

Дата проведения занятия 29 октября 2020 г.

Номер пары: 48.

Группа: 21А

Тема занятия: Электронные ключи.

Срок выполнения 02.11.2020

По запросу преподавателя, скинуть фото конспекта в «В контакте» Орлову А.А. (id421045327) личным сообщением для проверки.

Проверка освоения теоретического материала будет произведена выполнением проверочной работы.

Задание.

Используя предложенные справочные материалы (текст после вопросов) и другие источники информации (учебники, интернет), составить конспект по теме: Электронные ключи.

В конспекте обязательно должны быть выполнены задания и ответы на вопросы:

1. Поясните, что такое электронный ключ, на базе каких элементов он строится? В каких состояниях может находиться?
2. Приведите и поясните классификацию электронных ключей.
3. Выполните эквивалентную схему электронного ключа. Дайте краткую характеристику элементам схемы.
4. Поясните, где применяются диодные ключи, чем определяется состояние диодного ключа? Какие недостатки присущи диодным ключам?
5. Выполните схему одного из диодных ключей, с помощью передаточной характеристики поясните его работу.
6. Выполните схему транзисторного ключа, кратко поясните его работу.
7. Какими параметрами характеризуется транзисторный ключ? Какие средства используются для улучшения характеристик транзисторного ключа?

Электронные ключи

Электронный ключ – устройство, коммутирующее различные электрические цепи бесконтактным способом.

В основе любого электронного ключа лежит применение активного элемента с ярко выраженными нелинейными свойствами – диод, тиристор, транзистор, лампа и др. Кроме того, в состав ключа входят пассивные компоненты, источники питающих и смещающих напряжений.

В зависимости от мощности коммутируемых цепей различают:

Маломощные ключи осуществляют коммутацию токов в маломощных (слаботочных) цепях подразделяются на:

- цифровые ключи коммутируют напряжения или токи источника питания, т.о. формируют прямоугольные импульсы – сигналы двух уровней.

- аналоговые ключи осуществляют подключение или отключение источников аналоговых информационных сигналов произвольной формы.

Маломощные ключи.

Силовые (мощные) ключи осуществляют коммутацию токов в (сильноточных) цепях большой мощности и используются в устройствах энергетической электроники (выпрямители, инверторы, стабилизаторы, источники питания, формирователи импульсов и др.).

Электронный ключ (как и любой механический ключ) характеризуется двумя состояниями:

- включен (замкнут);
- выключен (разомкнут).

Смена каждого состояния происходит под действием внешнего запускающего (управляющего) сигнала.

Электронный ключ можно представить эквивалентной схемой рис. 1, а. В роли электронного ключа K , как уже отмечалось, обычно используются активные элементы — транзисторы, электронные или газоразрядные лампы, полупроводниковые диоды и тиристоры.

Качество работы ключа определяют следующими основными параметрами: сопротивлением разомкнутого ключа r_p , сопротивлением замкнутого ключа r_3 , емкостью ключа C . Чем меньше значения r_3 , C и больше r_p , тем ключ считается лучше. Сопротивления r_p и r_3 определяют мощности рассеивания ключа в замкнутом и разомкнутом состояниях соответственно $P_3 = E^2 r_3 / R_H^2$; $P_p = E^2 / r_p$ при $r_3 > R_H > r_p$, где R_H — сопротивление нагрузки ключа.

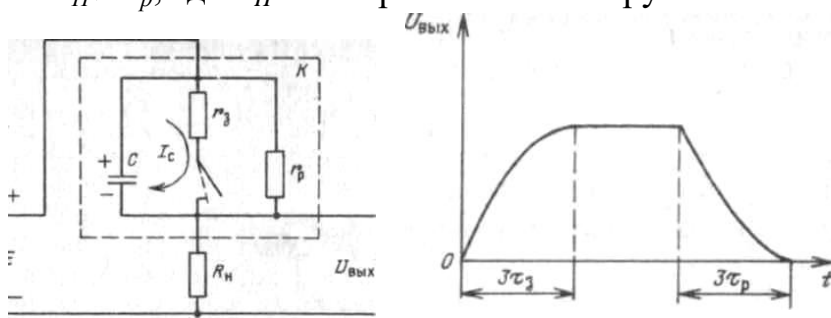


Рис. 1. Эквивалентная схема электронного ключа (а) и влияние емкости на форму импульса электрического сигнала (б)

