

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ФОРМИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ

Цель работы: исследование различных способов формирования временных интервалов и способов изменения длительности временных интервалов.

Объектом исследования являются одновибраторы и мультивибраторы (релаксационные генераторы).

Рабочее задание

1. Способы формирования временных интервалов

Непосредственное измерение времени в электронных схемах невозможно, поскольку время не является электрическим параметром. Поэтому для измерения временного интервала приходится фактически измерять какой-либо электрический параметр, имеющий заранее известную функциональную связь со временем. В аналоговых схемах таким параметром чаще всего является напряжение на конденсаторе или ток в индуктивности. В работе рассматривается формирование временных интервалов при помощи измерения напряжения на конденсаторе.

1.1. Формирование временного интервала с использованием дифференцирующей RC-цепи

1.1.1 Собрать схему рис. 2.1. Указать на схеме номер группы и номер бригады (или номер в журнале посещаемости). Компаратор DA1 находится в разделе «Функциональные блоки».

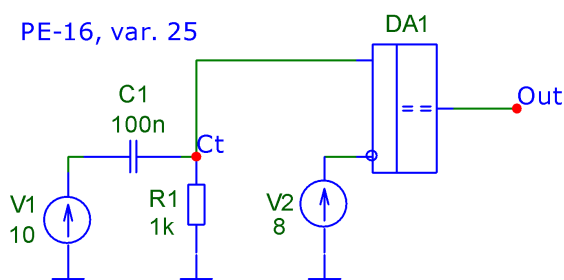


Рисунок 2.1 – Схема для формирования временного интервала при помощи дифференцирующей RC-цепи

1.1.2 Аналитически рассчитать время t_{ur} , в течение которого напряжение на выходе дифференцирующей цепочки (узел Ct) уменьшится с 10 В (напряжение источника V1) до напряжения 8 В (т.е. до порогового напряжения срабатывания компаратора). Напряжение на конденсаторе определяется по формуле:

$$U_{Ct}(t) = U_I \cdot e^{-t/\tau},$$

где τ – постоянная времени, $\tau = R \cdot C$

1.1.3 В режиме анализа *Transient* с временем расчета 200 мкс получить:

- на одном графике – временные диаграммы напряжения на конденсаторе *C1* (напряжение в узле *Ct*) и напряжение источника *V2*, задающего пороговое напряжение срабатывания компаратора;
- на втором графике – выходное напряжение компаратора (напряжение в узле *Out*).

При выполнении анализа флажок *Operating Point* должен быть снят.

По полученным графикам определить длительность t_u сформированного временного интервала (время заряда конденсатора до порогового напряжения). Сравнить полученные результаты с результатами п. 1.1.2.

1.2. Формирование временного интервала с использованием интегрирующей RC-цепи

1.2.1 Собрать схему рис. 2.2. Указать на схеме номер группы и номер бригады (или номер в журнале посещаемости).

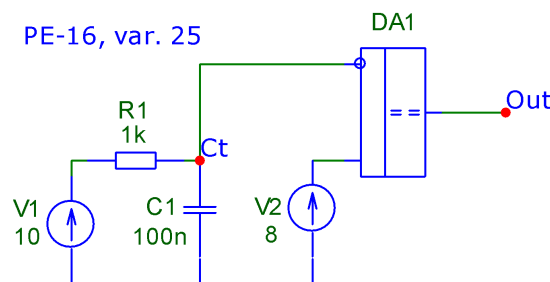


Рисунок 2.2 – Схема для формирования временного интервала при помощи интегрирующей RC-цепи

1.2.2 Аналитически рассчитать время t_u , в течение которого конденсатор *C1* зарядится через резистор *R1* до напряжения 8 В (т.е. до порогового напряжения срабатывания компаратора) от источника *V1* напряжением 10 В. Напряжение на конденсаторе определяется по формуле:

$$U_{Ct}(t) = U_I \cdot (1 - e^{-t/\tau}),$$

где τ – постоянная времени, $\tau = R \cdot C$

1.2.3 В режиме анализа *Transient* со временем расчета 200 мкс получить:

- на одном графике – временные диаграммы напряжения на конденсаторе *C1* (напряжение в узле *Ct*) и напряжение источника *V2*, задающего пороговое напряжение срабатывания компаратора;

- на втором графике – выходное напряжение компаратора (напряжение в узле *Out*).

При выполнении анализа флажок *Operating Point* должен быть снят.

