

Лабораторная работа «Триггеры»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с основными характеристиками и испытание интегральных триггеров RS , D , T и JK .

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ И РАСЧЁТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Триггер – это устройство последовательностного типа с двумя устойчивыми состояниями равновесия, предназначенное для записи и хранения информации. Под действием входных сигналов триггер может переключаться из одного устойчивого состояния в другое. При этом напряжение на его выходе скачкообразно изменяется с низкого уровня на высокий или наоборот.

По способу записи информации триггеры делят на *асинхронные*, которые переключаются в момент подачи входного сигнала, и *синхронные* (тактируемые), которые переключаются только при подаче синхронизирующих импульсов, а момент переключения связан с определённым уровнем синхросигнала (*статические* триггеры) или с моментом перепада напряжения на тактируемом входе (*динамические* триггеры).

Как правило, триггер имеет два выхода: прямой Q и инверсный \overline{Q} . Число входов зависит от структуры и функций, выполняемых триггером. Например, асинхронные RS -триггеры имеют два входа: вход S установки в *единичное* состояние прямого выхода Q и вход R установки в *нулевое* состояние выхода Q . Синхронные триггеры для занесения в них информации, помимо информационных входов S (J) и R (K), имеют синхронизирующий C или счётный T вход, а триггеры задержки – информационный вход D .

Наибольшее распространение в цифровых устройствах получили триггеры RS , D , T и JK .

1. АСИНХРОННЫЙ И СИНХРОННЫЙ RS -ТРИГГЕРЫ

Простейшим триггером является *асинхронный* RS -триггер, условное графическое изображение которого представлено на рис. 32.1, *а*, а принцип его работы поясняется таблицей истинности (табл. 32.1). Триггер имеет два отдельных информационных входов: R и S и два выхода: Q и \overline{Q} . Независимым является один (прямой) выход Q , так как инверсный сигнал \overline{Q} можно получить с помощью внешнего инвертора.

Рассмотрим табл. 32.1. Обозначим Q^t сигнал на выходе триггера до поступления сигнала 1 на его вход S . При подаче сигналов $S = 1$ и $R = 0$ триггер переходит в состояние $Q^{t+1} = 1$. При поступлении сигналов $R = 1$ и $S = 0$ на выходе устанавливается $Q^{t+1} = 0$. При отсутствии новых команд состояние триггера не изменяется: триггер сохраняет информацию о последней из поступивших команд. Естественно, что комбинация сигналов $S = 1$ и $R = 1$ относится к запрещённым, так как при её подаче на входы триггера на его выходе Q^{t+1} устанавливается либо 1, либо 0.

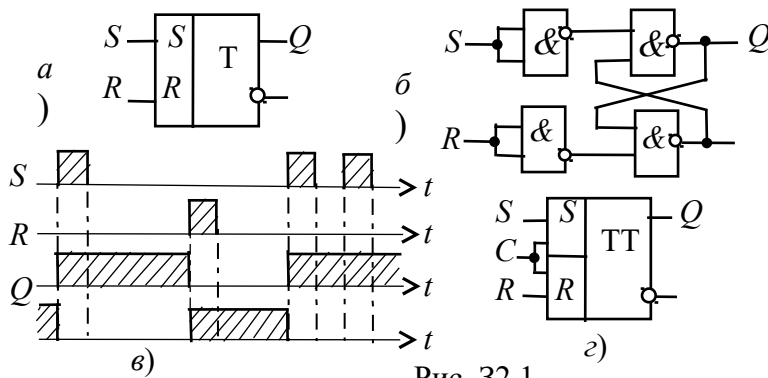


Рис. 32.1

Т а б л и ц а 32.1
 Q^{t+1}

На основании табл. 32.1 запишем аналитическое выражение функционирования RS -триггера:

$$Q^{t+1} = S + Q^t R.$$

На рис. 32.1, в изображена временная диаграмма, иллюстрирующая его работу. В момент, когда подаётся сигнал $S = 1$, триггер переходит в состояние $Q = 1$. При отсутствии входных сигналов состояние триггера не изменяется, а в момент подачи сигнала $R = 1$ триггер переключается в состояние $Q = 0$, в котором пребывает до поступления нового единичного сигнала на S -вход.