Емкость ключа C увеличивает время переключения ключа и, следовательно, влияет на форму выходного импульса $U_{\text{вых}}$ (см. рис. 1, б). При разомкнутом ключе емкость заряжена до своего максимального значения $U_c = U_{\text{макс}} = E$. Если ключ замкнуть, емкость начинает разряжаться по экспоненциальному закону с постоянной времени $\tau_3 = C \cdot r_3$. С такой же постоянной времени по мере уменьшения потенциала на обкладках конденсатора увеличивается ток через R_H и одновременно увеличивается выходное напряжение $U_{\text{вых}}$. Возрастание выходного напряжения происходит по экспоненциальному закону. Обычно считают, что формирование фронта практически заканчивается через время $t = 3\tau_3$.

При размыкании ключа K емкость снова заряжается по экспоненциальному закону с постоянной времени $\tau_3 = R_H C$. С такой же постоянной времени падает выходное напряжение $U_{\text{вых}}$. Время формирования фронта меньше времени формирования среза, так как разряд емкости проходит через малое сопротивление $r_3 < R_H$.

При замкнутом и разомкнутом ключе, строго говоря, выходное напряжение будет отличаться соответственно от E и от 0 , и чтобы его определить, нужно воспользоваться формулами

$$U_{\text{вых з}} = \frac{E \cdot R_H}{(R_H + r_3)}$$

$$U_{\text{вых п}} = \frac{E \cdot R_H}{(R_H + r_p)}$$

Рассмотрим некоторые основные схемы электронных ключей, которые могут входить в схему релаксационных генераторов, либо работать самостоятельно от управляющего воздействия импульсов.

Диодные ключи. На рис. 2. представлены схемы простейшего последовательного диодного ключа с нулевым уровнем включения и его передаточная характеристика. Замкнутому положению ключа соответствует наличие на входе сигнала положительной полярности. Если на входе сигнал отрицательной полярности, то ключ разомкнут.

Если откладывать значения напряжений $U_{вх}$ и $U_{вых}$ в одинаковых масштабах, то переходная характеристика будет составлять с осью абсцисс угол $\alpha < 45^\circ$. Это означает, что выходное напряжение будет всегда меньше входного, так как часть его падает на прямом сопротивлении диода. Передаточная характеристика в положительном направлении осей координат начинается с нуля, поэтому диодные ключи с такой передаточной характеристикой называются ключами с нулевым уровнем срабатывания.

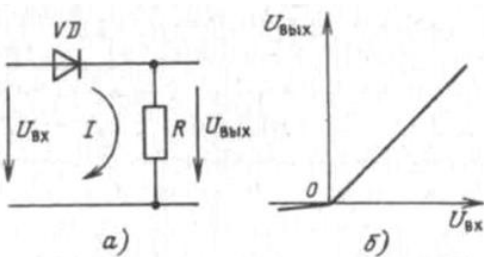


Рис. 2. Схема (а) и передаточная характеристика (б) последовательного диодного ключа с нулевым уровнем включения

Простейший параллельный диодный ключ представлен на рис. 3. Замкнутому положению ключа соответствует наличие на входе сигнала положительной полярности, при этом $U_{вых} \approx 0$. Разомкнутому положению ключа соответствует наличие на входе сигнала отрицательной полярности, при этом $U_{вых} \approx U_{вх}$.