По полученным графикам определить длительность t_u сформированного временного интервала (время заряда конденсатора до порогового напряжения). Сравнить полученные результаты с результатами п. 1.2.2.

2. Способы регулирования длительности формируемого временного интервала

2.1. Регулирование длительности формируемого временного интервала в схемах с времязадающей RC-цепью

2.1.1 Собрать схему рис. 2.3. Указать на схеме номер группы и номер бригады (или номер в журнале посещаемости).

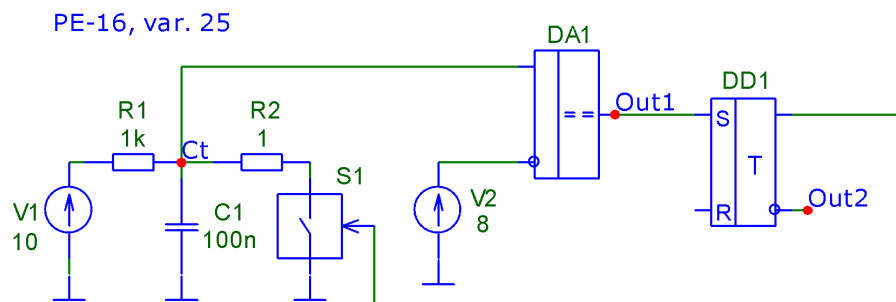


Рисунок 2.3 – Схема для формирования временного интервала при помощи интегрирующей RC-цепи

В отличие от предыдущей схемы, в формирователь добавлен RS-триггер DD1 и ключ S1. Когда конденсатор C1 заряжается до порогового напряжения (т.е. до 8 В), то срабатывает компаратор DA1, который подает на вход установки S сигнал высокого уровня. После этого на выходе триггера DD1 появляется сигнал высокого уровня, который будет там до тех пор, пока не придет сигнал на вход сброса R.

Этот сигнал высокого уровня включает ключ S1, который разряжает конденсатор C1 через резистор R2. Резистор R2 нужен для ограничения разрядного тока через ключ. Его сопротивление обычно много меньше сопротивления R1. Выходной сигнал Out2 снимается с инверсного выхода триггера DD1.

2.1.2 Выполнить анализ *Transient*, время расчета 200 мкс, максимальный шаг расчета 500 нс. Получить:

- на одном графике – временные диаграммы напряжения на конденсаторе C1 (напряжение в узле Ct) и напряжение источника V2, задающего пороговое напряжение срабатывания компаратора;

- на втором графике – выходное напряжение компаратора (напряжение в узле *Out1*).

Масштаб по оси Y для обоих графиков от 0 до 10 В с шагом 2 В.

Объяснить, почему на втором графике (на выходе компаратора *Out1*) не появляется сигнал высокого уровня, хотя компаратор явно срабатывает, включает триггер, который в свою очередь включает ключ, который разряжает конденсатор *C1*.

2.1.3 Повторить анализ *Transient*, с временем расчета 200 мкс, максимальный шаг расчета 10 нс. Обратить внимание на сигнал на выходе *Out1*.

2.1.4 Вновь установить максимальный шаг расчета 500 нс (для увеличения скорости расчета). Получить:

- на первом графике – временные диаграммы напряжения на конденсаторе *C1* (напряжение в узле *Ct*) и напряжение источника *V2*, задающего пороговое напряжение срабатывания компаратора;
- на втором графике – прямоугольные импульсы, равные длительности импульса на конденсаторе. Длительность одиночного импульса определяется по уровню 0.1 от амплитудного значения (в данном случае по уровню 0.8 В). Поэтому для получения импульса, равного длительности импульса на конденсаторе, нужно в поле Y Expression задать логическое выражение $V(Ct) > 0.8$. Это выражение принимает значение 1 В, если истинно и 0, если ложно.

