

Цель работы: изучение алгоритмов работы и временных диаграмм переходов важнейших триггерных схем.

1. Исследовать работу одноступенчатого асинхронного RS-триггера с прямым и инверсным управлением в системе схемотехнического моделирования Micro-Cap. Для этого в отчете надо привести соответствующие таблицы истинности, полученные (путем минимизации) логические выражения, построенные по ним схемы RS-триггеров с прямым и инверсным управлением. В системе схемотехнического моделирования Micro-Cap построить временные диаграммы работы триггеров. По временным диаграммам надо ОБЪЯСНИТЬ (описать) логику работы как одноступенчатого асинхронного RS-триггера с прямым управлением, так и одноступенчатого асинхронного RS-триггера с инверсным управлением (а не просто «опубликовать» временную диаграмму без каких-либо к ней пояснений). Сравнить результаты и особенности логики работы обоих вариантов реализации асинхронного RS-триггера.

Таблица истинности одноступенчатого асинхронного RS-триггера с прямым управлением (активный переключающий сигнал 1):

Таблица 1 - Таблица истинности асинхронного RS-триггера

$S^n$	$R^n$	$Q^n$	$Q^{n+1}$
0	0	0	<b>0</b>
0	0	1	<b>1</b>
0	1	0	<b>0</b>
0	1	1	<b>0</b>
1	0	0	<b>1</b>
1	0	1	<b>1</b>
1	1	0	-
1	1	1	-

Тогда логическое выражение для одноступенчатого асинхронного RS-триггера с прямым управлением имеет вид:

$$Q^{n+1} = \overline{S^n} \overline{R^n} Q^n + S^n \overline{R^n} \overline{Q^n} + S^n \overline{R^n} Q^n$$

Минимизируем с помощью карт Карно:

Таблица 2 - Карты Карно

$Q^n \backslash S^n R^n$	00	01	11	10
0	0	0	-	1
1	1	0	-	1

После склейки единиц получаем:

$$Q^{n+1} = S^n + \overline{R^n} Q^n$$

Таблица 3 - Карты Карно

$Q^n \backslash S^n R^n$	00	01	11	10
0	0	0	-	1
1	1	0	-	1

После склейки нулей получаем:

$$\overline{Q^{n+1}} = R^n + \overline{S^n} \overline{Q^n}$$

Представим в базисе ИЛИ-НЕ:

$$\overline{Q^{n+1}} = \overline{S^n + \overline{R^n} \overline{Q^n}} = \overline{S^n + R^n + \overline{\overline{Q^n}}}$$

$$Q^{n+1} = \overline{R^n + \overline{S^n} \overline{Q^n}} = \overline{R^n + \overline{S^n + Q^n}}$$

Схема асинхронного RS-триггера с прямым управлением:

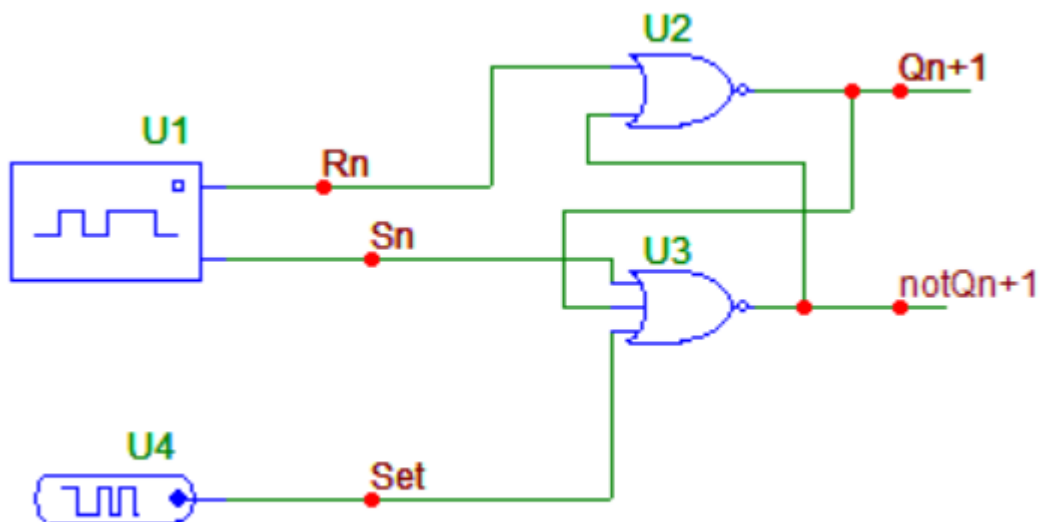


Схема 1 - Асинхронный RS-триггер с прямым управлением

Важно уточнить, что триггер является схемой с обратными связями. Поэтому для корректной работы его надо предварительно установить в начальное состояние. Для этой цели добавляется 3-входовый логический элемент, на 3-й вход которого подать отдельный (и однократный!) управляющий сигнал Set – сигнал установки триггера в 1. Для данной схемы этот однократный сигнал подается 1us. Далее начинается подача управляющих сигналов Rn и Sn.

Временная диаграмма:

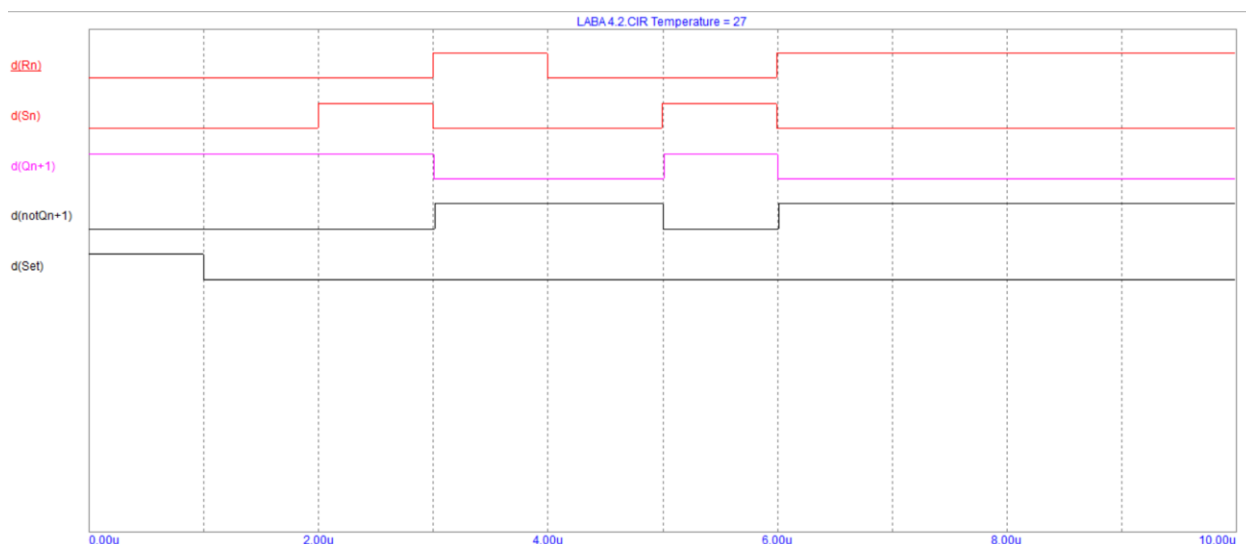


График 1 - Временная диаграмма RS-триггера с прямым управлением

По результатам временной диаграммы можно сделать вывод о корректной работе схемы, т.к. значения  $Q^{n+1}$  совпадают с соответствующими значениями из таблицы истинности.

Логика работы асинхронного RS-триггера с прямым управлением можно описать следующим образом: при  $R^n = 0$  и  $S^n = 0$  состояние триггера в момент времени  $n + 1$   $Q^{n+1}$  равно предыдущему, т.е.  $Q^{n+1} = Q^n$ . При  $R^n = 0$  и  $S^n = 1$ , в триггере устанавливается 1, т.е.  $Q^{n+1} = 1$ . При  $R^n = 1$  и  $S^n = 0$ , триггер сбрасывается в 0, т.е.  $Q^{n+1} = 0$ . Комбинация  $R^n = 1$  и  $S^n = 1$  является запрещенной.

