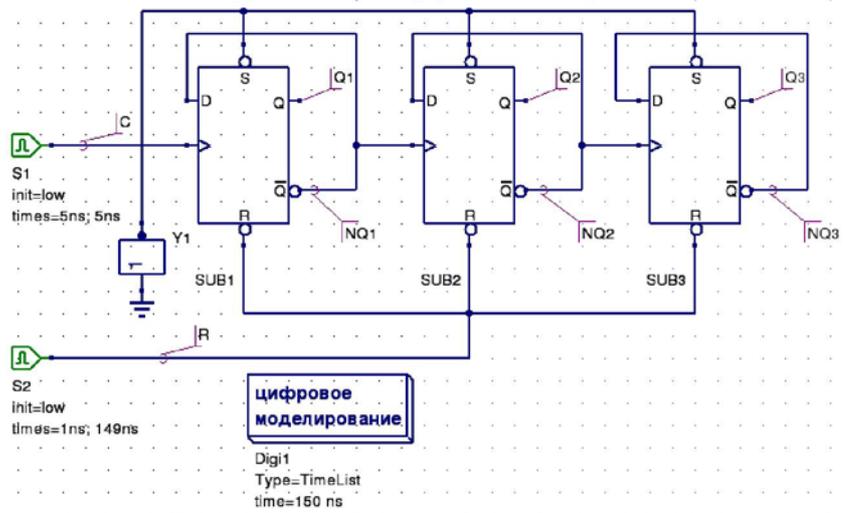


Рисунок 2.6

Эксперимент 3. Исследование вычитающего счетчика.

Создайте схему вычитающего счетчика, как показано на рис.7. Включите симуляцию. Зарисуйте временные диаграммы работы вычитающего счетчика в отчет. Сравните диаграммы вычитающего счетчика с диаграммами суммирующего счетчика.

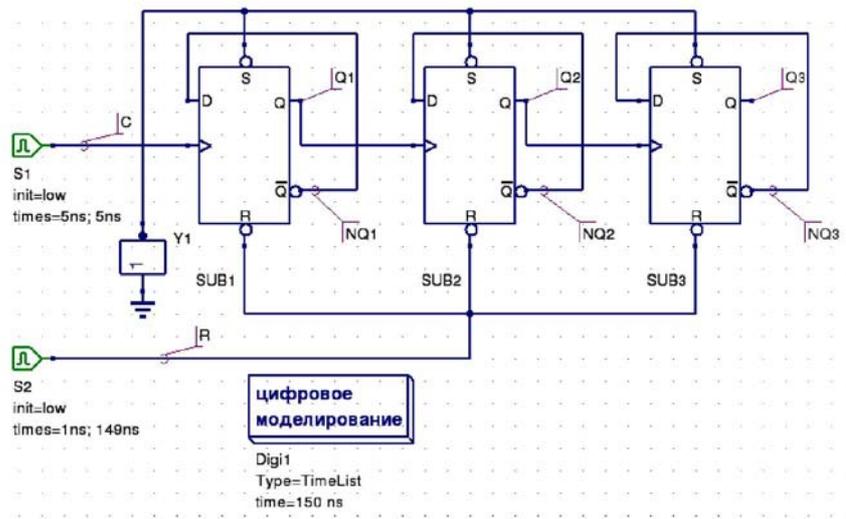


Рисунок 2.7

Эксперимент 4. Исследование счетчика с измененным коэффициентом пересчета.

а) Создайте схему счетчика, как показано на рис. 8. Включите симуляцию. Занесите в отчет временные диаграммы сигналов C, R0, R1, Q1-Q3, NQ1-NQ3 и определите коэффициент пересчета счетчика.

б) В свойствах элемента «И» (Y3 на схеме) установите задержку распространения сигнала в 1 нс. Проведите симуляцию снова. Занесите временные диаграммы в отчет. Объясните изменения по сравнению с результатами из пункта а.

в) Измените структуру комбинационной части счетчика в соответствии с рис.3. Проведите симуляцию. Занесите временные диаграммы в отчет и определите коэффициент пересчета счетчика.