Масштаб по оси Y для первого графика от 0 до 10 В с шагом 2 В, для второго — от 0 до 1 В с шагом 0.2 В

2.1.5 Задать изменение (*Stepping*) сопротивления резистора *R1* от 100 Ом до 1 кОм с шагом 100 Ом. Выполнить анализ *Transient*. Получить:

- семейство графиков, указанных в предыдущем пункте;
- график зависимости длительности импульса t_{Ct} на конденсаторе *C1* (т.е. выражения $V(Ct) > 0.8$) в зависимости от сопротивления резистора *R1*. График строится в окне *Performance Windows* при помощи функции *Width* (рис. 2.4)

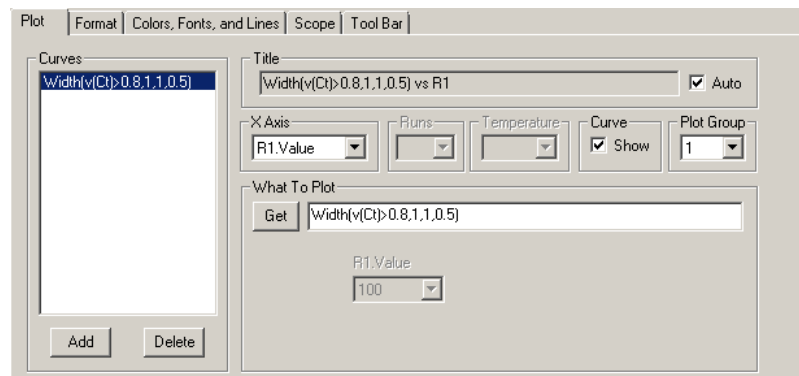


Рисунок 2.4 – Свойства графика функции Width окна Performance

Выключить стейпинг резистора R1.

2.1.6 Задать изменение (*Stepping*) емкости конденсатора C1 от 10 нФ до 100 нФ с шагом 10 нФ. Выполнить анализ *Transient*. Получить:

- на первом графике – временные диаграммы напряжения на конденсаторе C1 и напряжение источника V2;
- на втором графике – прямоугольные импульсы, равные длительности импульса на конденсаторе C1.
- в окне *Performance Windows* – график зависимости длительности импульса t_{Ct} от емкости конденсатора C1.

Выключить стейпинг конденсатора C1.

2.1.7 Задать изменение (*Stepping*) напряжения источника V2 (задающего порог срабатывания компаратора DA1) от 1 В до 8 В с шагом 0.5 В. Выполнить анализ *Transient*. Получить:

- на первом графике – временные диаграммы напряжения на конденсаторе C1 и напряжение источника V2;
- на втором графике – прямоугольные импульсы, равные длительности импульса на конденсаторе C1.
- в окне *Performance Windows* – график зависимости длительности импульса t_{Ct} от напряжения источника V2.

Выключить стейпинг источника постоянной эдс V2.

2.1.8 Задать изменение (*Stepping*) напряжения источника V1 от 10 В до 20 В с шагом 1 В. Выполнить анализ *Transient*. Получить:

- на первом графике – временные диаграммы напряжения на конденсаторе C1 и напряжение источника V2;
- на втором графике – прямоугольные импульсы, равные длительности импульса на конденсаторе C1.
- в окне *Performance Windows* – график зависимости длительности импульса t_{Ct} от напряжения источника V1.

2.2. Регулирование длительности формируемого временного интервала в схемах с зарядом конденсатора источником стабильного тока

2.2.1 Собрать схему рис. 2.5. Указать на схеме номер группы и номер бригады (или номер в журнале посещаемости).

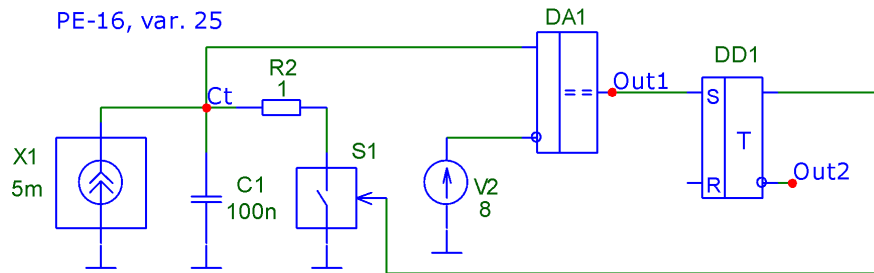


Рисунок 2.5 – Схема для формирования временного интервала при помощи заряда конденсатора источником стабильного тока

2.2.2 Задать изменение (*Stepping*) тока источника тока X1 от 5 мА до 30 мА с шагом 2 мА (рис. 2.6).

