

## Методические указания к расчётному заданию по дисциплине «Импульсная техника»

Генератор прямоугольных импульсов, обеспечивающий заданный диапазон характеристик, проще всего рассматривать в виде функциональной блок-схемы. (Рис.1)

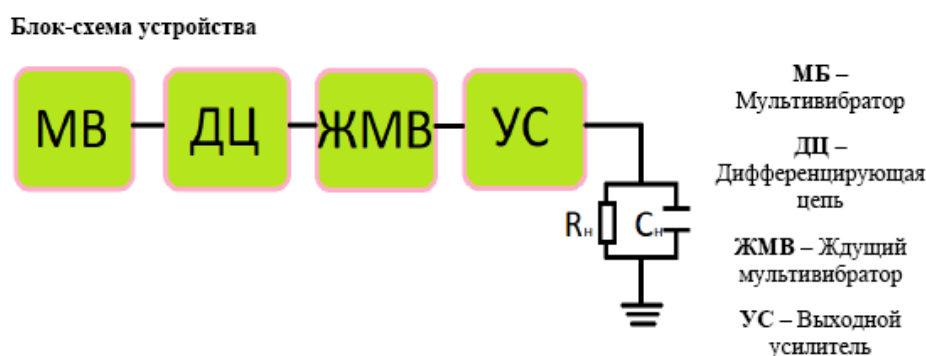


Рис. 1 Функциональная блок-схема ГПИ

При этом генератор должен включать в себя четыре блока:

1. Задающий частоту следования импульсов автогенератор (мультивибратор).
2. Дифференцирующую цепочку, обеспечивающую формирование коротких импульсов запуска.
3. Ждущий мультивибратор (одновибратор), задающий длительность рабочего импульса.
4. Усилитель, обеспечивающий регулировку амплитуды выходного импульса с заданными фронтами на нагрузке.

### ЖДУЩИЙ МУЛЬТИВИБРАТОР

Одновибратор или ждущий мультивибратор (ЖМВ) является релаксационным генератором, работающим в ждущем режиме. Он имеет одно устойчивое состояние. Внешний запускающий импульс вызывает скачкообразный переход схемы в новое состояние, называемое

квазиравновесным. В данном состоянии происходят относительно медленные изменения токов (напряжений) в схеме, которые в конечном итоге вновь приводят к "скачку" и переходу схемы в равновесное состояние. Таким образом, на каждый запускающий импульс мультивибратор вырабатывает импульс определенной длительности и вновь "ждет" запускающего импульса.

Рассмотрим более подробно работу ЖМВ на логических элементах И-НЕ на основе КМОП (рис. 2). Входными токами логического элемента (ЛЭ) будем пренебрегать. Для обеспечения устойчивого (ждущего) состояния схемы на вход ЛЭ  $D2$  через резистор  $R$  подается низкий потенциал  $U^0$ , а на оба входа ЛЭ  $D1$  – высокие потенциалы  $U^1$ , при этом высокий потенциал на входе  $V_{x1-2}$  является следствием низкого потенциала на входе ЛЭ  $D2$ . На выходе ЛЭ  $D1$  присутствует уровень  $U^0$ , и, следовательно, напряжение на конденсаторе  $C$  приблизительно равно нулю.

ЖМВ запускается отрицательным перепадом напряжения  $E_{\Gamma}$  от  $U^1$  до  $U^0$  (рис.2,б), поступающим на вход 1-1 ЛЭ  $D1$ , что приводит к изменению напряжения на его выходе от  $U^0$  до  $U^1$ . Это изменение передается через емкость  $C$  как через короткое замыкание на вход ЛЭ  $D2$  и приводит к изменению напряжения на его выходе

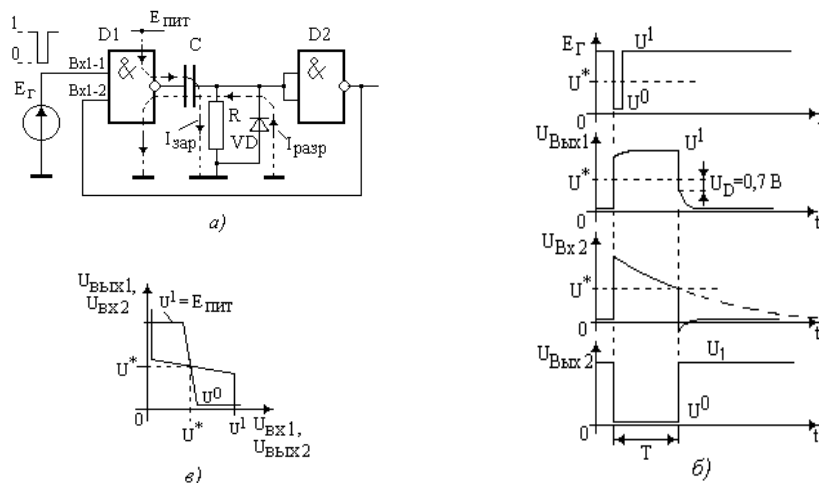


Рис. 2. Схема ждущего мультивибратора (а), осциллограммы переходных процессов в нем (б) и нахождение напряжения  $U^*$  (в)