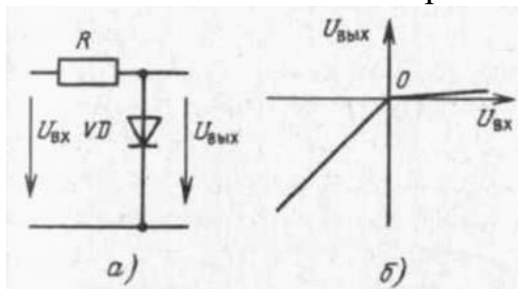


Рис. 3.Схема (а) и передаточная характеристика (б) параллельного диодного ключа с нулевым уровнем срабатывания

В качестве параллельных диодных ключей выгодно использовать стабилитроны (рис. 4, а). В этом случае порог срабатывания отличается от нуля при отсутствии специального напряжения смещения. Порог срабатывания ключа определяется напряжением обратного обратимого пробоя стабилитрона. Поскольку это напряжение постоянно при любом значении тока

допустимого диапазона и равно $U_{ст}$, то (см. рис. 4) $U_{вых} = U_{ст}$. при $U_{вх} > U_{ст}$, а при всех других значениях $0 < U_{вх} < U_{ст}$, $U_{вых} = U_{вх}$.

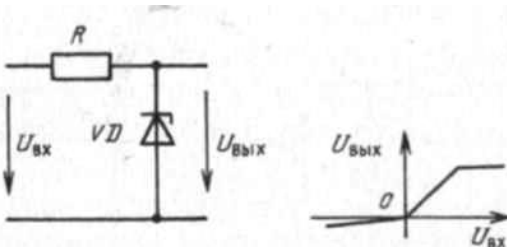


Рис. 4. Схема (а) и передаточная характеристика на стабилитроне

Диодные ключи применяются в схемах релаксационных генераторов в качестве ограничителей амплитуд сигналов и пороговых устройств. На рис. 5 показана форма напряжения до диодного ограничителя и на его выходе. Такой ограничитель используется в качестве ограничителя-формирователя импульсных сигналов. Обширная область применения диодных ключей — в качестве устройств амплитудной селекции (выделения).

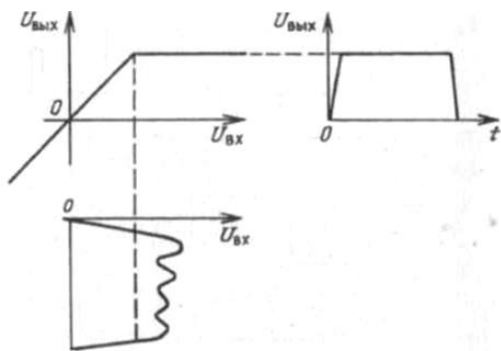


Рис. 5. Сглаживание вершины импульса с помощью ограничителя

Амплитудным селектором называется устройство, предназначенное для выделения импульсов, амплитуда которых больше или меньше определенного уровня (уровня селекции), или импульсов, амплитуда которых находится в заданных пределах. На рис. 6, а поясняется применение последовательного диодного ограничителя для селекции импульсов, превышающих уровень E_0 . При нулевом уровне ограничения ($E_0 = 0$) можно выделять импульсы по полярности (рис. 6, б) с помощью схемы последовательного диодного ключа (см. рис. 2, а).