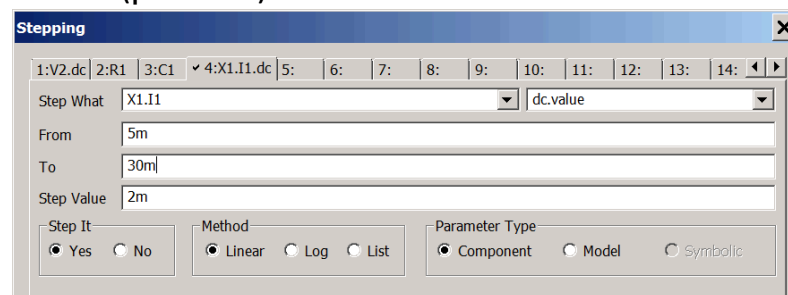


Рисунок 2.6 – Формат задания изменения величины источника тока, входящего в состав функционального блока X1

Выполнить анализ *Transient*. Получить:

- на первом графике – временные диаграммы напряжения на конденсаторе C1 и напряжение источника V2;
- на втором графике – прямоугольные импульсы, равные длительности импульса на конденсаторе C1.
- в окне *Performance Windows* – график зависимости длительности импульса t_{Ct} от тока источника X1.

Выключить стейпинг источника тока X1.I1.

2.2.3 Задать изменение (*Stepping*) напряжения источника V2 (задающего порог срабатывания компаратора DA1) от 1 В до 8 В с шагом 0.5 В. Выполнить анализ *Transient*. Получить:

- на первом графике – временные диаграммы напряжения на конденсаторе C1 и напряжение источника V2;
- на втором графике – прямоугольные импульсы, равные длительности импульса на конденсаторе C1.
- в окне *Performance Windows* – график зависимости длительности импульса t_{Ct} от напряжения источника V2.

3. Формирование одиночных импульсов заданной длительности

Функциональный элемент, который формирует импульс заданной длительности с момента прихода на его вход управляющего сигнала, называется одновибратором. Второе его название — ждущий мультивибратор. Он ждет прихода управляющего импульса, формирует импульс, длительность которого определяется формируемой схемой временным интервалом, а потом ждет нового управляющего импульса.

В качестве управляющих импульсов обычно используются импульсы малой длительности (много меньше импульса, формируемого одновибратором).

3.1. Одновибратор с источником стабильного тока

3.1.1 Собрать схему рис. 2.7. Указать на схеме номер группы и номер бригады (или номер в журнале посещаемости).

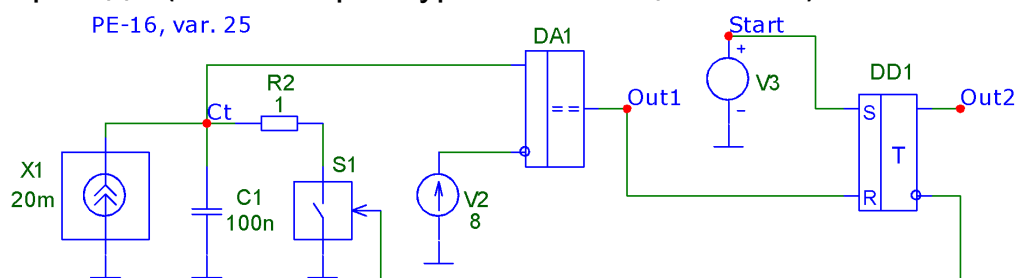


Рисунок 2.7 – Функциональная схема одновибратора, запускаемая управляющим сигналом источника V3

Источник V3 типа *Voltage Source*, формирует управляющие импульсы амплитудой 10 В, с задержкой 40 мкс, длительностью фронта и среза 10 нс, длительностью импульса 500 нс, периодом 100 мкс (рис. 2.8)

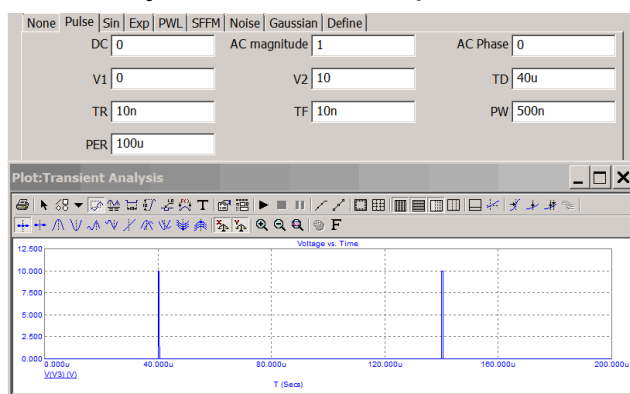


Рисунок 2.8 – Параметры источника управляющих импульсов V3

3.1.2 Выполнить анализ *Transient*, время расчета 200 мкс, максимальный шаг расчета 200 нс. Получить:

- на первом графике — временные диаграммы импульсов управляющего напряжения V(Start);
- на втором графике — временные диаграммы напряжения на конденсаторе C1 (напряжение в узле Ct) и напряжение источника V2, задающего пороговое напряжение срабатывания компаратора;

- на третьем графике — выходное напряжение триггера (напряжение в узле *Out2*).