от  $U^1$  до  $U^0$ . Последнее передается на вход 1-2 ЛЭ  $D1$ . В некоторый момент времени, когда на входе ЛЭ  $D2$  возникает потенциал  $U^*$ , оба ЛЭ оказываются в области активных характеристик, и в схеме возникает глубокая положительная обратная связь. Она существенно ускоряет переходной процесс — в схеме возникает скачок токов (напряжений). Его длительность определяется инерционностью ЛЭ и для КМОП составляет 100 – 200 нс. Кстати, длительность переходного процесса определяет минимальную длительность запускающего импульса! По окончании скачка на входе 1-2 ЛЭ  $D1$  оказывается уровень  $U^0$ , и он удерживает ЛЭ  $D1$  в состоянии  $U_{\text{вых}1} = U^1$ . Запускающий импульс становится ненужным, схема себя "заблокировала" — начинается относительно медленный квазиравновесный процесс (рис. 2, б) формирования импульса  $T$ .

Напряжение  $U_{\text{вх}2} = U^*$ , когда в схеме возникает положительная обратная связь, легко определяется графически из совместного построения передаточных характеристик ЛЭ  $D1$  и  $D2$  (рис. 2, в). При этом необходимо учитывать, что оба ЛЭ находятся в области активных характеристик, а емкость  $C$  ведет себя в момент скачка тока как короткозамкнутый элемент. Из анализа рис. 2, в следует ожидать, что для ЛЭ КМОП  $U^* \cong E_{\text{пит}}/2$ .

Длительность квазиравновесного состояния определяет длительность импульса  $T$ , генерируемого одновибратором, и связана с процессом перезарядки конденсатора  $C$ .

В момент скачка, можно считать мгновенно, напряжение на выходе ЛЭ  $D1$  изменяется от  $U^0$  до  $U^1$ , что приводит к появлению тока заряда ( $I_{\text{зар}}$ ) конденсатора по пути: шина  $+E_{\text{пит}}$  —  $r_{\text{вых-ЛЭ}D1}$  —  $C$  — — резистор — шина нулевого потенциала (показано пунктиром на рис.3.1, а). Эквивалентная схема замещения для расчета переходного процесса и осциллограмма напряжения на входе ЛЭ  $D2$  представлены на рис.3.

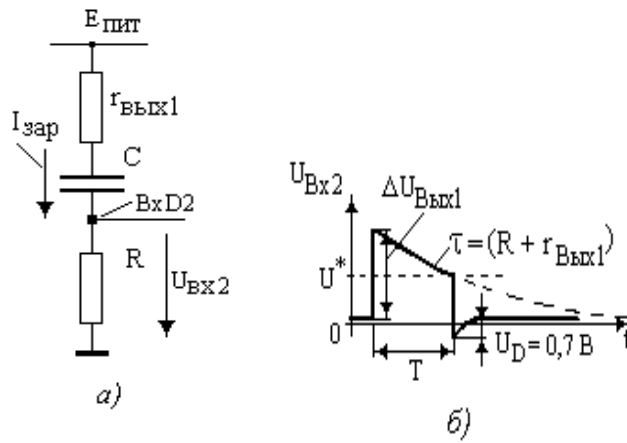


Рис. 3. Эквивалентная схема замещения (а)

**и осциллограмма перезарядки**

В процессе заряда конденсатора  $C$  ток через резистор  $R$  уменьшается, что **времязадающего конденсатора (б)** ведет к уменьшению напряжения на входе ЛЭ  $D2$ . При достижении  $U_{вх2} = U^*$  оба ЛЭ  $D1$  и  $D2$  вновь оказываются в активной области характеристик. В схеме опять возникает положительная обратная связь и скачок токов (напряжений). Квазиравновесная стадия завершилась – импульс сформирован (рис 2, б). Его длительность составляет

$$T = \tau \cdot \ln \frac{U^0 + \Delta U_{л}}{U^*},$$

где  $\tau = C (R + r_{вых})$ ,  $\Delta U_{л} = U^1 - U^0$ . Для КМОП оценочно принимают  $U^0 \approx 0$ ,  $U^1 \approx +E_{пит}$ ,  $r_{вых}$  – выходное сопротивление ЛЭ в области крутых характеристик (см. “Приложение”).