Оценим время задержки:

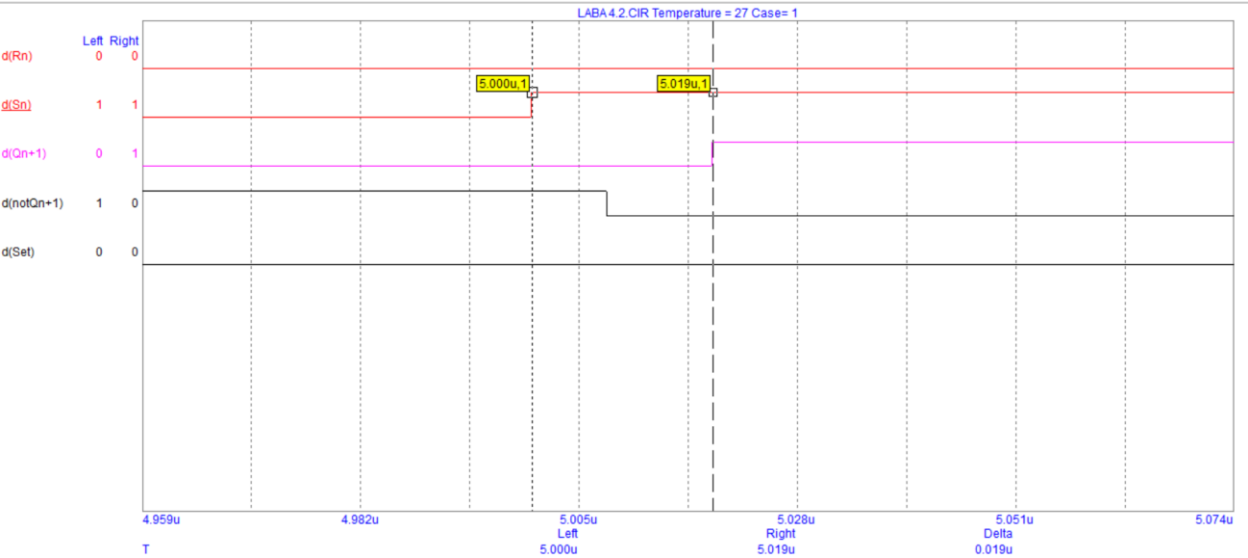


График 2 - Время задержки

Так, время задержки составило 19 наносекунд.

Переход в базис И-НЕ:

$$Q^{n+1} = S^n + \overline{R^n} Q^n = \overline{\overline{S^n} \cdot \overline{\overline{R^n} Q^n}}$$

$$\overline{Q^{n+1}} = R^n + \overline{S^n} \overline{Q^n} = \overline{\overline{R^n} \cdot \overline{\overline{S^n} \overline{Q^n}}}$$

Схема асинхронного RS-триггера с инверсным управлением:

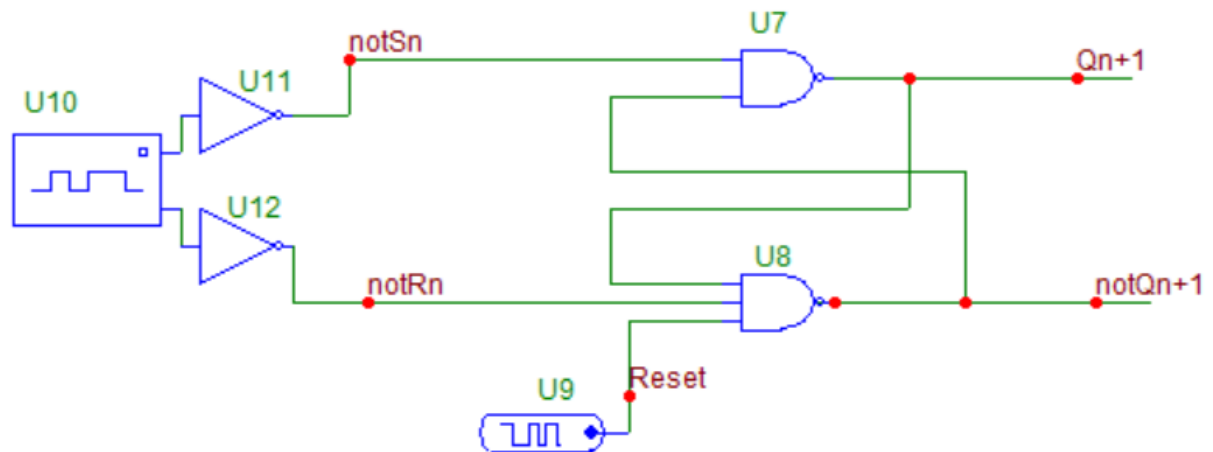


Схема 2 - Асинхронный RS-триггер с инверсным управлением

Важно уточнить, что триггер является схемой с обратными связями. Поэтому для корректной работы его надо предварительно установить в начальное состояние. Для этой цели добавляется 3-входовый логический элемент, на 3-й вход которого подать отдельный (и однократный!) управляющий сигнал Reset – сигнал установки триггера в 0. Для данной схемы этот однократный сигнал подается 1us. Далее начинается подача управляющих сигналов notRn и notSn.

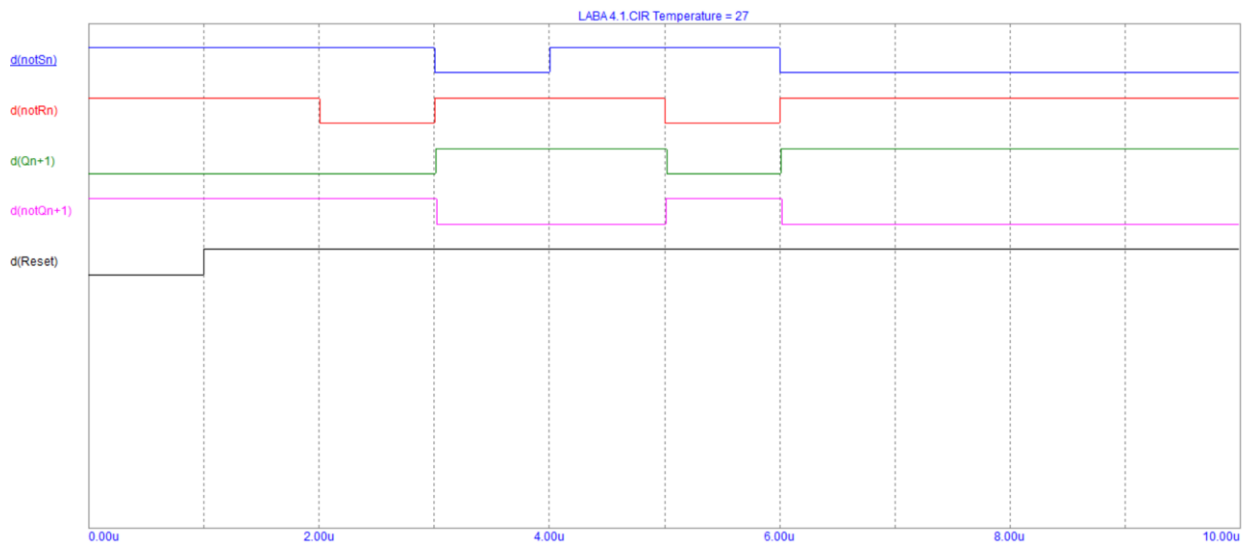


График 3 - Временная диаграмма асинхронного RS-триггера с инверсным управлением.

По результатам временной диаграммы можно сделать вывод о корректной работе схемы, т.к. значения  $Q^{n+1}$  совпадают с соответствующими значениями из таблицы истинности.

Логiku работы асинхронного RS-триггера с инверсным управлением можно описать следующим образом: теперь управляющий сигнал 0, значит при  $R^n = 1$  и  $S^n = 1$  состояние триггера в момент времени  $n + 1$   $Q^{n+1}$  равно предыдущему, т.е.  $Q^{n+1} = Q^n$ . При  $R^n = 0$  и  $S^n = 1$ , в триггер сбрасывается в 0, т.е.  $Q^{n+1} = 0$ . При  $R^n = 1$  и  $S^n = 0$ , в триггере устанавливается 1, т.е.  $Q^{n+1} = 1$ . Комбинация  $R^n = 0$  и  $S^n = 0$  является запрещенной.