RS -триггер может быть построен на различных логических элементах. На рис. 31.1, б показана схема реализации RS -триггера на базовых элементах И-НЕ, в которой использована положительная обратная связь (ПОС) с выходов триггера на входы логических элементов. Именно наличие ПОС отличает триггер от ранее рассмотренных комбинационных логических устройств: посредством сигналов ПОС в триггере фиксируется его предшествующее состояние.

Асинхронный RS -триггер можно преобразовать в *синхронный*, если добавить третий синхронизирующий вход C (рис. 32.1, г), соединенный, например, с нижними, предварительно разделёнными, входами двух левых элементов И-НЕ (см. рис. 32.1, б).

Вход C обеспечивает функционирование RS -триггера по закону

$$Q^{t+1} = Q^t (\bar{C} + \bar{R}) + CS.$$

Переключение синхронного RS -триггера в состояние $Q = 1$ происходит при $S = 1$ (или в состояние $Q = 0$ при $R = 1$) в момент прихода синхроимпульса C . При $C = 0$ информация с S - и R -входов на триггер не передается.

2. Т-ТРИГГЕР

Триггер со счетным запуском (*T-триггер*) должен переключаться каждым импульсом, подаваемым на единственный счётный вход T (рис. 32.2, а). Функционирование T -триггера определяется уравнением

$$Q^{t+1} = Q^t \bar{T} + \bar{Q}^t T.$$

Он может быть реализован, например, на базе двух синхронных RS -триггеров (рис. 32.2, б). С появлением фронта тактового импульса триггер T_1 первой ступени переключается в состояние, противоположное состоя-

нию триггера T_2 . Но это не вызывает изменение сигналов на выходах Q и \overline{Q} , так как за счёт инвертора на тактовый вход C триггера T_2 в данный момент подан логический 0. Только на срезе счетного импульса на входе T_1 переключится триггер T_2 и произойдёт изменение сигналов на выходах Q и \overline{Q} , а также на S - и R -входах первой ступени.

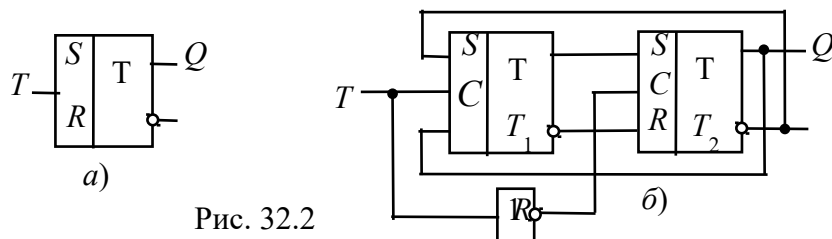


Рис. 32.2

3. D-ТРИГГЕР

Триггер задержки (*D-триггер*) может быть только синхронным, так как имеет один информационный D -вход, информация с которого переписывается на выход триггера только по тактовому сигналу, подаваемому на C -вход. Условное изображение D -триггера приведено на рис. 32.3, а. Реализовать его можно на различных логических элементах, в том числе, на основе синхронного RS -триггера, дополненного инвертором (рис. 32.3, б). Из анализа табл. 32.2 переключательной функции D -триггера

$$Q^{t+1} = \overline{C}^t Q^t + C^t Q^t$$

следует, что при отсутствии синхроимпульса ($C = 0$) состояние триггера остается неизменным. При условии же $C = 1$ триггер передает на выход сигнал, поступивший на его вход D в предыдущем такте, т. е. выходной сигнал Q^{t+1} изменяется с задержкой на один период импульсов синхронизации.

