

Задание

1. Выполнить конспект в тетради и ответить на вопросы.
2. Вопросы оформить в текстовом документе Word.
3. В качестве отчета скинуть фотографии конспекта и текстовый документ с ответами либо в социальной сети «ВКонтакте» в личном сообщении (<https://vk.com/id35792775>), либо скинуть на электронную почту guv@apt29.ru

Срок выполнения: до 20.10.20 до 09:00

Триггеры

Триггером - это цифровое устройство, которое может переходить из одного устойчивого состояния в другое и попеременно менять состояния по мере поступления цифровых информационных сигналов. Триггер длительно находится в одном из двух устойчивых состояний и чередует их под воздействием входных информационных сигналов.

По способу управления триггеры подразделяются на два класса:

- **синхронные**, выходной сигнал которых изменяется под действием синхросигнала (не несущего никакой информации);
- **асинхронные**, выходной сигнал которых изменяется под действием входных информационных сигналов.

По способу организации логических связей триггеры классифицируются на типы:

- **RS** - с отдельной установкой состояний «1» и «0»;
- **D** - с приемом информации по одному входу;
- **T** (информационный) - со счетным входом;
- **JK** (универсальный) - совмещает в себе свойства D-, RS-, T-триггеров.

По способу срабатывания триггеры подразделяют:

- **по уровню**, если на входе устанавливается «1», то триггер срабатывает и находится в этом состоянии;
- **фронту**, триггер срабатывает на фронте импульса, как только уровень сигнала превышает порог.

Задание

1. Используя лекционный материал в этом документе, ответить на вопросы.
2. Ответ оформить в текстовом редакторе Word.

Ответы на вопросы

1. Объясните принцип действия электронного ключа (Тема 4.1)
2. Сформулируйте теорему Котельникова. (Тема 4.2)
3. Что такое триггер? (Тема 4.4)
4. Какие триггеры бывают? (Тема 4.4)
5. Объясните работу JK-триггера. (Тема 4.4)

Лекционный материал

Тема 4. Физические основы работы устройств

Тема 4.1. Исследование работы транзистора в режиме ключа

В ключевом режиме биполярный транзистор работает в режиме насыщения (замкнутый ключ) или отсечки (разомкнутый ключ).

В режиме насыщения оба перехода (база-коллектор и база-эмиттер) открыты, а в режиме отсечки - заперты.

Открытый транзистор может находиться в активном режиме или режиме насыщения. Для электронных ключей активный режим является невыгодным, так как в этом режиме на коллекторе рассеивается значительная мощность. Поэтому активный режим допустим только в переходных процессах.

Необходимой частью проектирования электронных ключей является оценка их динамических свойств, определяющих скорость переключения и потери энергии.

Работа транзистора в режиме ключа осуществляется в следующей последовательности:

- 1) транзистор заперт, ток базы определяется обратным током коллектора, заряд в базе практически отсутствует, на выходе ключа высокий уровень;
- 2) на входе ключа потенциал увеличивается скачком, входная емкость начинает заряжаться. Токи базы и коллектора не изменяются, пока напряжение на переходе база - эмиттер не превышает напряжения отсечки (время задержки включения);
- 3) в момент превышения напряжения отсечки открывается эмиттерный переход, транзистор переходит в активный режим.

Инжектируемые в базу неосновные носители нарушают равновесное состояние базы, начинается накопление заряда. Ток коллектора, обусловленный экстракцией

носителей в область коллектора, пропорционально увеличивается. Время включения определяется временем перехода в режим насыщения;

4) после входа в режим насыщения внешние токи и напряжения остаются постоянными, но заряд в базе продолжает нарастать, хотя и с меньшей скоростью. Заряд, который превышает значение, соответствующее переходу в режим насыщения, называют избыточным;

5) при скачкообразном изменении потенциала на входе ключа ток базы также быстро уменьшается, нарушается равновесное состояние заряда базы и начинается его рассасывание. Транзистор остается насыщенным до тех пор, пока заряд не уменьшится до предельного значения, после чего транзистор переходит в активный режим (время задержки выключения);

6) в активном режиме заряд базы и ток коллектора уменьшаются до тех пор, пока транзистор не перейдет в режим отсечки. В этот момент входное сопротивление ключа возрастает. Этот этап определяет время выключения;

7) после перехода транзистора в режим отсечки напряжение на выходе продолжает нарастать, так как заряжаются емкости нагрузки, монтажа и емкость база - коллектор.

Полный цикл переходного процесса можно разложить на два этапа: включение транзистора и его выключение.

Рассмотрим первый этап:

- интервал $t_0 - t_1$ - включение (активный режим работы транзистора);
- интервал $t_1 - t_1'$ - интервал установления заряда в базе ($I_{Б1} \gg I_{Б \text{ граничная}}$).