Оценим время задержки:

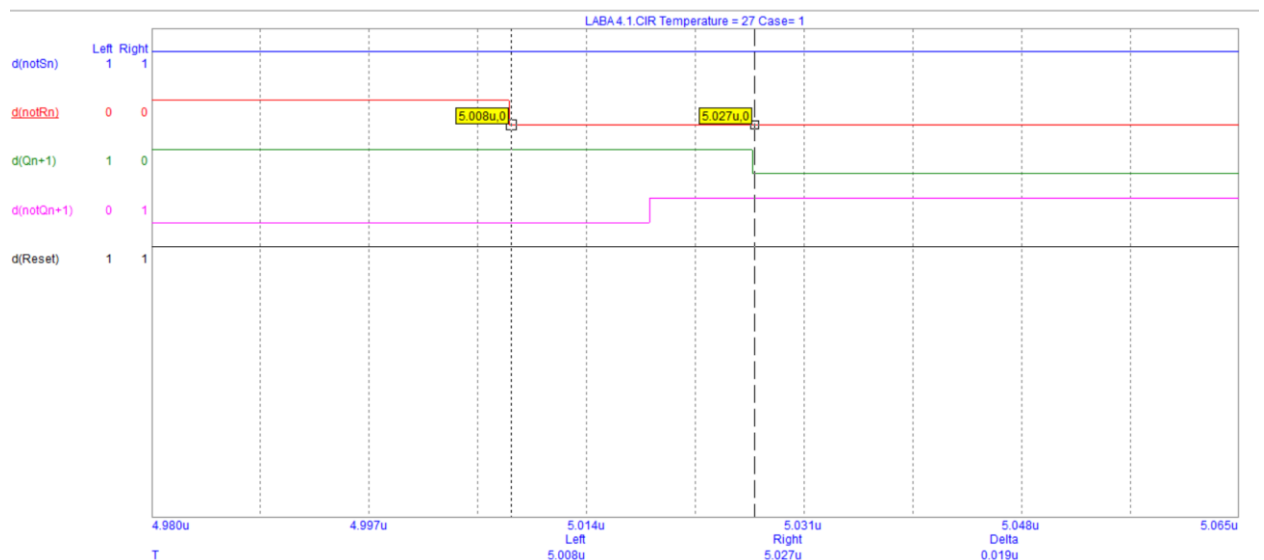


График 4 - Время задержки

Таким образом, время задержки составляет 19 наносекунд.

Выводы: асинхронные RS-триггеры с прямым и инверсным управлением имеют одинаковую задержку, однако RS-триггер с инверсным управлением имеет больше ЛЭ в схеме.

2. Про моделировать работу синхронного одноступенчатого RS-триггера с прямым и инверсным управлением. Сравнить результаты работы соответствующих RS-триггеров, в также сравнить их с RS-триггерами из п.1.

### 2.1. Синхронный одноступенчатый RS-триггер с прямым управлением.

Синхронный одноступенчатый RS-триггер с прямым управлением строится на основе асинхронного одноступенчатого RS-триггера *с инверсным управлением* и входной логики для синхронизации.

Таблица 4 - Истинности синхронного RS-триггера

$S^n$	$R^n$	$C$	$Q^n$	$Q^{n+1}$
0	0	0	0	<b>0</b>
0	0	0	1	<b>1</b>
0	0	1	0	<b>0</b>
0	0	1	1	<b>1</b>
0	1	0	0	<b>0</b>
0	1	0	1	<b>1</b>
0	1	1	0	<b>0</b>
0	1	1	1	<b>0</b>
1	0	0	0	<b>0</b>
1	0	0	1	<b>1</b>
1	0	1	0	<b>1</b>
1	0	1	1	<b>1</b>
1	1	0	0	<b>0</b>
1	1	0	1	<b>1</b>
1	1	1	0	-
1	1	1	1	-

Тогда логическое выражение:

$$Q^{n+1} = \overline{S}^n \overline{R}^n \overline{C} Q^n + \overline{S}^n \overline{R}^n C Q^n + \overline{S}^n R^n \overline{C} Q^n + S^n \overline{R}^n \overline{C} Q^n + S^n \overline{R}^n C \overline{Q}^n + S^n \overline{R}^n C Q^n$$

Минимизируем с помощью карт Карно:

Таблица 5 - Карты Карно

$S^n R^n$ $CQ^n$	00	01	11	10
00			-	
01	1	1	-	1
11	1		-	1
10			-	1

После склейки получаем:

$$Q^{n+1} = \bar{C}Q^n + \bar{R}^n Q^n + S^n C = Q^n(\bar{C} + \bar{R}^n) + S^n C = Q^n \bar{C} \bar{R}^n + S^n C$$

Таблица 6 - Карты Карно

$S^n R^n$ $CQ^n$	00	01	11	10
00	0	0	-	0
01	1	1	-	1
11	1	0	-	1
10	0	0	-	1

После склейки нулей получаем:

$$\overline{Q^{n+1}} = \bar{S}^n \bar{Q}^n + R^n C + \bar{C} \bar{Q}^n = \bar{Q}^n(\bar{S}^n + \bar{C}) + R^n C = \bar{Q}^n \bar{S}^n \bar{C} + R^n C$$

В базисе И-НЕ:

$$Q^{n+1} = \overline{\overline{Q^n \bar{C} \bar{R}^n} \cdot \overline{S^n C}}$$

$$\overline{Q^{n+1}} = \overline{\overline{Q^n \bar{S}^n \bar{C}} \cdot \overline{R^n C}}$$