Масштаб по оси *Y* для всех графиков от 0 до 10 В с шагом 2 В.

3.1.3 Добавить в схему рис. 2.7 дифференцирующую RC-цепочку C2, R3 (рис. 2.9).

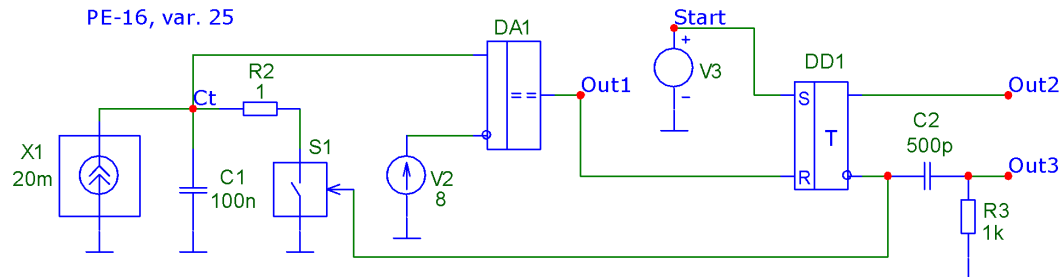


Рисунок 2.9 – Функциональная схема одновибратора с дифференцирующей RC-цепью на выходе

Дифференцирующая RC-цепочка формирует по окончании импульса, сформированного одновибратором, короткий импульс, которым можно запускать следующий одновибратор. По фронту формируется импульс положительной полярности, по срезу – отрицательной.

3.1.4 Выполнить анализ *Transient*, время расчета 200 мкс, максимальный шаг расчета 200 нс. Получить:

- на первом графике – временные диаграммы импульсов управляющего напряжения *V(Start)*
- на втором графике – временные диаграммы напряжения на конденсаторе *C1* (напряжение в узле *Ct*) и напряжение источника *V2*, задающего пороговое напряжение срабатывания компаратора;
- на третьем графике – выходное напряжение триггера (напряжение в узле *Out2*).
- на четвертом графике – выходное напряжение RC-цепи (напряжение в узле *Out3*).

Масштаб по оси *Y* для графиков 1–3 от 0 до 10 В с шагом 2 В, для графика 4 – *AutoAlways*.

3.2. Последовательное включение одновибраторов

Если к выходу одного одновибратора подключить через дифференцирующую цепочку управляющий вход второго одновибратора, то по окончании импульса, формируемого первым одновибратором, запустится второй и сформирует еще один импульс. В свою очередь, если выход второго одновибратора через дифференцирующую цепочку подключить к управляющему входу первого, то по окончании второго импульса запустится первый

одновибратор. И они поочередно будут запускать друг друга, формируя периодическую последовательность импульсов.

Необходимое условие моделирования такой схемы — длительности формируемых импульсов у первого и второго мультивибратора должны немного отличаться (хотя бы на доли процентов).

3.2.1 Собрать схему рис. 2.10 (стрелки, указывающие направление прохождения сигнала можно не рисовать).

3.2.2 Выполнить анализ *Transient*, время расчета 200 мкс, максимальный шаг расчета 200 нс. Получить:

- на первом графике – временные диаграммы импульсов управляющего напряжения $V(\text{Start1})$ и $V(\text{Start2})$;
- на втором графике – временные диаграммы напряжения на конденсаторе $C1$ (напряжение в узле $Ct1$) и напряжения на конденсаторе $C2$ (напряжение в узле $Ct2$);
- на третьем графике – выходное напряжение (напряжение в узле Out3).

Масштаб по оси Y — *AutoAlways*.