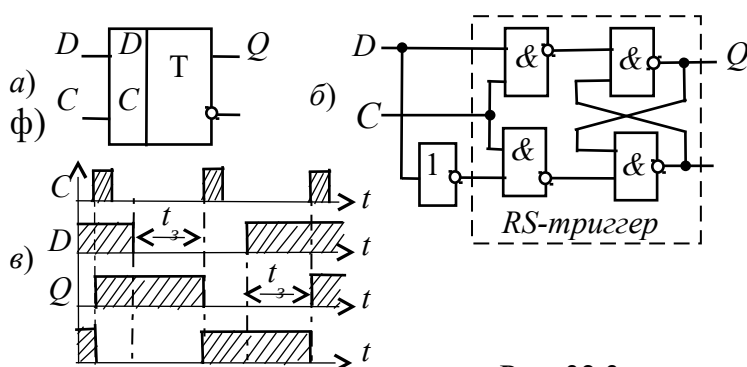


Рис. 32.3

Т а б л и ц а 32.2

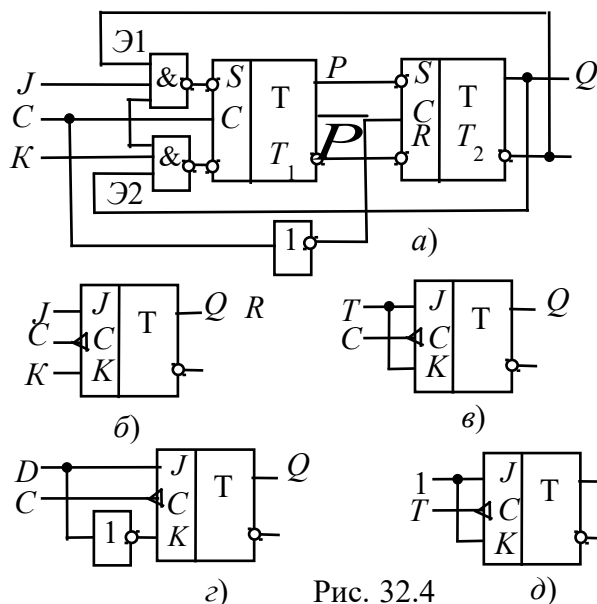
| C^t | D^t | Q^t | Q^{t+1} |
|-------|-------|-------|-----------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

Из анализа временной диаграммы D -триггера (рис. 32.3, в) также следует, что выходной сигнал Q триггера повторяет состояние D -входа с поступлением очередного тактового импульса на вход C с задержкой t_3 относительно сменившегося логического состояния на D -входе.

4. JK-ТРИГГЕР

Т а б л и ц а 32.3

| J^t | K^t | Q^t | Q^{t+1} |
|---------|---------|---------|-----------|
| 0000100 | 1010011 | 1010011 | 1101 |
| | 1011011 | 110 | |



На рис. 32.4, *а* изображена одна из функциональных схем *JK*-триггера. Она отличается от схемы *T*-триггера (см. рис. 32.2, *б*) двумя трёхвходовыми элементами И-НЕ Э1 и Э2 входной логики первой ступени *JK*-триггера. Переключающий вход *C* – динамический (рис. 32.4, *б*): переключение *JK*-триггера происходит в момент перепада синхроимпульса с уровня *C* = 1 на уровень *C* = 0, т. е. при срезе.

При $J = 0$ и $K = 0$ на выходе элементов Э1 и Э2 устанавливаются логические единицы, которые для триггеров с инверсными входами являются пассивными сигналами: триггер T_1 и, следовательно, JK -триггер в целом сохраняют прежнее состояние (см. рис. 32.4, а). Логическая 1 на одном из входов элемента И-НЕ не определяет 1 на его выходе и комбинация $J = 1$, $K = 1$ никак не влияет на входную логику первой ступени, поэтому схемы T - и JK -триггеров (см. рис. 32.2, б и рис. 32.4, а) принципиально не отличаются: оба работают в счетном режиме.

Только при комбинации сигналов $J = 1$, $C = 1$ и $\overline{Q} = 1$ на входе элемента Э1 триггер T_1 переключится в состояние $P = 1$. Аналогично логический 0 будет на выходе элемента Э2, когда $K = 1$, $C = 1$ и $Q = 1$.

Таким образом, комбинация $J = 1, K = 0$ обуславливает по тактовому импульсу $C = 1$ переключение JK -триггера в целом в состояние $Q = 1$, а комбинация $J = 0, K = 1$ – в состояние $Q = 0$.

Из анализа табл. 32.3 переключательной функции JK -триггера

$$Q^{t+1} = \bar{K}^t Q^t + J^t \bar{Q}^t$$

следует, что состояние триггера определяется не только уровнями сигналов на информационных входах J и K , но и состоянием Q^t , в котором ранее находился JK -триггер. Так, при комбинации $J = 0, K = 0$ триггер сохраняет предыдущее состояние ($Q^{t+1} = Q^t$); комбинация $J = 1, K = 1$ приводит к тому, что тактовым импульсом триггер переключается в состояние, противоположное предыдущему: $Q^{t+1} = \bar{Q}^t$. Комбинации $J = 1, K = 0$ и $J = 0, K = 1$ дают разрешение триггеру переключиться соответственно в состояния $Q = 1$ и $Q = 0$.