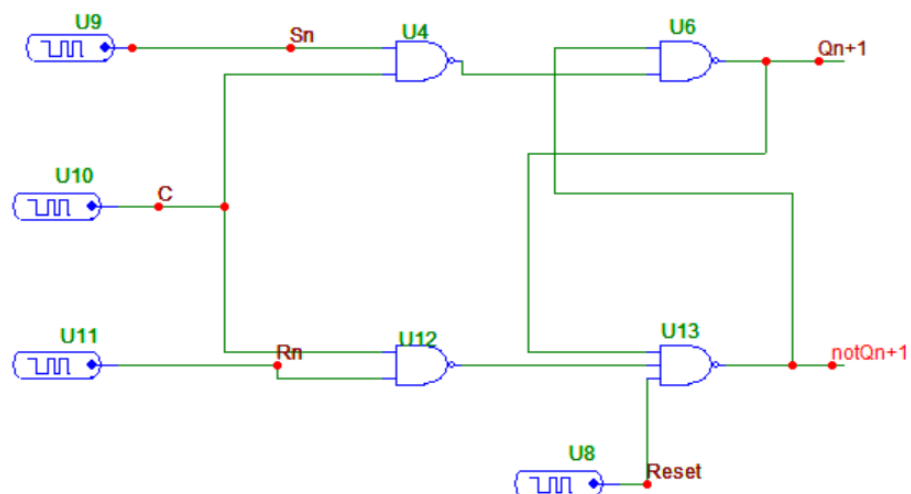


Схема 3 - Синхронный RS-триггер с прямым управлением

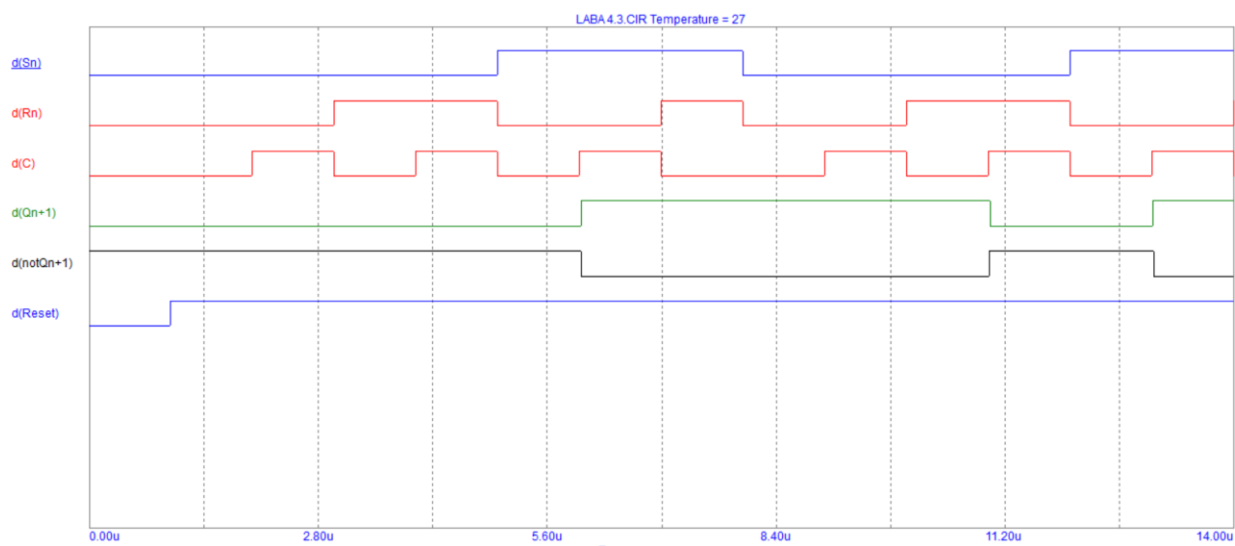


График 5 – Временная диаграмма синхронного RS-триггера с прямым управлением

Оценим время задержки:

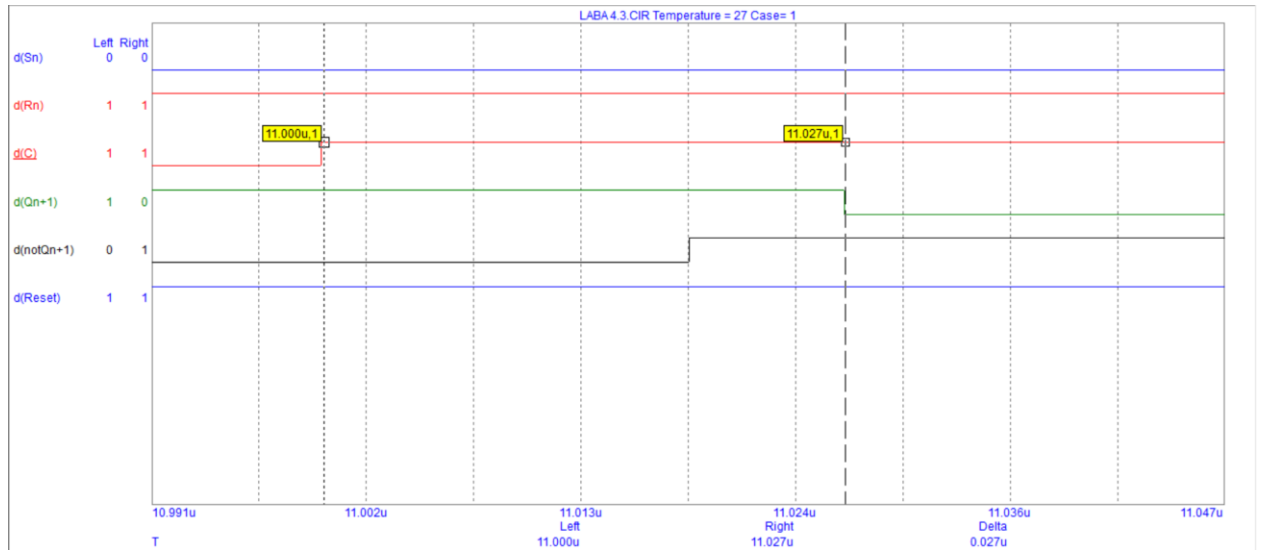


График 6 - Время задержки

Время задержки составляет 27 наносекунд.

Логика триггера можно описать так: при  $C = 0$ , независимо от значений  $R^n$  и  $S^n$  триггер не поменяет свое состояние, т.е.  $Q^{n+1} = Q^n$ . При  $C = 1$ ,  $R^n = 0$  и  $S^n = 1$  в RS-триггере установится 1, т.е.  $Q^{n+1} = 1$ , при  $C = 1$ ,  $R^n = 1$  и  $S^n = 0$  RS-триггер сбросится в 0, т.е.  $Q^{n+1} = 0$ , по-прежнему комбинация  $C = 1$ ,  $R^n = 1$  и  $S^n = 1$  является запрещенной.

## 2.2. Синхронный одноступенчатый RS-триггер с инверсным управлением.

Представим в базисе ИЛИ-НЕ:

$$\overline{Q^{n+1}} = \overline{Q^n \overline{C} R^n + S^n C} = \overline{\overline{Q^n} + C R^n + \overline{S^n} + \overline{C}} = \overline{\overline{Q^n} + \overline{C} + R^n + \overline{S^n} + \overline{C^n}}$$

$$Q^{n+1} = \overline{\overline{Q^n} \overline{S^n} \overline{C} + R^n C} = \overline{Q^n + \overline{S^n} + \overline{C} + R^n + \overline{C}}$$