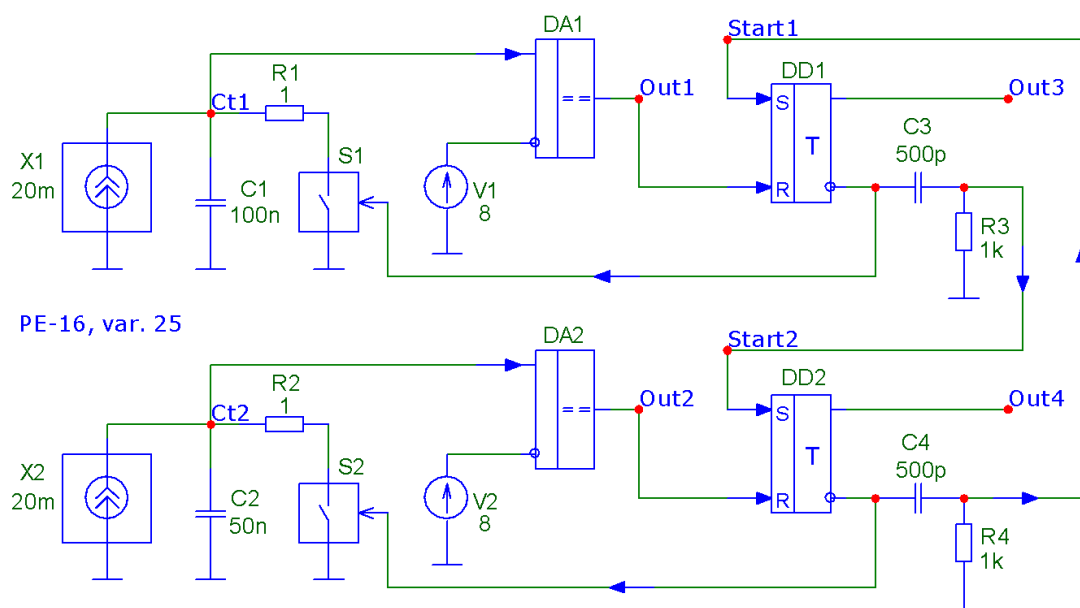


Рисунок 2.10 – Функциональная схема формирователя периодической последовательности импульсов на основе двух одновибраторов

4. Формирование периодических последовательностей импульсов

Для формирования периодических последовательностей импульсов очень часто используют схемы на основе триггера Шмитта.

Триггер Шмитта — это двухпороговый функциональный элемент, который переключается из одного состояния в другое при разных

значениях порогового напряжения в зависимости от того, нарастает или спадает сигнал на его входе.

Триггер Шмитта можно реализовать на основе двух компараторов и RСтриггера.

Собрать схему рис. 2.11 (стрелки, указывающие направление прохождения сигнала можно не рисовать).

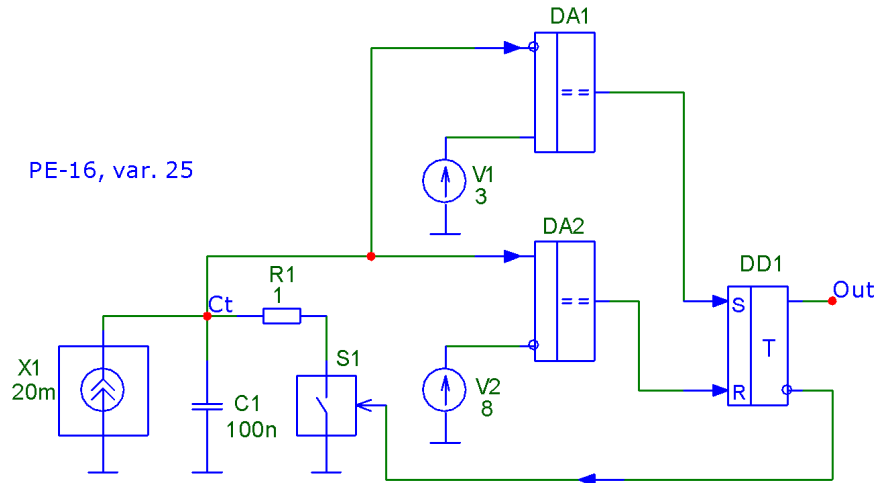


Рисунок 2.11 – Функциональная схема формирователя периодической последовательности импульсов на основе триггера Шмитта

4.1. Выполнить анализ *Transient*, время расчета 200 мкс, максимальный шаг расчета 200 нс. Получить:

- на первом графике – временные диаграммы напряжения на конденсаторе *C1* (напряжение в узле *Ct*) и напряжения источников *V1* и *V2*
- на втором графике – выходное напряжение (напряжение в узле *Out*).