На основе JK -триггера (рис. 32.4, б) могут быть выполнены синхронный (рис. 32.4, в) и асинхронный (рис. 32.4, г) T -триггеры, D -триггер (рис. 32.4, д) и синхронный RS -триггер (рис. 32.4, е).

При проектировании сложных логических схем (микросхем) необходимы триггеры различных типов, которые можно было бы выполнить на основе одного универсального триггера и использовать его в разных режимах работы и модификациях. В интегральной схемотехнике наибольшее распространение получили D - и JK -триггеры.

УЧЕБНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

Задание 1. Собрать на рабочем поле среды MS10 схему для испытания *асинхронного RS -триггера* (рис. 32.5) и **установить** в диалоговых окнах компонентов их параметры или режимы работы. **Скопировать** схему (рис. 32.5) на страницу отчёта.

Схема (рис. 32.5) собрана на четырёх логических элементах И-НЕ (**NAND**). На входы S и R элементов **NAND1** и **NAND2** через ключи **1** и **2** подаются логические сигналы 1 или 0 от источника прямоугольных импульсов **E1** с амплитудой 5 В. К выходам Q и \bar{Q} элементов **NAND3** и **NAND4**, т. е. к выходам триггера, как и к его входам S и R , подключены пробники **X1**, **X2**, **X3** и **X4** с пороговым напряжением 5 В.

Воспользовавшись порядком засвечивания разноцветных пробников и задавая коды (00, 01, 10) состояния ключей **1** и **2** (входных сигналов), **составить** таблицу истинности RS -триггера. Например, сформировав с помощью ключей сигналы $S = 1$ и $R = 0$ и подав их на вход триггера, получите на его выходе сигналы $Q = 1$ и $\bar{Q} = 0$ (см. рис. 32.5). Убедитесь, что при запрещённом коде 11 входных сигналов, на выходе RS -триггера могут засветиться оба пробника, или оба не светятся.

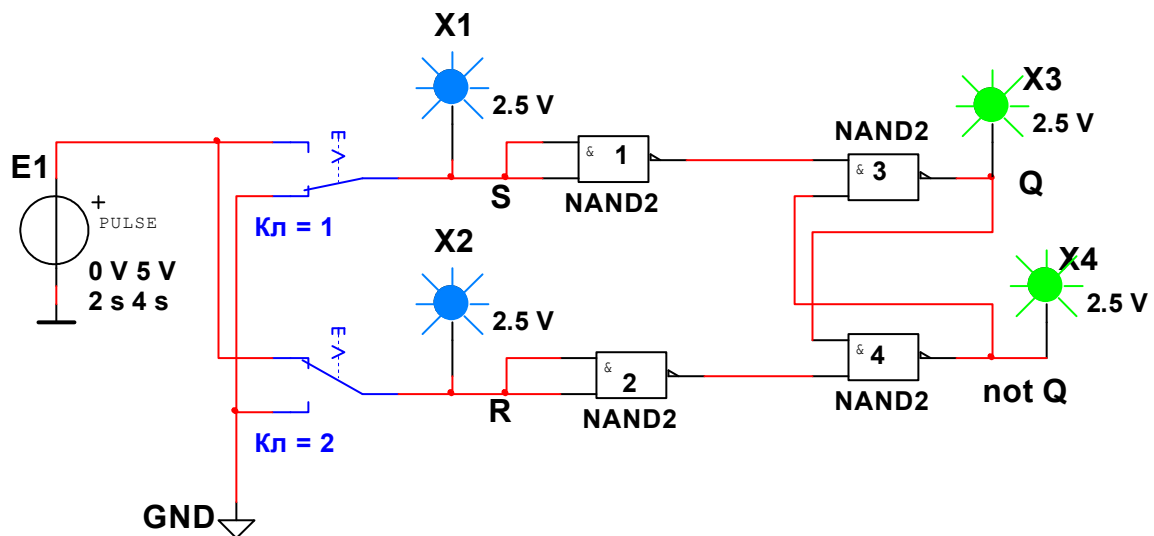


Рис. 32.5

Задание 2. Подключить к входам триггера логический генератор (генератор слова) **XWG1** (рис. 32.6), запрограммировав его первые три ячейки кодами 00, 10 и 01 и соединив входы и выходы триггера с входами логического анализатора **XLA2**.

В диалоговом окне генератора слова **XWG1** задать частоту $f_z = 10$ кГц и два цикла моделирования сигналов (в режиме **Однократно**), а в окне анализатора **XLA2** – частоту $f_a = 0,1$ МГц таймера, уровень высокого напряжения $U_m = 5$ В, число импульсов **Время/Дел** = 8 таймера, приходящихся на одно деление.