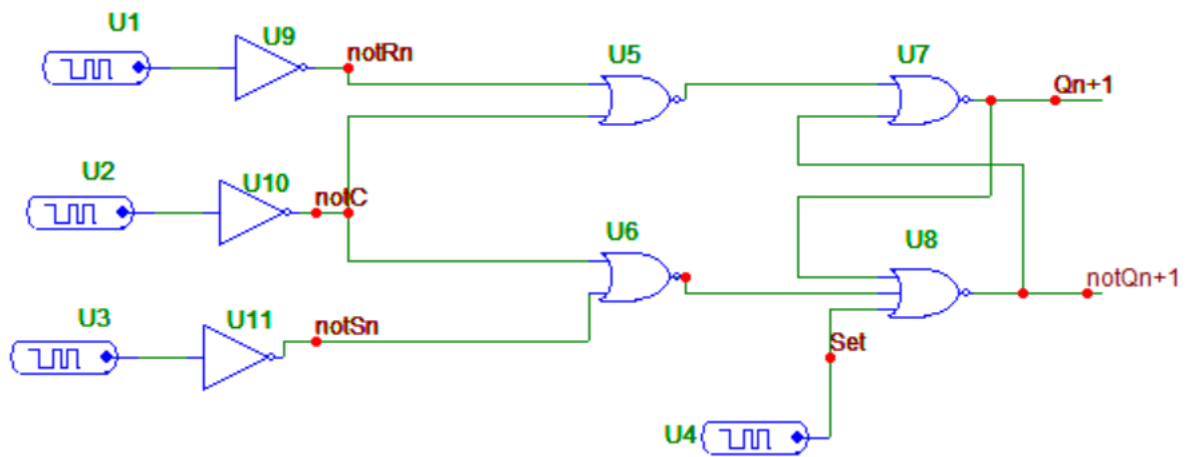


Схема 4 - Синхронный одноступенчатый RS-триггер с инверсным управлением

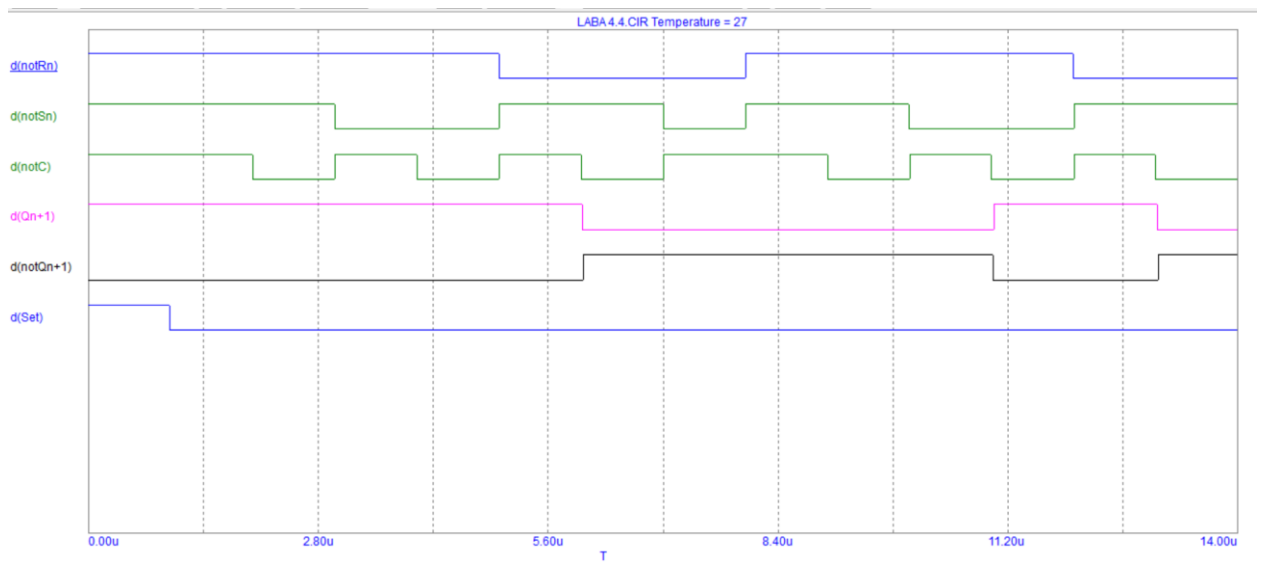


График 7 – Временная диаграмма синхронного одноступенчатого RS-триггера с инверсным управлением

LABA 4.4 CIR Temperature = 27 Case= 1

Left Right

d(notRn) 1 1

d(notSn) 0 0

d(notC) 0 0

d(Qn+1) 0 1

d(notQn+1) 1 0

d(Set) 0 0

11.008u 0

11.038u 0

10.952u 10.990u 11.029u 11.067u 11.105u 11.143u

T Left Right Delta

11.008u 11.038u 0.030u

Так, время задержки 30 наносекунд.

Выводы: синхронный одноступенчатый RS-триггер с прямым управлением формирует результат быстрее, чем RS-триггер с инверсным управлением. Помимо этого RS-триггер с инверсным управлением имеет больше ЛЭ в схеме.

Сравнивая результаты с асинхронным RS-триггером, можно заметить, что время задержки на асинхронном RS-триггере меньше. Главное же отличие в формировании результата состоит в том, что в синхронных триггерах используется отдельный вход для синхронизирующего сигнала. Синхронный RS-триггер отличается от асинхронного RS-триггера наличием дополнительной входной цепи синхронизации. Поэтому, в отличие от асинхронного RS-триггера, синхронный RS-триггер может перейти в новое состояние по внешним сигналам управления только при появлении активного уровня разрешающего синхросигнала С.

3. Построить схему синхронного двухступенчатого RS-триггера, в системе схемотехнического моделирования Micro-Cap проанализировать временную диаграмму работы синхронного двухступенчатого RS-триггера, по временной диаграмме сравнить логику работы данного триггера с одноступенчатым RS-триггером.

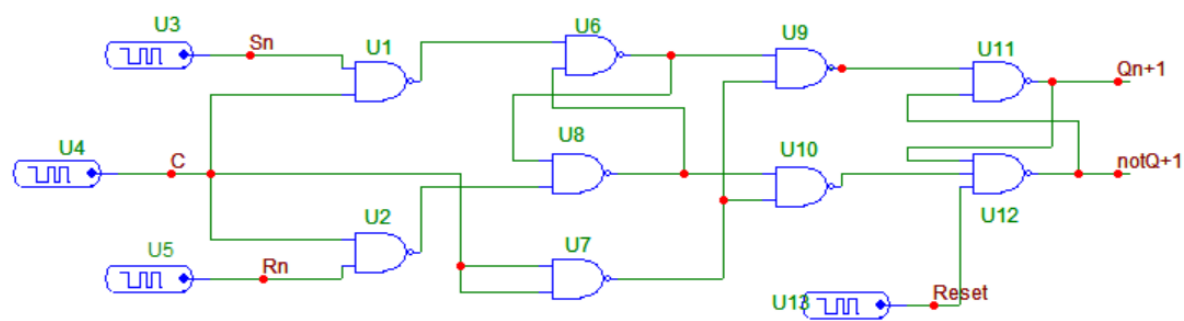


Схема 5 - Синхронный двухступенчатый RS-триггер

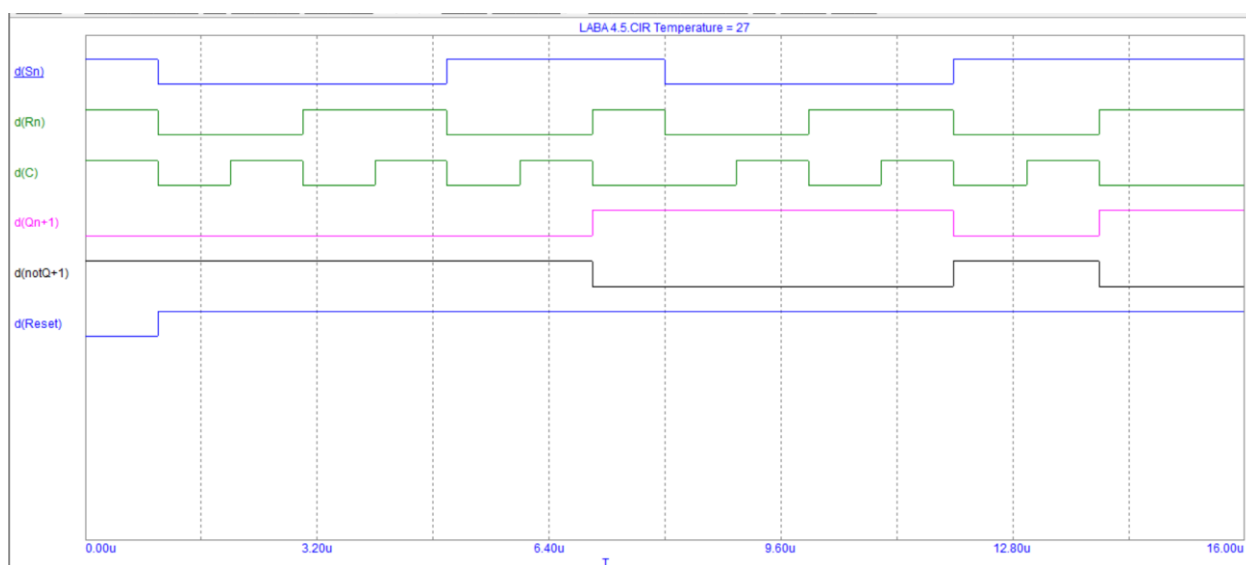


График 9 - Временная диаграмма синхронного двухступенчатого RS-триггера

Оценим время задержки:

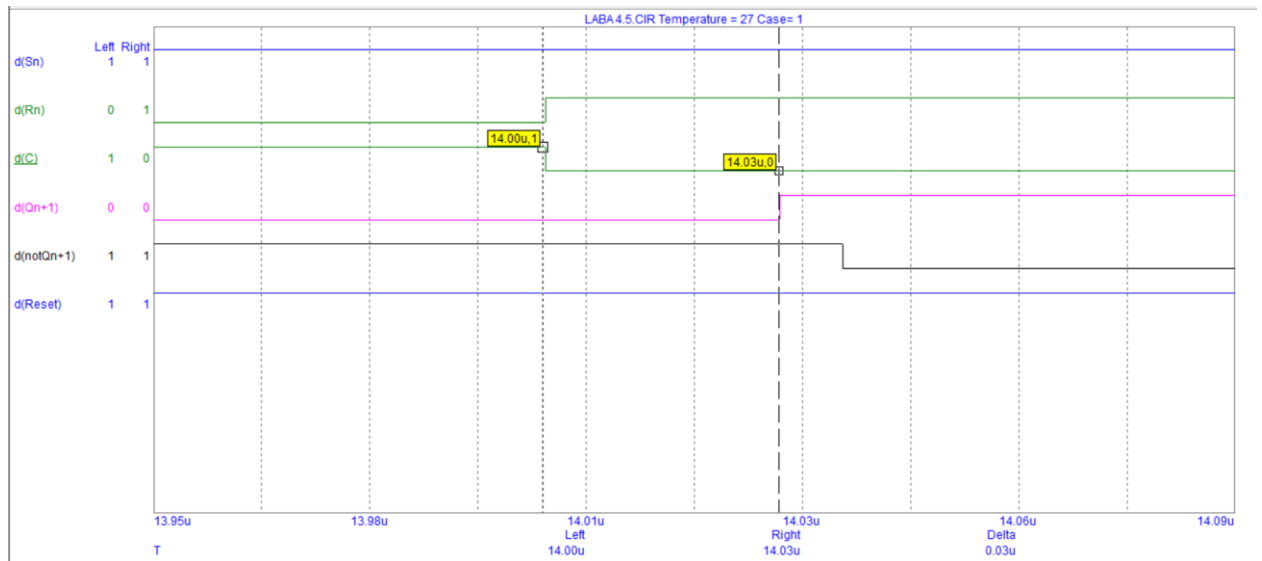


График 10 - Время задержки

Время задержки составляет 30 наносекунд.