На этапе включения ток эмиттера сначала скачком изменяется до значения $I_{Б1}$, ток коллектора не нарастает, он инерционен. I_K складывается с $I_{Э}$, т. е. ток коллектора начинает расти. Это происходит до точки t_1 - это точка входа в насыщение. В момент отрицательного перепада токи $I_{Э}$ и I_K не меняются.

В момент t_1 - напряжение $U_{КН} = 0,2 В$. На этом этапе закончился режим включения.

Рассмотрим второй этап:

• интервал $t_2 - t_3$ - зона рассасывания заряда на этапе выключения (время выхода из насыщения). Это самое плохое место в транзисторе;

• интервал $t_3 - t_4$ - интервал выключения транзистора, в это время транзистор работает в активном режиме до тех пор, пока $I_{Э} = 0$ - отключение эмиттерного перехода в точке t_4 . До момента отключения эмиттерного перехода (точка t_4) ток $I_K(t)$ падает и через эмиттер идут два тока: $I_{Б2}$ и $I_{Э} = I_K$. В момент равенства тока $I_K = I_{Б2}$, то тогда ток $I_{Э} = 0$;

• интервал $t_4 - t_5$ - это интервал динамической отсечки. Коллекторный ток переходного процесса идет через коллекторный диод и выбрасывает избыточные

носители из базы, закрывая переход. Диод закрыт, и в схеме настает период закрывания. Когда транзистор закрылся, то проявляется влияние емкостей: $C_{БК}$ и $C_{пар}$. Напряжение $U_{КЭ}$ возрастает до E_K с постоянной времени:

$$\tau_{фр} = (C_{БК} + C_{пар}) \cdot R_K.$$

На этапе выключения транзистора происходит смена знака. В цепи базы пошел ток $I_{Б2}$ в обратном направлении.

Рассмотрим работу ключа на биполярном транзисторе в программе Micro-Cap.

При таких параметрах схемы длительность рассасывания заряда в базе составит около 90 нс, что существенно по сравнению с длительностью импульса, равного 200 нс.

Тема 4.2. Дискретизация сигнала

Для преобразования аналогового сигнала в цифровой его необходимо сначала дискретизировать. Теоретической основой дискретизации является теорема Котельникова: сигнал с ограниченным спектром ($F_{макс}$) полностью определяется своими отсчетами, следующими с частотой (F_D), по крайней мере, в два раза большей верхней частоты сигнала $F_D \geq 2F_{макс}$.

В современной технике связи наметился глобальный переход на цифровые технологии. При этом происходит преобразование первичных сигналов в цифровой вид. Процесс получения цифровых сигналов состоит из двух этапов: дискретизации сигналов по теореме Котельникова и квантования сигналов.

Квантование сигналов заключается в преобразовании амплитуд отдельных дискретных значений в стандартные квантованные величины, которым присвоены индивидуальные коды в двоичной системе единиц. Последовательность двоичных чисел, которые называются кодовыми группами, образует цифровой сигнал.

Цифровой сигнал - это амплитуды дельта-функций дискретного сигнала, определенные в моменты времени, когда сигнал действует. *Дельта-функция* - эта функция бесконечно малой длительности.

При преобразовании сигналов в цифровой вид возникают искажения, называемые «шумы квантования». Они объясняются несоответствием действительных амплитуд сигналов и значений квантованных уровней. Для уменьшения шумов квантования нужно увеличить число уровней квантования. В современной связи чаще всего применяют 256 уровней, что соответствует восьмиразрядному коду.

Дискретизация сигнала. Проведем дискретизацию экспоненциального сигнала.

Простейшим устройством получения дискретного сигнала является электронный управляемый ключ. По спектру сигнала определяют граничную частоту, затем определяют частоту и период дискретизации.

Цифровой сигнал определяется по формуле

$$S(n) = T_s S(nT_s) u(n),$$

где T_s - период дискретизации; $S(nT_s)$ – дискретизированный сигнал; $u(n)$ - специальная функция.

Функция $u(n)$ учитывает правильность перевода крайних дискретов сигнала. Крайние дискреты имеют половину амплитуды при переводе в цифровой сигнал. Получение аналогового сигнала из дискретного осуществляется с помощью восстановления через фильтр нижних частот. Для восстановления аналогового сигнала наилучшим образом должен использоваться идеальный фильтр нижних частот с граничной частотой, равной половине частоты дискретизации.

Тема 4.4. Триггеры

Триггером - это цифровое устройство, которое может переходить из одного устойчивого состояния в другое и попеременно менять состояния по мере поступления цифровых информационных сигналов. Триггер длительно находится в одном из двух устойчивых состояний и чередует их под воздействием входных информационных сигналов.

По способу управления триггеры подразделяются на два класса:

- **синхронные**, выходной сигнал которых изменяется под действием синхросигнала (не несущего никакой информации);
- **асинхронные**, выходной сигнал которых изменяется под действием входных информационных сигналов.