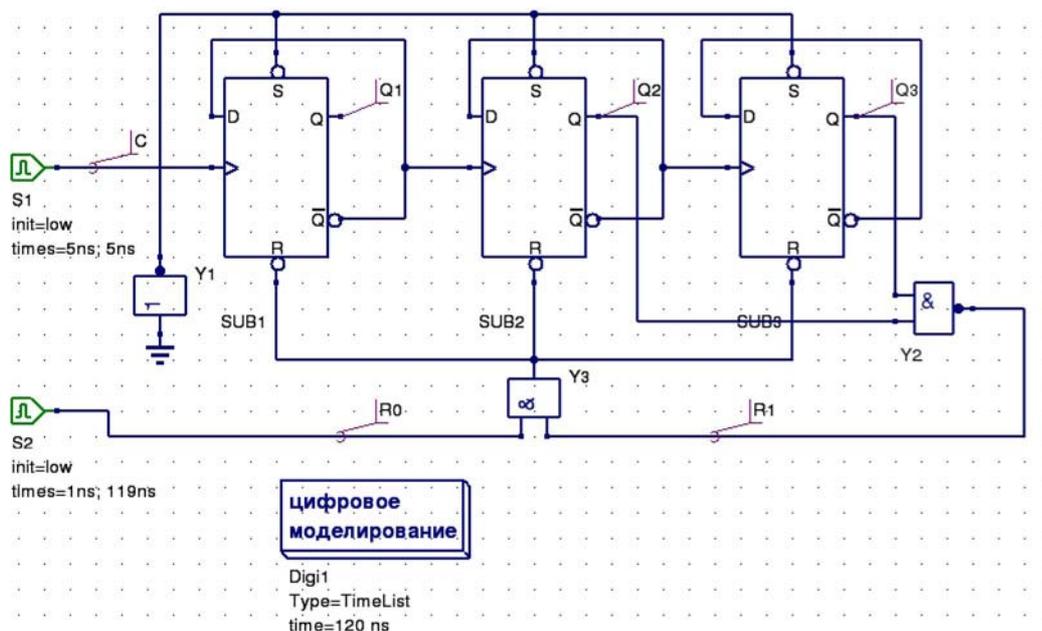


Рисунок 2.8.

Эксперимент 5. Исследование регистра Джонсона.

Создайте схему, приведенную на рис.9. Счетное устройство, приведенное на рисунке, получило название регистра Джонсона или регистра с перекрестными связями. Включите симуляцию. Постройте временные диаграммы сигналов на выходах триггеров. Определите коэффициент пересчета регистра Джонсона. Результаты занесите в отчет.

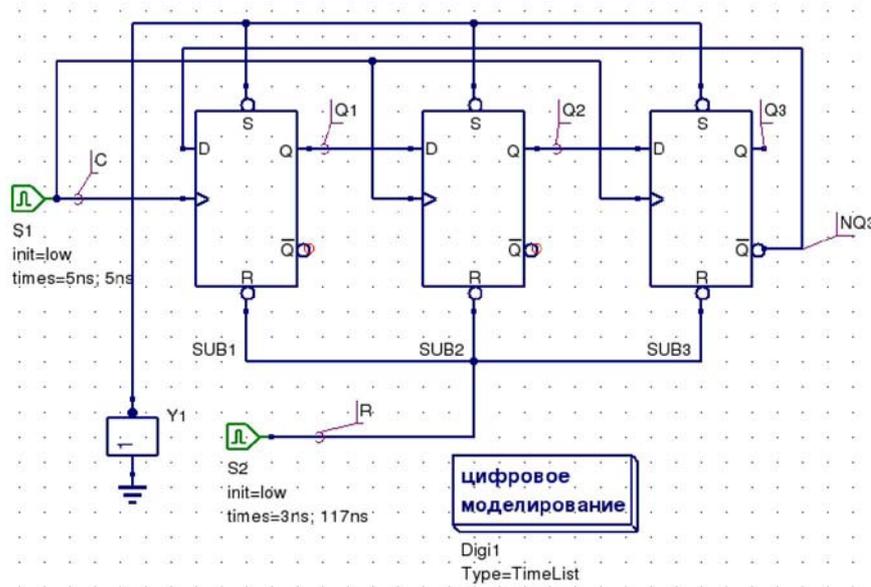


Рисунок 2.9

Эксперимент 6. Исследование регистра Джонсона, реализованного на JK-триггерах.

Создайте схему, изображенную на рис.10. Включите симуляцию. Постройте временные диаграммы работы схемы и занесите их в отчет. Сравните полученные диаграммы с результатами эксперимента 5. Определите коэффициент пересчета счетчика до и после поступления сигнала «1» на установочный вход S второго триггера.