Получить на экране анализатора **XLA2** временную диаграмму состояний *RS*-триггера (см. рис. 32.6, внизу). **Скопировать** схему испытания и временную диаграмму состояния *RS*-триггера на страницу отчёта.

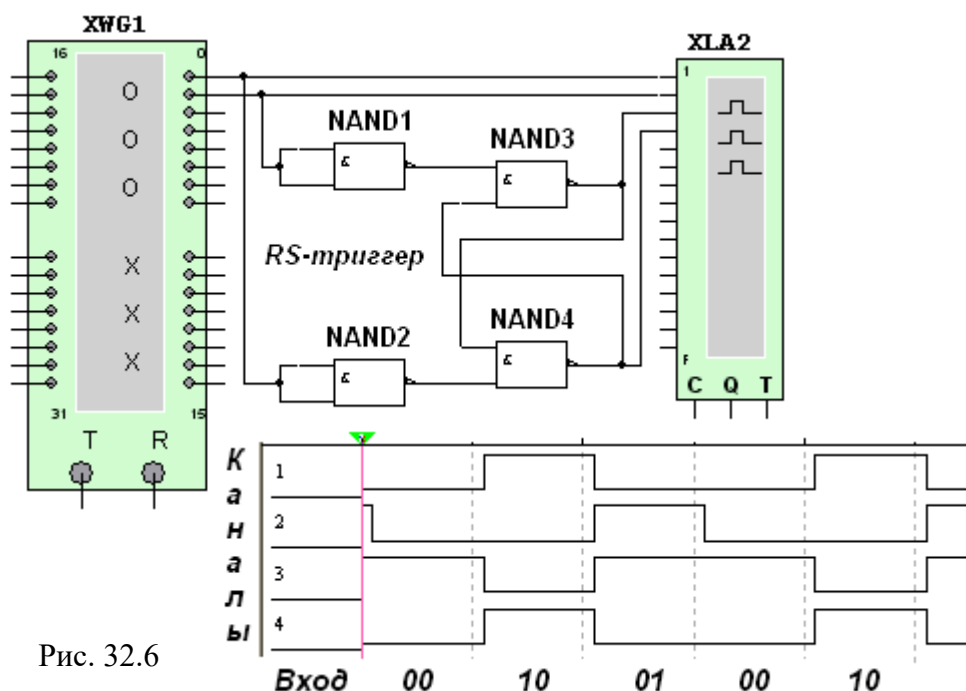


Рис. 32.6

Задание 3. Собрать на рабочем поле среды MS10 схему для испытания триггеров **JK**, **T** и **D** (рис. 32.7) и установить в диалоговых окнах компонентов их параметры или режимы работы. Скопировать схему (рис. 32.7) на страницу отчёта.