По способу организации логических связей триггеры классифицируются на типы:

- **RS** - с отдельной установкой состояний «1» и «0»;
- **D** - с приемом информации по одному входу;
- **T** (информационный) - со счетным входом;
- **JK** (универсальный) - совмещает в себе свойства D-, RS-, T-триггеров.

По способу срабатывания триггеры подразделяют:

- **по уровню**, если на входе устанавливается «1», то триггер срабатывает и находится в этом состоянии;
- **фронту**, триггер срабатывает на фронте импульса, как только уровень сигнала превышает порог.

Асинхронный RS-триггер имеет два входа S и R и два выхода Q и \bar{Q} . Вход S (от англ. *set* - устанавливать), вход R (от англ. *reset* - сбрасывать). Прямой выход триггера обозначают Q , а инверсный \bar{Q} .

При включении любого триггера логическое значение на прямом выходе не определено. Необходимо предусмотреть меры, обеспечивающие четкую установку Q

(обычно «0»). Необходимо задать исходное состояние выходных уровней триггера. Для этого у триггера имеются установочные входы для подачи короткого установочного импульса отрицательной полярности. При подаче по входу S на выходе Q будет 1, при подаче установочного импульса на вход R будет 0 на выходе.

Синхронный RS-триггер. Начальные условия $Q = 0$ и $\bar{Q} = 1$. Особенностью работы синхронного RS-триггера является то, что логические уровни устанавливаются во времени не независимо от синхросигнала.

При отсутствии сигнала на входе T , т. е. $T = 0$, изменение сигналов на входах R и S не может изменить состояние триггера. С момента появления разрешающего сигнала $T = 1$ входные элементы И-НЕ выполняют функцию инверторов. При этом состояние триггера будет однозначно определяться значениями сигналов на входах S и R .

Схемы RS-триггеров составляют основу для построения триггерных схем D, T, и JK.

D-триггер. D-триггер - это триггер, который имеет один информационный вход D , вход синхросигнала T и два выхода Q и \bar{Q} . D-триггер (от англ. *delay* - задержка) получают на основе RS-триггеров. Сигнал на выходе появляется с задержкой на один такт синхросигнала. S и R - входы установки начального уровня на выходе импульсом отрицательной полярности. D-триггер соответствует RS-триггеру, работающему только в режимах установки, т. е. с комбинациями сигналов $R = 1, S = 0$ и $R = 0, S = 1$. Для организации хранения информации используется вход T (режим хранения $T = 0$).

T-триггер. T-триггер - это триггер, который имеет один информационный вход T и два выхода Q и \bar{Q} . T-триггер (от англ. *tumbler* - опрокидыватель) находит широкое применение в счетчиках импульсов цифровых систем. Триггер изменяет свое состояние на прямом выходе каждый раз с приходом синхронизирующего импульса (T_i). T-триггер - это триггер со счетным входом (одноразрядный счетчик).

При поступлении сигнала $T = 1$ по входу C приводит к записи в двухтактный RS-триггер состояния, противоположного предыдущему. Сигнал на выходе триггера изменится только после завершения действия сигнала $T = 1$.

В схеме синхронизируемого двухтактного RS-триггера единичный входной сигнал T представляется высоким напряжением при $C = 1$. Запись информации происходит при $C = 1$. Смена состояния будет после окончания действия импульса синхронизации $C = 1$. При $T = 1$ состояние триггера изменяется на противоположное, а при $T = 0$ не меняется.

JK-триггер. JK-триггер - это синхронный триггер, который имеет два входа J и K , вход синхронизации и два выхода Q и \bar{Q} . Триггер работает как RS-триггер, если $J = S$, а $K = R$, при появлении 1 на входах J и K изменяет свое состояние на выходе на обратное, т.е. ведет себя как T-триггер. JK-триггер является распространенным типом

триггера в системах интегральных логических элементов. JK-триггеры бывают асинхронные и синхронные. Основной тип построения триггера - это применение *MS* (Master-Slave) триггера трех видов: MS-триггер с инвертором (работает по уровню), MS-триггер с перекрестными связями (работает по уровню), MS-триггер на трех RS-триггерах (работает по фронту).

Триггер строится на двух последовательно соединенных *RS*-триггерах.

Вначале информация заносится в *M*-триггер и появляется на выходах Q_1 и \bar{Q}_1 . На второй *S*-триггер не проходит из-за блокировки импульсом синхронизации второго *RS*-триггера (второй триггер блокируется на время синхросигнала). После окончания импульса синхронизации на заднем фронте синхроимпульса открывается второй *S*-триггер и значения Q_1 и \bar{Q}_1 без изменений проходят и записываются на выходах второго триггера Q_2 и \bar{Q}_2 . Если синхросигнал $T = 1$, то работает 1-й триггер. В любом случае $T_{\text{синхр}}$ должен быть больше $2t_{\text{ср}}$.