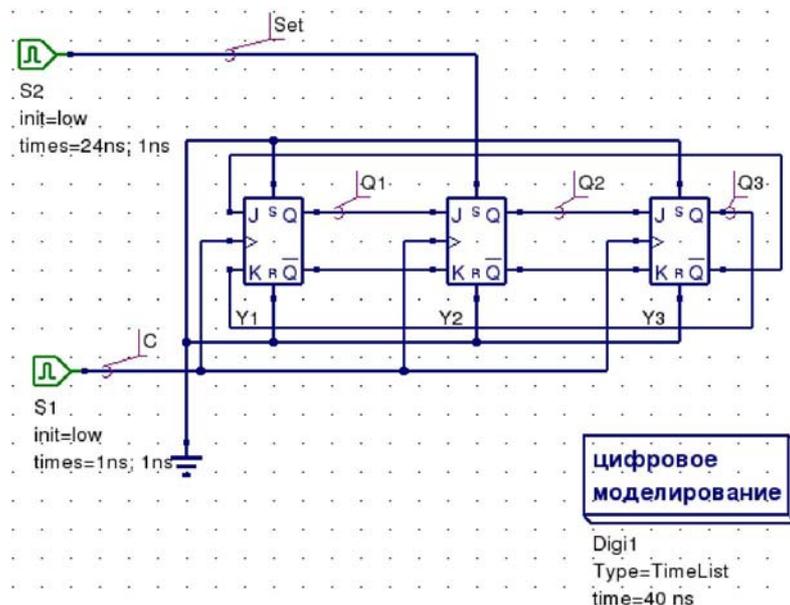


Рисунок 2.10

2.4 Контрольные вопросы

1. Почему при подключении счетных входов триггеров к инверсным выходам предыдущих каскадов счетчик на D-триггерах работает как суммирующий, а при подключении к прямым - как вычитающий?

2. В каком режиме будет работать счетчик на JK-триггерах при подключении счетных входов триггеров к прямым выходам предыдущих каскадов? Как изменится режим работы счетчика при подключении счетных входов триггеров к инверсным выходам?

3. Какие коэффициенты пересчета имели счетчики на рисунках 6, 8, 3, 9, 10 соответственно?

4. Какими способами можно изменить коэффициент пересчета счетчика?

5. Сколько триггеров должен содержать счетчик с коэффициентом пересчета $K_{сч} = \{3, 5, 7, 9, 10, 12, 14, 15, 24, 30\}$?

6. В двоичном счетчике коэффициент пересчета равен 8, число триггеров - 3. При поступлении тактовых импульсов на счетный вход счетчик изменяет своё состояние в следующей последовательности: 000-001-010-011-100-101-110-111-000. Сколько триггеров счетчике изменяют свое состояние одновременно на каждом из переходов? Действительно ли триггеры изменяют своё состояние одновременно? Как происходит переход счетчика из состояния 111 в состояние 000? Какой из триггеров первым изменит своё состояние? Что послужит причиной переключения второго триггера? Как развивается процесс изменения состояния триггеров при переходе счетчика из состояния 011 в состояние 100?

7. Цифровые часы в метро реализованы на основе счетчиков. Иногда можно заметить, что четное число секунд на табло часов сохраняется заметно дольше, чем нечетное (возможна и обратная закономерность). Почему это происходит? Какую разрядность должен иметь счетчик, отсчитывающий секунды и десятки секунд при наличии генератора импульсов частотой 10 кГц?

3 Содержание отчета

По лабораторной работе необходимо составить отчёт, который должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие сведения из теории, содержащие расчётные формулы;
- схемы, собранные при проведении экспериментов в среде QUCS;
- результаты расчётов и экспериментов в виде таблиц и графиков;
- ответы на контрольные вопросы;

– выводы по проведённой работе.

Список рекомендуемой литературы

1. Основы компьютерного моделирования наносистем / Ибрагимов И.М. , Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф. – М.: Изд-во «Лань» , 2010.- 384 с. ISBN 978-5-8114-1032-3: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=156
2. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем / Петров М.Н., Гудков Г.В. - М.: Изд-во «Лань», 2011.- 464 с. ISBN 978-5-8114-1075-0 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=661
3. Основы автоматизированного проектирования [Текст] : учебник для вузов / Е. М. Кудрявцев. - М. : Академия, 2011. - 304 с. - ISBN 978-5-7695-6004-0
4. Математические модели и САПР электронных приборов и устройств: учебное пособие / Ю. Р. Саликаев.- Томск: ТУСУР, 2012. - 131 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/>
5. Машинные методы анализа и проектирования электронных схем : / И. Влаха, К. Сингхал ; пер.: А. Ф. Обьедков, Н. Н. Удалов, В. М. Демидов ; ред. пер. А. А. Туркина. - М. : Радио и связь, 1988. - 560 с. - ISBN 5-256-00054-3
6. Компьютерное моделирование и проектирование: учебное пособие / Ю. Р. Саликаев.- Томск: ТУСУР, 2012. - 94 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2548>
7. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: Учебник для вузов. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 360 с.

Учебное пособие

Бородин М.В., Саликаев Ю.Р.

Счетчики

Методические указания к лабораторной работе

Усл. печ. л. _____. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40