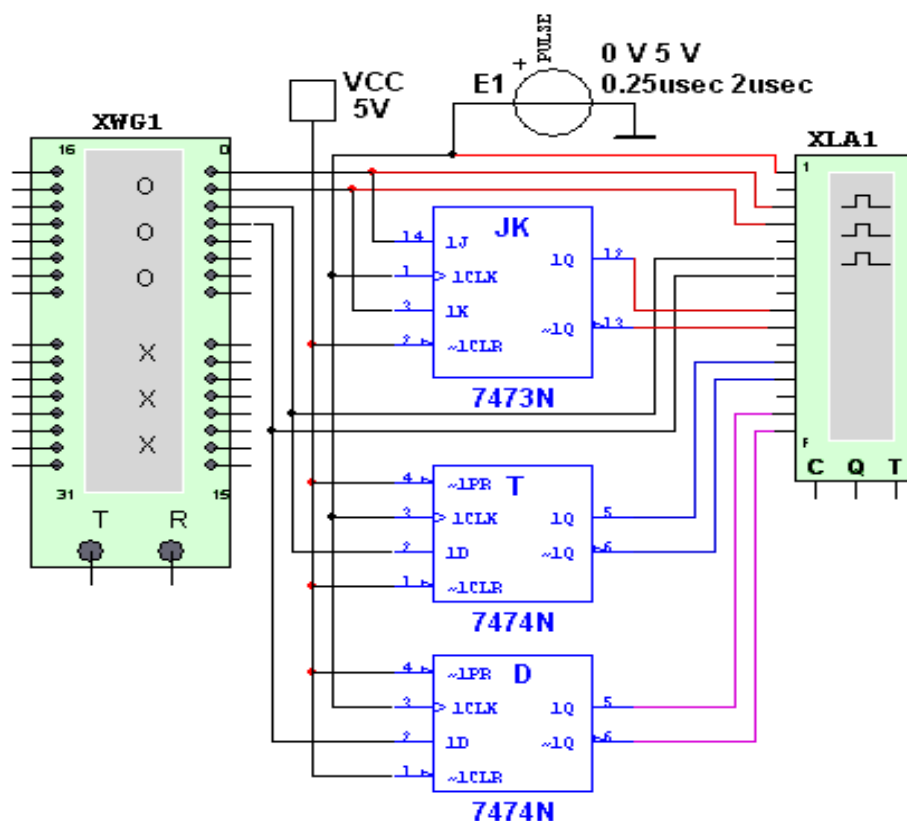


Рис. 32.7

В схему (рис. 32.7) включены: генератор **XWG1** (частота $f_2 = 500$ кГц); логический анализатор **XLA1**; триггеры в интегральном исполнении: универсальный **JK**, счётный **T** и задержки **D**.

На $\overline{1CLR}$ - и $\overline{1PK}$ -входы триггеров подаётся постоянное напряжение 5 В (имитирующее сигнал 1) источника **VCC**, а на $1C$ -входы триггеров и на вход 20 анализатора **XLA1** поступают тактовые импульсы с амплитудой 5 В и частотой 500 кГц, сформированные генератором **E1**.

С выходов 1 и 2 генератора **XWG1** сигналы подаются на управляющие входы **1J** и **1K** **JK**-триггера, с выхода 3 – на вход **1D** **T**-триггера, а с выхода 4 – на вход **1D** **D**-триггера.

Для формирования выходных сигналов генератор **XWG1** нужно **запрограммировать**, т. е. ввести в ячейки памяти кодовые комбинации из единиц и нулей согласно варианту (табл. 32.4).

В качестве примера введём в первые восемь ячеек памяти генератора четырехразрядные кодовые комбинации (см. рис. 32.8, а):

0000, 0101, 1010, 1111, 1001, 1001, 1111, 1100.

При моделировании генератор последовательно и циклично выводит содержимое каждой ячейки памяти (от начальной до конечной) на выходы 1,

2, 3 и 4, формируя на них следующие коды сигналов: 01011110, 00110010, 01010011 и 00111111 (см. сигналы на каналах 1, 2, 3 и 4 логического анализатора **XLA1** (рис. 32.8, б)). Перед моделированием **выделите** в окне генератора **XWG1** ячейку с адресом 0 начала счёта и вывода сигналов.

Т а б л и ц а 32.4

| Вариант | Содержимое ячеек памяти генератора слова XWG1 |
|-----------------------|------------------------------------------------------|
| 1, 6, 11, 16, 21, 26 | 0000, 1010, 1111, 1001, 1001, 1101, 1100, 0000 |
| 2, 7, 12, 17, 22, 27 | 0000, 1100, 1010, 1011, 1001, 1111, 1110, 0000 |
| 3, 8, 13, 18, 23, 28 | 0000, 1010, 1011, 1001, 1001, 1111, 1101, 0000 |
| 4, 9, 14, 19, 24, 29 | 0000, 1111, 1101, 1001, 1011, 1011, 1100, 0000 |
| 5, 10, 15, 20, 25, 30 | 0000, 1011, 1101, 1001, 1100, 1111, 1010, 0000 |