Выводы: из временной диаграммы хорошо видно, что в отличие от одноступенчатого RS-триггера, переключение двухступенчатого RS-триггера происходит не при поступлении активного уровня синхросигнала C, а лишь по его окончании. Формирование же результата осуществляется дольше. ЛЭ в схеме также используется больше.

4. Согласно п.1 на основе синхронного двухступенчатого RS-триггера проанализировать в системе схемотехнического моделирования Micro-Cap логику работы D-триггера.

Таблица истинности для D-триггера:

Таблица 7 - Таблица истинности D-триггера

$D^n$	$C$	$Q^n$	$Q^{n+1}$
0	0	0	<b>0</b>
0	0	1	<b>1</b>
0	1	0	<b>0</b>
0	1	1	<b>0</b>
1	0	0	<b>0</b>
1	0	1	<b>1</b>
1	1	0	<b>1</b>
1	1	1	<b>1</b>

$$Q^{n+1} = \bar{C} \bar{D}^n Q^n + \bar{C} D^n Q^n + C D^n \bar{Q}^n + C D^n Q^n = \bar{C} Q^n (\bar{D}^n + D^n) + C D^n (\bar{Q}^n + Q^n) = \bar{C} Q^n + C D^n$$

Из логического выражения следует, что принцип работы D-триггера можно писать следующим образом: когда  $C = 0$  триггер не меняет свое состояние, т.е.  $Q^{n+1} = Q^n$ , а при  $C = 1$  состояние триггера станет равным  $D^n$ , т.е.  $Q^{n+1} = D^n$ .

Для обеспечения логики работы D-триггера у двухступенчатого RS- триггера вход  $S$  надо объединить (через инвертор) с входом  $R$ . Таким образом, исключается возможность возникновения запрещенного состояния в RS-триггере.

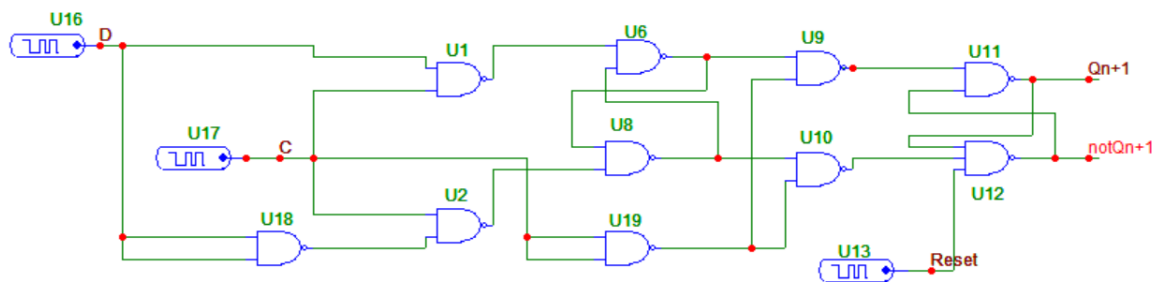


Схема 6 - D-триггер

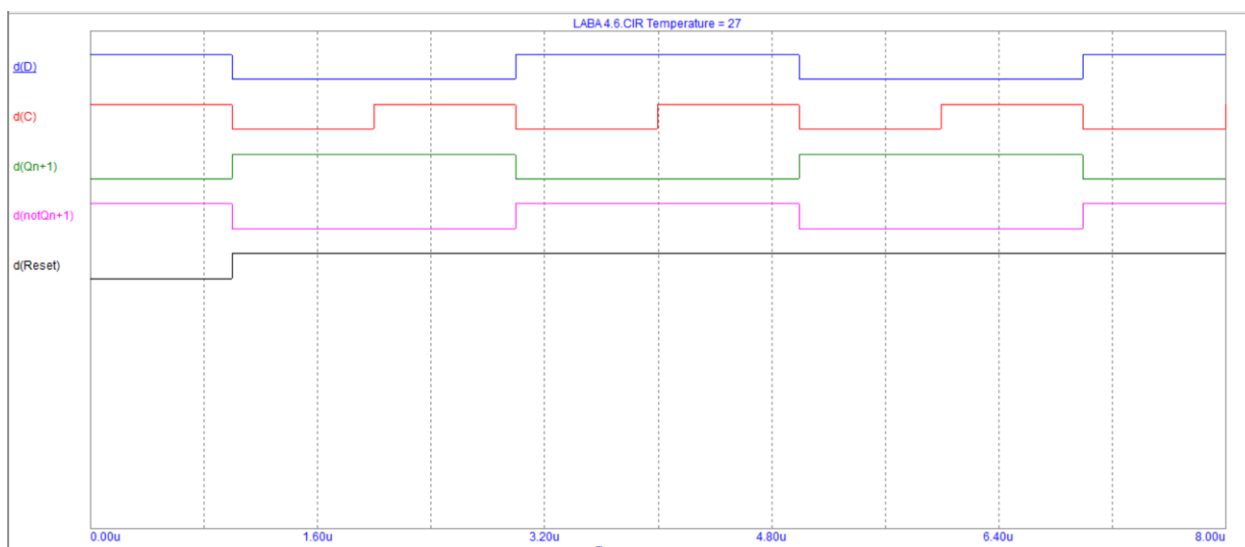


График 11 - Временная диаграмма D-триггера

Анализируя временную диаграмму D-триггера, убеждаемся в том, что действительно при  $C = 1$  состояние триггера равно  $D^n$ , в противном случае состояние не меняется.

Так же сделаем вывод о корректной работе схемы, т.к. значения  $Q^{n+1}$  из временной диаграммы совпадают со значениями из таблицы.



5. Согласно п.1 на основе синхронного двухступенчатого RS-триггера собрать схему Т-триггера, проанализировать в системе схемотехнического моделирования Micro-Cap логику работы Т-триггера.

Таблица истинности для синхронного двухступенчатого Т-триггера:

Таблица 8 - Таблица истинности Т-триггера

$T^n$	$C$	$Q^n$	$Q^{n+1}$
0	0	0	<b>0</b>
0	0	1	<b>1</b>
0	1	0	<b>0</b>
0	1	1	<b>1</b>
1	0	0	<b>0</b>
1	0	1	<b>1</b>
1	1	0	<b>1</b>
1	1	1	<b>0</b>

$$Q^{n+1} = \overline{T^n} \overline{C} Q^n + \overline{T^n} C Q^n + T^n \overline{C} Q^n + T^n C \overline{Q^n} = C(\overline{T^n} Q^n + T^n \overline{Q^n}) + \overline{C} Q^n (\overline{T^n} + T^n) = C(T^n \oplus Q^n) + \overline{C} Q^n$$

Из логического выражения следует, что принцип работы Т-триггера можно писать следующим образом: когда  $C = 0$  триггер не меняет свое состояние, т.е.  $Q^{n+1} = Q^n$ , а при  $C = 1$  состояние триггера станет равным  $Q^{n+1} = (T^n \oplus Q^n)$ .