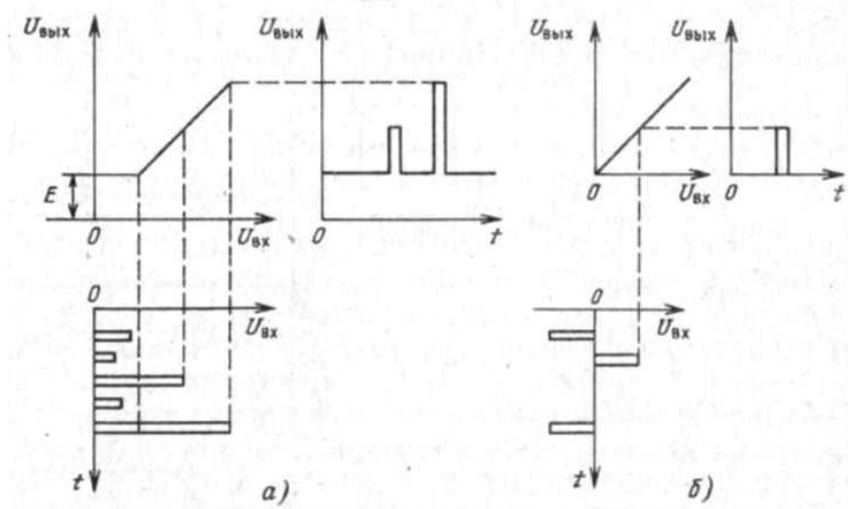


Рис. 6. Выделение импульсов с помощью ограничителей по амплитуде (а) и по полярности (б)

Недостатками диодных ключей является то, что они, во-первых, не усиливают входной сигнал по мощности, а, во-вторых, в них имеется непосредственная связь входных и выходных цепей.

Недостатком ключей с использованием стабилитронов является большая емкость pn -перехода (100—150 пФ), что ограничивает их применение на частотах выше 100 кГц.

Транзисторные ключи. В транзисторных ключах отсутствуют недостатки, присущие диодным ключам. Закрытый биполярный транзистор имеет очень большое сопротивление размыкания r_p (до 1 МОм), а открытый очень малое сопротивление замыкания r_z (несколько ом). Транзисторный ключ позволяет усилить по мощности управляющий сигнал и разделить входные и выходные цепи. В качестве ключей могут быть использованы три схемы включения электронных приборов: биполярного транзистора — с ОЭ, ОК и ОБ; полевого транзистора — с ОИ, ОС и ОЗ; электронной лампы — с ОК, ОА и ОС.

Рассмотрим работу ключа на биполярном транзисторе, включенном по схеме с ОЭ. На рис. 7, а приведена его упрощенная схема. Эту схему часто используют в импульсных устройствах, транзисторы которых работают в предельных режимах насыщения и отсечки. Во входной цепи действует источник смещения $E_б$, создающий обратное напряжение на эмиттерном переходе, источник управляющих импульсов $U_{вх}$ и ограничительный резистор $R_б$. В выходную цепь включены нагрузка R_k и источник питания E .

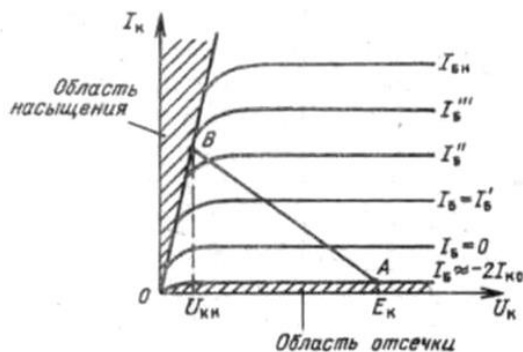
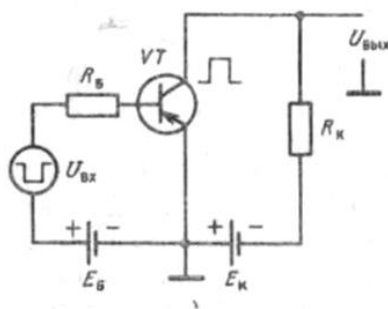


Рис. 7. Схема (а) и выходная характеристика (б) транзисторного ключа, выполненного на биполярном транзисторе включенном по схеме ОЭ

Когда импульс на входе отсутствует, транзистор закрыт, к его эмиттерному переходу приложено обратное напряжение $U_{бэ} = E_б$ (точка A на рис. 7, б), в цепи коллектора проходит очень маленький обратный ток. Данный режим транзистора называется *режимом отсечки*.

При подаче во входную цепь импульсов прямого тока транзистор открывается, рабочая точка перемещается в положение B . В цепи коллектора протекает максимальный ток.