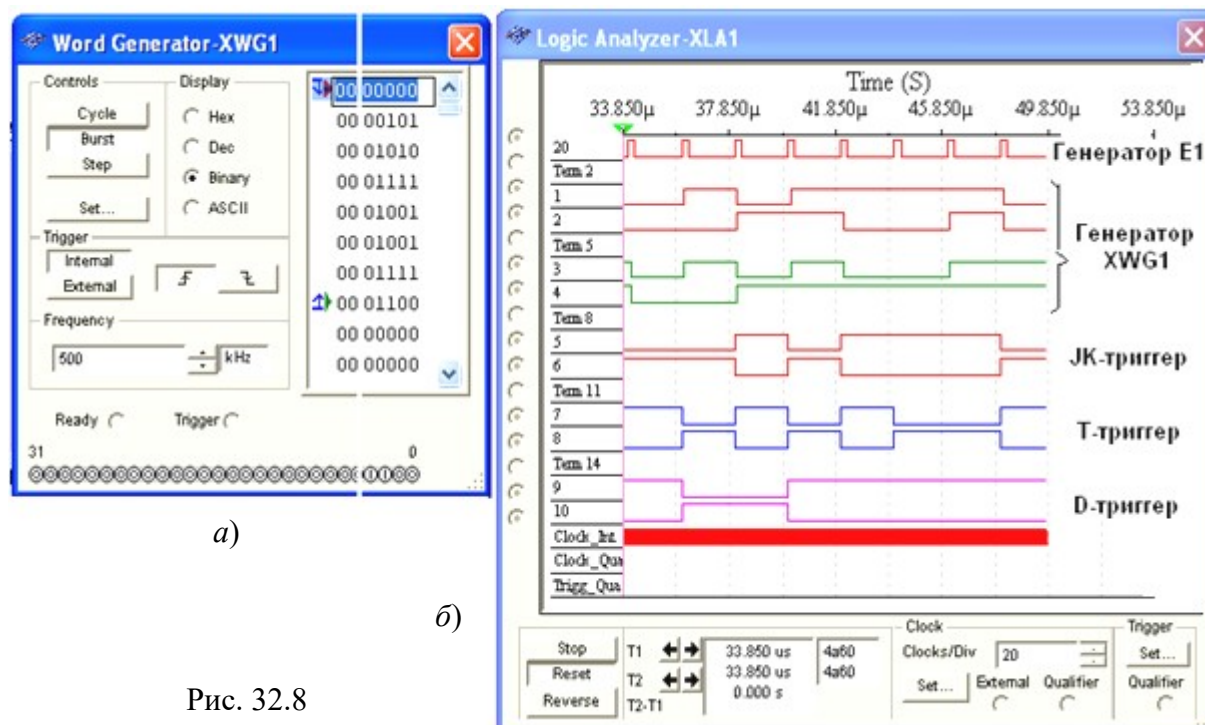


Рис. 32.8

Провести моделирование работы триггеров в режимах **Step** или **Burst** генератора **XWG1**, **скопировать** в отчёт временные диаграммы, **составить** и **заполнить** таблицы истинности работы триггеров **JK**, **T** и **D** при заданном в табл. 32.4 варианте входных кодовых комбинаций. В частности, **описать** состояния **JK**-триггера с приходом тактового сигнала $C = 1$, когда сигналы $J = 1$ и $K = 1$, а $Q = 0$ или $Q = 1$.

Примечание. Таблицы истинности для рассмотренных библиотечных триггеров можно вызвать нажатием клавиши помощи **F1** после выделения на схеме триггера.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

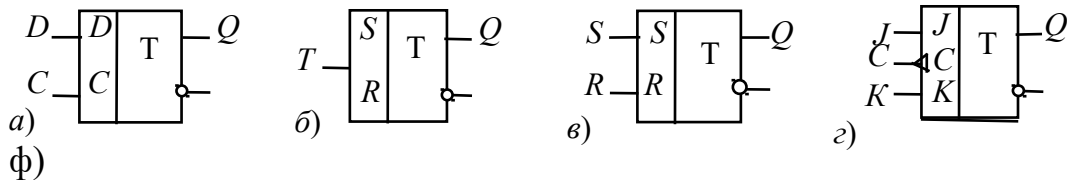
1. Наименование и цель работы.
2. Перечень приборов, использованных в экспериментах, с их краткими характеристиками.
3. Изображения электрических схем для испытания триггеров RS , JK , T и D с помощью логических пробников и логического анализатора XLA1.
4. Копии временных диаграмм и таблицы истинности, отображающие работу исследуемых триггеров.
5. Выводы по работе.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ К РАБОТЕ 32

1. Укажите, какая **комбинация** логических сигналов является запрещённой для асинхронного RS -триггера?