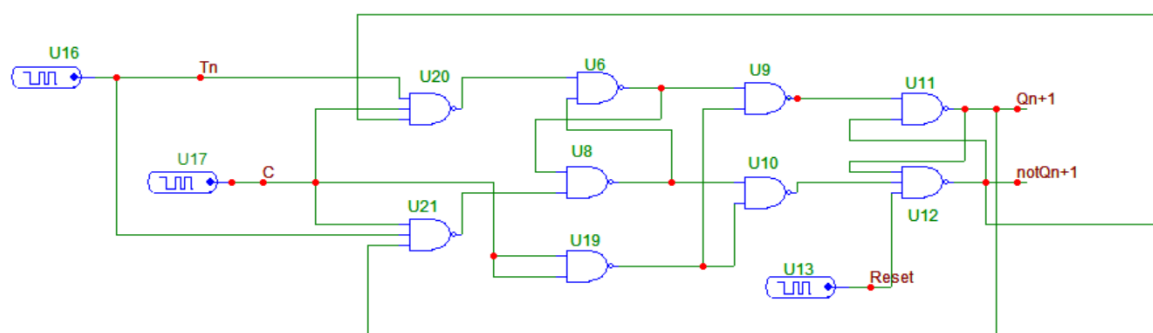


Схема 7 - Т-триггер

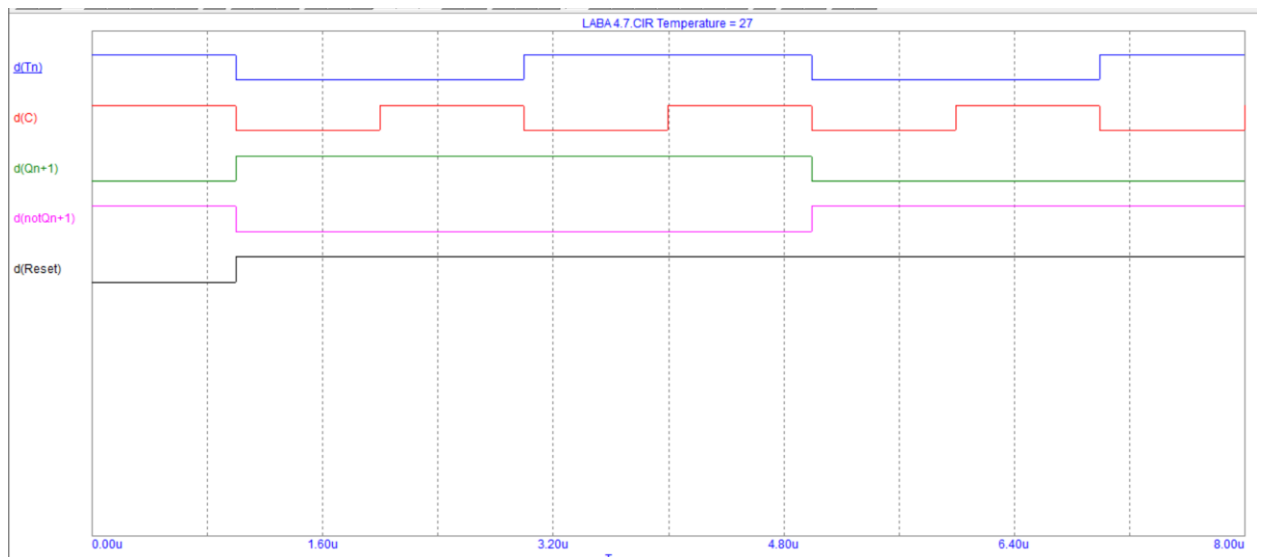


График 12 - Временная диаграмма Т-триггера

Анализируя временную диаграмму D-триггера, убеждаемся в том, что действительно при  $C = 1$  состояние триггера равно  $T^n \oplus Q^n$ , в противном случае состояние не меняется.

Так же сделаем вывод о корректной работе схемы, т.к. значения  $Q^{n+1}$  из временной диаграммы совпадают со значениями из таблицы.

6. Согласно п.1 проверить логику работы универсального JK-триггера для следующих режимов работы: режима RS-триггера, Т-триггера и D-триггера.

Таблица 9 - Таблица истинности JK-триггера

$J^n$	$K^n$	$C$	$Q^n$	$Q^{n+1}$
0	0	0	0	<b>0</b>
0	0	0	1	<b>1</b>
0	0	1	0	<b>0</b>
0	0	1	1	<b>1</b>
0	1	0	0	<b>0</b>
0	1	0	1	<b>1</b>
0	1	1	0	<b>0</b>
0	1	1	1	<b>0</b>
1	0	0	0	<b>0</b>
1	0	0	1	<b>1</b>

1	0	1	0	<b>1</b>
1	0	1	1	<b>1</b>
1	1	0	0	<b>0</b>
1	1	0	1	<b>1</b>
1	1	1	0	<b>1</b>
1	1	1	1	<b>0</b>

$$Q^{n+1} = \bar{C}Q^n (J^n(K^n + \bar{K}^n) + \bar{J}^n(K^n + \bar{K}^n)) + CQ^n(\bar{J}^n \bar{K}^n + J^n \bar{K}^n) + \\ C\bar{Q}^n(J^n \bar{K}^n + J^n K^n) = \bar{C}Q^n + C(Q^n \bar{K}^n + \bar{Q}^n J^n)$$

Из логического выражения следует, что принцип работы JK-триггера можно писать следующим образом: когда  $C = 0$  триггер не меняет свое состояние, т.е.  $Q^{n+1} = Q^n$ , а при  $C = 1$  состояние триггера меняется так: если  $K^n = 1$ , а  $J^n = 0$ , то состояние триггера станет равным 0 (независимо от того, каким было  $Q^n$ ), т.е.  $Q^{n+1} = 0$ , если  $K^n = 0$ , а  $J^n = 1$  то состояние триггера станет равным 1 (независимо от того, каким было  $Q^n$ ), т.е.  $Q^{n+1} = 1$ , если  $K^n = 0$  и  $J^n = 0$  то состояние триггера станет равным  $Q^n$ , т.е.  $Q^{n+1} = Q^n$  и, наконец, если  $K^n = 1$  и  $J^n = 1$  то состояние триггера станет равным  $\bar{Q}^n$ , т.е.  $Q^{n+1} = \bar{Q}^n$ .

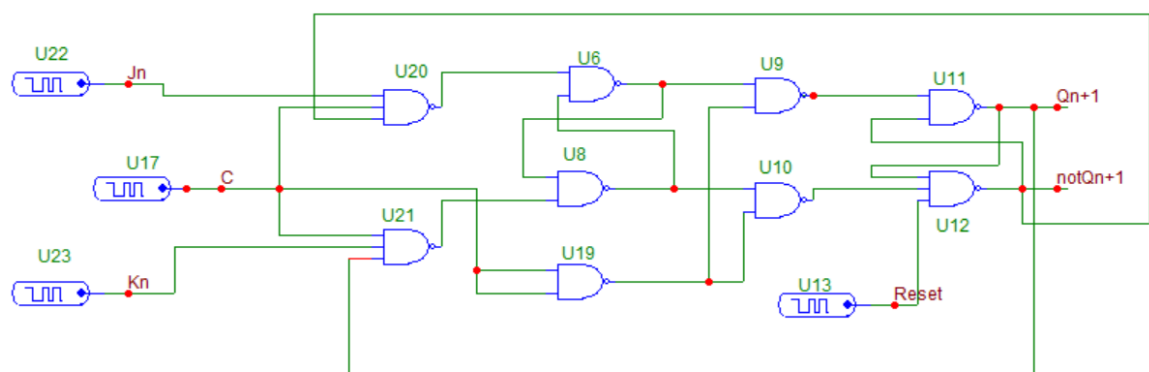


Схема 8 -JK-триггер

Анализируя логическое выражение, заметим, что в зависимости от комбинаций значений переменных  $J^n$  и  $K^n$ , JK-триггер может работать в режиме RS-триггера, в режиме Т-триггера и в режиме D-триггера.

Когда  $J^n = 1$ ,  $K^n = 0$ ,  $J^n = 0$ ,  $K^n = 1$  или  $J^n = 0$ ,  $K^n = 0$  JK-триггер работает в режиме RS-триггера.