Масштаб по оси *Y* — *AutoAlways*

Обратить внимание на расчетную ошибку: нижний порог установлен 3 В, а конденсатор разряжается до 0 В. Эту ошибку можно исправить, уменьшив максимальный шаг расчета или увеличив сопротивление *R1* (длительность среза импульса увеличится и шаг расчета станет достаточным).

4.2. Установить сопротивление резистора *R1* равным 100 Ом. Выполнить анализ *Transient*, время расчета 200 мкс, максимальный шаг расчета 200 нс. Получить:

- на первом графике – временные диаграммы напряжения на конденсаторе *C1* (напряжение в узле *Ct*) и напряжения источников *V1* и *V2*;
- на втором графике – выходное напряжение (напряжение в узле *Out*).

Масштаб по оси Y — *AutoAlways*

4.3. Заменить резистор R1 на источник тока X2, вдвое больший источника X1. Пороговое напряжение V1 установить равным нулю (рис. 2.12).

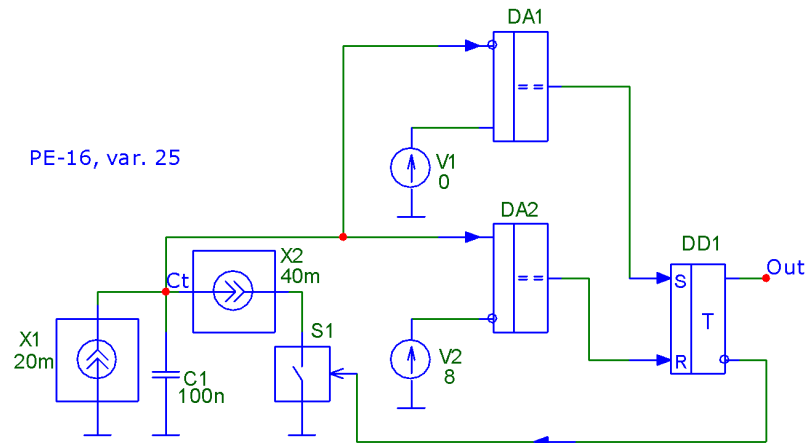


Рисунок 2.12 – Функциональная схема формирователя периодической последовательности треугольных импульсов с двумя источниками тока

Выполнить анализ *Transient*, время расчета 200 мкс, максимальный шаг расчета 200 нс. Получить:

- на первом графике — временные диаграммы напряжения на конденсаторе C1 (напряжение в узле Ct) и напряжения источников V1 и V2;
- на втором графике — выходное напряжение (напряжение в узле Out).

Масштаб по оси Y — *AutoAlways*.

4.4. Добавить в схему ключ S2, коммутирующий источник тока. Установить ток обоих источников тока равным 20 мА (рис. 2.13).

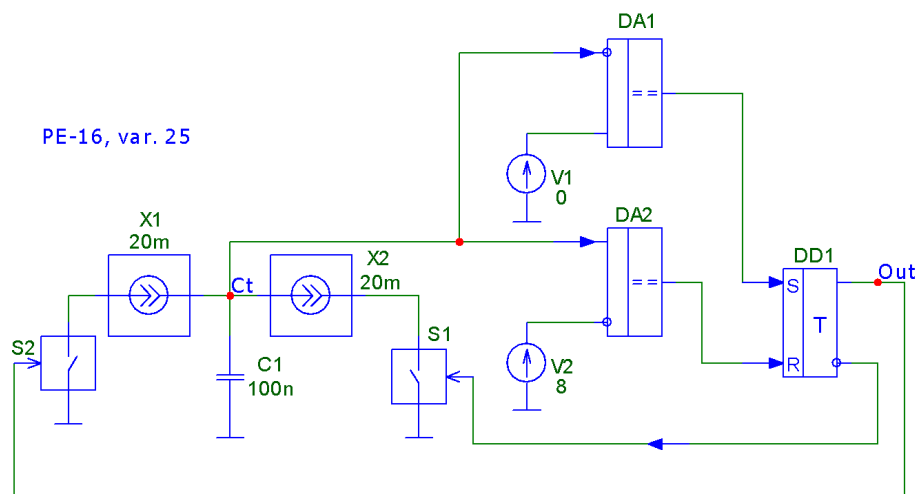


Рисунок 2.13 – Функциональная схема формирователя периодической последовательности треугольных импульсов с двумя источниками тока и двумя ключами

Выполнить анализ *Transient*, время расчета 200 мкс, максимальный шаг расчета 200 нс. Получить:

- на первом графике – временные диаграммы напряжения на конденсаторе *C1* (напряжение в узле *Ct*) и напряжения источников *V1* и *V2*;
- на втором графике – выходное напряжение (напряжение в узле *Out*).