Ток базы с увеличением амплитуды импульсов прямого тока входного сигнала будет увеличиваться, при этом напряжение на коллекторе будет неизменным и равным напряжению насыщения $U_к = U_{кн}$. Такой режим транзистора называется *режимом насыщения*. Глубину насыщения транзистора принято характеризовать степенью насыщения N :

$$N = \frac{(I_{бн} - I'_б)}{I'_б}, \text{ где } I_{бн} \text{ — ток базы выше границы насыщения; } I'_б \text{ — ток базы на границе насыщения.}$$

В промежутке между точками A и B находится активный режим (режим A), который используется в усилителях.

В режиме насыщения ток коллектора определяется приближенным выражением $I_к \approx E_к/R_к$. Для режима отсечки напряжение на коллекторе $U_к \approx E_к$. При импульсных управляющих напряжениях активный режим существует лишь кратковременно при переходе транзистора из состояния отсечки в состояние насыщения и обратно. В это время рабочая точка, перемещаясь по нагрузочной прямой, занимает промежуточные положения между точками A и B (см. рис. 7, б). В диапазоне температур рабочая точка B может сместиться вниз по нагрузочной прямой и оказаться в активном режиме. Чтобы это исключить, необходимо обеспечить глубину насыщения $N = 1,5 \text{ — } 2,0$.

Качество транзисторного ключа в замкнутом состоянии обычно оценивают по значению остаточного напряжения на коллекторе открытого транзистора $U_{кн}$. Этот параметр определяется при определенном значении степени насыщения N . Чем меньше $U_{кн}$, тем транзисторный ключ лучше. Другим важным параметром является напряжение между базой и эмиттером открытого транзистора. Обычно это напряжение равно $U_{кн}$: $U_{бэ} = U_{кн} = 0,1 \text{ — } 0,2 \text{ В}$.

С момента окончания отпирающего импульса на выходе импульс исчезнет не сразу, а через некоторое время. Это время зависит от времени жизни неосновных носителей в области базы и характеризуется постоянной времени $\tau_б$, значение которой приводится в справочниках. Между значениями $\tau_б$ и емкостей коллекторного и эмиттерного переходов $C_к$ и $C_э$ соответственно существуют пропорциональные зависимости. Чем меньше емкости переходов, тем меньше те, тем быстрее действие транзистора выше.

Существуют всевозможные способы уменьшения фронта и среза выходных сигналов транзисторных ключей. На рис. 8 приведена схема транзисторного ключа с элементами, позволяющими значительно уменьшить длительность фронта и среза импульса. В момент поступления отпирающего входного сигнала в цепи базы потечет ток значительно большей величины по сравнению с установившимся значением. Этот ток в начальный момент идет на заряд конденсатора. В момент выключения транзистора возникает емкостной ток разряда, который создает на резисторе R запирающий потенциал положительной полярности, значительно превышающий установившееся значение. Вследствие этого длительность среза значительно уменьшается.

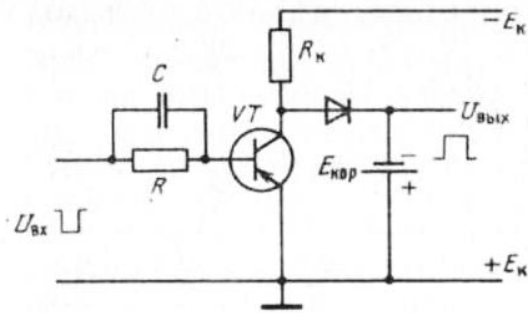


Рис. 8. Схема транзисторного ключа с элементами, укорачивающими длительность фронта и среза импульса управления

Время рассасывания можно уменьшить, если на выход подключить корректирующий диод. При открывании транзистора, как только напряжение на коллекторе достигает потенциала $U_{кн} = 0,1 — 0,2$ В, к коллекторному выводу подключается напряжение $E_{кор}$. Тем самым исключается работа транзистора в режиме перенасыщения. По существу, действие корректирующего диода аналогично действию параллельного диодного ключа с порогом срабатывания, определяемым потенциалом источника $E_{кор}$.