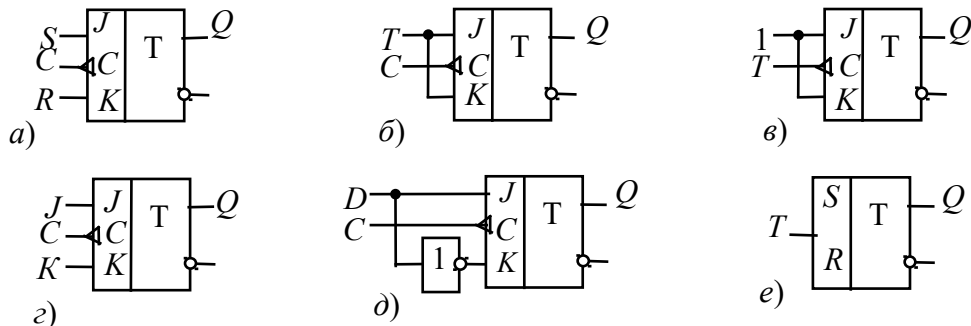
- ☐ 01 ☐ 11 ☐ 10 ☐ 00

2. Укажите **условное графическое обозначение**:



1. JK -триггера: ☐ а) ☐ б) ☐ в) ☐ г)
2. RS -триггера: ☐ а) ☐ б) ☐ в) ☐ г)

3. Укажите **условное графическое обозначение**:



1. Синхронного T -триггера, выполненного на основе JK -триггера:

- ☐ а) ☐ б) ☐ в) ☐ г) ☐ д) ☐ е)

2. D -триггера, выполненного на основе JK -триггера:

- ☐ а) ☐ б) ☐ в) ☐ г) ☐ д) ☐ е)

4. Укажите, нашли ли широкое применение **асинхронные** D -триггеры?

- ☐ Да ☐ Нет

5. Укажите, как **функционирует** JK -триггер при комбинации $J = 1$, $K = 1$ на входе?

- ☐ Триггер находится в режиме хранения

- ☐ Триггер работает в счётном режиме
☐ Такая комбинация сигналов на входе является запрещённой

6. Укажите **время запаздывания** выходного сигнала по отношению к моменту подачи на C -вход D -триггера синхроимпульса при тактовой частоте $f = 10$ кГц ($D^t = 1, Q^t = 0$).

- ☐ 1 с ☐ 0,1 с ☐ 10 мс ☐ 0,1 мс

7. Укажите значение **сигнала на выходе** JK -триггера при комбинации $J = 1, K = 0$ на входе и $Q = 1$ после окончания действия синхроимпульса.

- ☐ 0 ☐ 1 ☐ Неопределённость: 0 или 1

8. Укажите **аналитическое выражение**, описывающее работу:

а) $Q^{t+1} = Q^t \bar{T} + \bar{Q}^t T$; б) $Q^{t+1} = S + Q^t \bar{R}$;

в) $Q^{t+1} = \bar{C}^t Q^t + C^t \bar{Q}^t$; г) $Q^{t+1} = \bar{K}^t Q^t + J^t \bar{Q}^t$.

1. RS -триггера: ☐ а) ☐ б) ☐ в) ☐ г)
 2. JK -триггера: ☐ а) ☐ б) ☐ в) ☐ г)
 3. T -триггера: ☐ а) ☐ б) ☐ в) ☐ г)
 4. D -триггера: ☐ а) ☐ б) ☐ в) ☐ г)

9. Укажите, чем отличается **динамическое управление** триггерами от статического управления?

- ☐ Принципиальных отличий нет: сигналы, поступающие на информационные входы всех модификаций триггеров, действуют в момент их поступления
☐ У триггеров с динамическим управлением сигналы на информационных входах должны оставаться неизменными на всём интервале действия активного логического сигнала синхронизации ($C = 1$)
☐ При динамическом управлении запоминание сигналов, действующих на информационных входах триггера, происходит в момент изменения значения сигнала на входе синхронизации
☐ У триггеров с динамическим управлением отсутствуют прямые или инверсные входы, реагирующие на перепады сигналов на входах

10. Укажите **уровни напряжения** интегральных микросхем триггеров серии ТТЛ, принимаемые за логическую 1 и логический 0 при напряжении питания $U_n = 5$ В.

- ☐ $2,4 \text{ В} < U^1 < 5 \text{ В}; 0 < U^0 < 0,4 \text{ В}$ ☐ $4,0 \text{ В} < U^1 < 5 \text{ В}; 0 < U^0 < 2,4 \text{ В}$
☐ $3,5 \text{ В} < U^1 < 5 \text{ В}; 0 < U^0 < 0,2 \text{ В}$ ☐ $2,4 \text{ В} < U^1 < 5 \text{ В}; 0 < U^0 < 1,4 \text{ В}$

11. Укажите, к какому **типу** триггеров относят T -триггеры?

- ☐ К асинхронным
☐ К синхронным