Масштаб по оси *Y* — *AutoAlways*

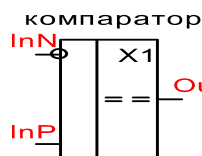
4.5. Установить ток источника *X2* равным 5 мА. Выполнить анализ *Transient*, время расчета 200 мкс, максимальный шаг расчета 200 нс. Получить:

- на первом графике – временные диаграммы напряжения на конденсаторе *C1* (напряжение в узле *Ct*) и напряжения источников *V1* и *V2*;
- на втором графике – выходное напряжение (напряжение в узле *Out*).

Масштаб по оси *Y* — *AutoAlways*.

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте дифференцирующую RC-цепь. Чему равно напряжения на выходе дифференцирующей RC-цепи в первый момент после подачи на её вход скачка напряжения величиной *E*?
2. Как рассчитать напряжение на выходе дифференцирующей RC-цепи в момент времени *t* после подачи в нулевой момент времени на её вход скачка напряжения величиной *E*?
3. Запишите в виде формул, связывающих напряжения в трёх узлах, алгоритм работы функционального элемента компаратор напряжения:



4. Расскажите, как работает схема рис. 2.1.
5. Почему при выполнении задания п. 1.1 флажок *Operating Point* должен быть снят?
6. Нарисуйте интегрирующую RC-цепь. Чему равно напряжения на выходе интегрирующей RC-цепи в первый момент после подачи на её вход скачка напряжения величиной *E*?

7. Как рассчитать напряжение на выходе интегрирующей RC-цепи в момент времени t после подачи в нулевой момент времени на ее вход скачка напряжения величиной E ?
8. Почему при выполнении задания п. 1.2 флажок *Operating Point* должен быть снят?
9. Почему при одинаковых параметрах дифференцирующей и интегрирующей цепей длительность формируемого интервала в схемах рис. 2.1 и рис. 2.2 получается различной? В каком случае она будет одинаковой?
10. Как зависит длительность формируемого схемой рис. 2.3 импульса от сопротивления резистора R_1 и почему?
11. Как зависит длительность формируемого схемой рис. 2.3 импульса от ёмкости конденсатора C_1 и почему?
12. Как зависит длительность формируемого схемой рис. 2.3 импульса от величины порога срабатывания компаратора и почему?
13. Как зависит длительность формируемого схемой рис. 2.3 импульса от величины источника постоянного напряжения V_1 и почему?
14. Расскажите, как работает схема рис. 2.5.
15. Нарисуйте форму напряжения на конденсаторе C_1 в схеме рис. 2.5.
16. По какой формуле определяется напряжение на конденсаторе на этапе его заряда в схеме рис. 2.5?
17. Как зависит длительность формируемого схемой рис. 2.5 импульса от величины зарядного тока конденсатора C_1 и почему?
18. Как зависит длительность формируемого схемой рис. 2.5 импульса от величины порога срабатывания компаратора и почему?
19. Что такое одновибратор и ждущий одновибратор?
20. Что обычно используется в качестве управляющих импульсов для ждущего одновибратора?
21. Что такое RS-триггер? Как он работает?
22. Расскажите, как работают схемы рис. 2.7, 2.9.
23. На вход дифференцирующей цепи воздействует прямоугольный импульс с $t_{\text{и}} > 10 \cdot R \cdot C$. Нарисуйте напряжение на выходе дифференцирующей RC-цепи.
24. От каких параметров схемы и как зависит длительность импульса, формируемого схемой одновибратора рис. 2.7, 2.9?
25. Как осуществляется соединение двух одновибраторов для получения генератора периодической импульсной последовательности?
26. Расскажите, как работает схема рис. 2.10.
27. Что такое триггер Шмитта? Как он работает?

28. Нарисуйте схему триггера Шмитта с порогами 2 В и 4 В на основе компараторов и RS-триггера.
29. Расскажите, как работает схема релаксационного генератора рис. 2.11.
30. В чем особенность релаксационного генератора на основе триггера Шмитта рис. 2.12 по сравнению со схемой рис. 2.11?
31. В чем особенность релаксационного генератора на основе триггера Шмитта рис. 2.13 по сравнению со схемой рис. 2.12?