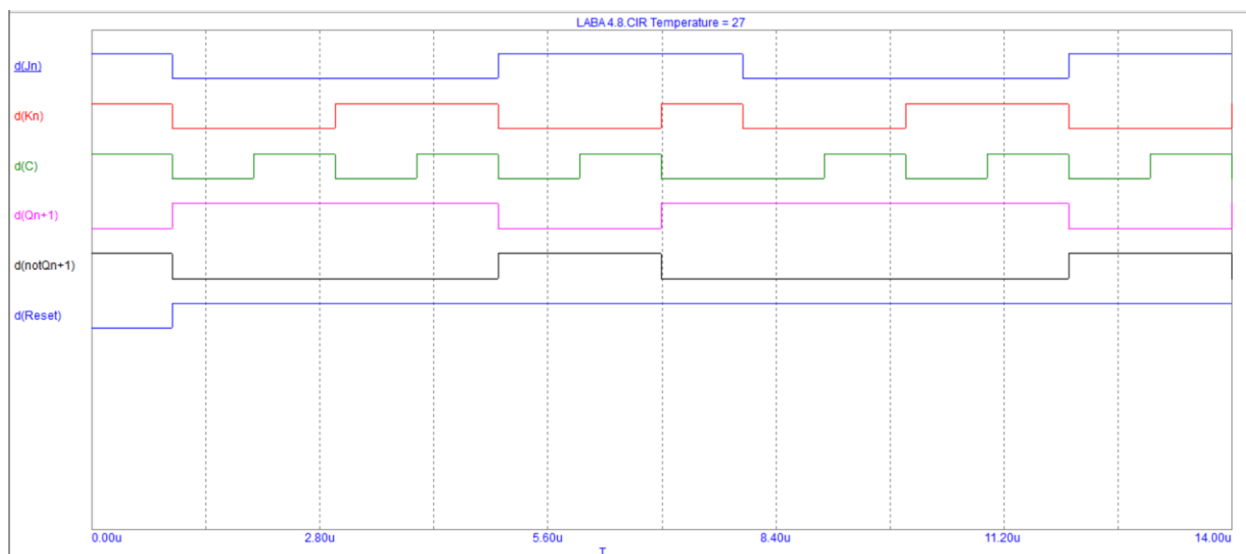


График 13 - Временная диаграмма JK-триггера

Когда  $J^n = 1$ ,  $K^n = 1$  или  $J^n = 0$ ,  $K^n = 0$  JK-триггер работает в режиме Т-триггера.

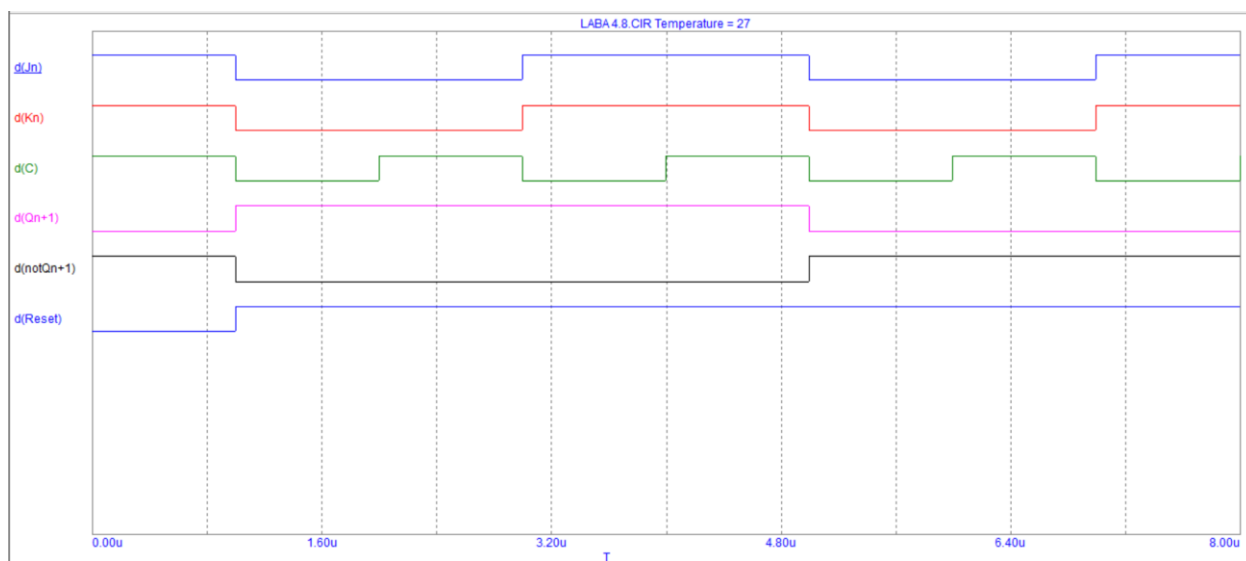


График 14 - JK-триггер работает в режиме Т-триггера

Когда  $J^n = 1$ ,  $K^n = 0$  или  $J^n = 0$ ,  $K^n = 1$  JK-триггер работает в режиме D-триггера.

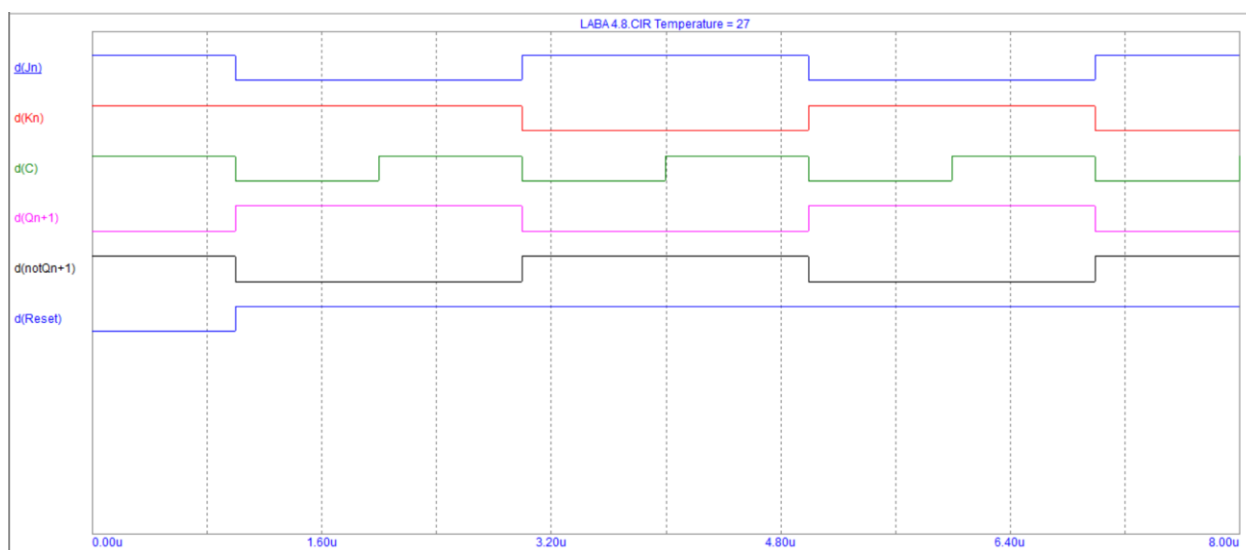


График 15 - JK-триггер работает в режиме D-триггера

**Выводы:** в ходе выполнения лабораторной работы Исследовать работу одноступенчатого асинхронного RS-триггера с прямым и инверсным управлением, привела соответствующие таблицы истинности, логические выражения, а также построила временные диаграммы работы триггеров.

Промоделировала работу синхронного одноступенчатого RS-триггера с прямым и инверсным управлением.

Построила схему синхронного двухступенчатого RS-триггера.

Собрала схему и проанализировала в системе схемотехнического моделирования Micro-Cap логику работы D-триггера.

Собрала схему Т-триггера, проанализировала логику работы Т-триггера.

Проверила логику работы универсального JK-триггера для следующих режимов работы: режима RS-триггера, Т-триггера и D-триггера.