После квазиравновесной следует стадия восстановления, в течение которой в схеме происходит восстановление потенциалов и токов до первоначальных значений. Перезарядка конденсатора  $C$  через резистор  $R$  ( $I_{раз}$ ) существенно увеличивает время восстановления. Для сокращения этой стадии в схему (см. рис.2, а) вводят диод  $VD$ . В течение квазиравновесной стадии диод закрыт, а на этапе восстановления он открывается и конденсатор  $C$  разряжается не через резистор  $R$  (показано пунктиром), а через выходную характеристику ЛЭ  $D1$  и диод  $VD$ . Это существенно ускоряет процесс восстановления, однако несколько увеличивает длительность заднего фронта

импульса напряжения на выходе ЛЭ  $D1$ . На рис.2, б представлены синхронизированные по времени осциллограммы в характерных точках одновибратора. Видно, что импульс на выходе ЛЭ  $D2$  имеет форму, близкую к прямоугольной, и его полярность соответствует перепаду напряжения от  $U^1$  к  $U^0$ . Импульс на выходе ЛЭ  $D1$  положительный, однако имеет искажения как вершины, так и заднего фронта, что связано с падением напряжения на ЛЭ  $D1$  от тока перезаряда конденсатора  $C$ .

## МУЛЬТИВИБРАТОР

Мультивибратор является релаксационным автогенератором, обычно имеющим два квазиравновесных состояния. В течение квазиравновесной стадии в схеме идет относительно медленный процесс перезарядки конденсаторов, который в конечном итоге приведет к появлению скачка токов (напряжений), и схема переходит в другое квазиустойчивое состояние и т.д. Мультивибратор с одним времязадающим конденсатором наиболее часто строят на основе двух или трех инверторов, для чего у логических элементов (ЛЭ) И-НЕ или ИЛИ-НЕ все входы объединяют. Входы, оставшиеся свободными, могут быть использованы для управления автогенератором для включения или выключения его. Наиболее характерные схемы представлены на рис.4.

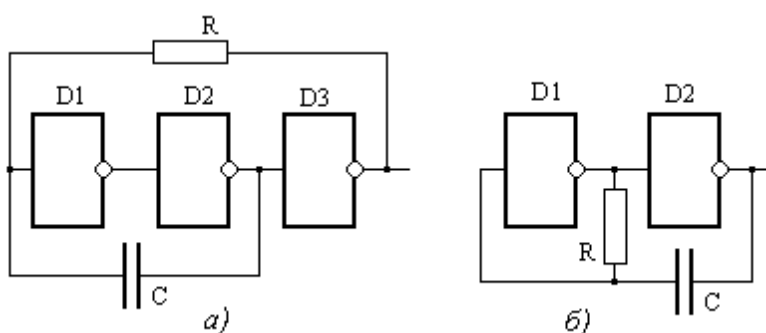
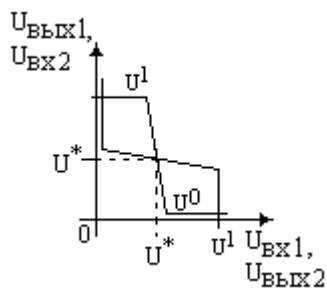


Рис. 4. Схема мультивибратора на трех ЛЭ (а) и на двух ЛЭ (б)

Мультивибраторы (МВ) данных конфигураций могут быть построенными как на ЛЭ КМОП-, так и на ЛЭ ТТЛ-серий.

Для упрощения анализа рассмотрим *схему МВ на трех ЛЭ КМОП* (рис. 4, а). Для возникновения в схеме МВ скачков тока (напряжения) необходимо, чтобы в определенный момент времени оба инвертора  $D1$  и  $D2$  одновременно находились в активной области характеристик и возникла положительная обратная связь. Это достигается путем охвата инверторов  $D1$  и  $D2$  обратной связью с помощью конденсатора  $C$ . Резистор  $R$ , включенный между входом  $D1$  и выходом  $D3$ , служит для вывода инверторов в активную область характеристик. Инвертор  $D3$  служит для переключения уровня напряжения, до которого должен перезарядиться конденсатор  $C$ .



**Рис.5. Нахождение напряжения  $U^*$**

Условие возникновения положительной обратной связи легко определить из совместного анализа (рис.5) передаточных характеристик инверторов  $D1$  и  $D2$ . При этом необходимо считать, что оба ЛЭ должны находиться в области активных характеристик, и емкость  $C$  ведет себя как короткозамкнутый элемент в момент скачка тока. Из анализа рис.5 следует, что такой режим возможен для КМОП в узком диапазоне напряжений  $U_{ВХ1} = U_{ВХ2} = U^* \cong E_{ПИТ} / 2$ .

Рассмотрим характерные моменты работы МВ (рис. 6). Пусть в исходном состоянии потенциал на входе ЛЭ  $D1$  имеет низкое значение  $U_{ВХ}^0 = -0,7$  В (рис.6, в). В этом случае на выходе инвертора  $D1$  формируется высокий потенциал  $U_{ВЫХ1} = U^1$ , на выходе инвертора  $D2$  – низкий потенциал  $U_{ВЫХ2} = U^0$ , на выходе ЛЭ  $D3$  – высокий потенциал  $U^1$ .

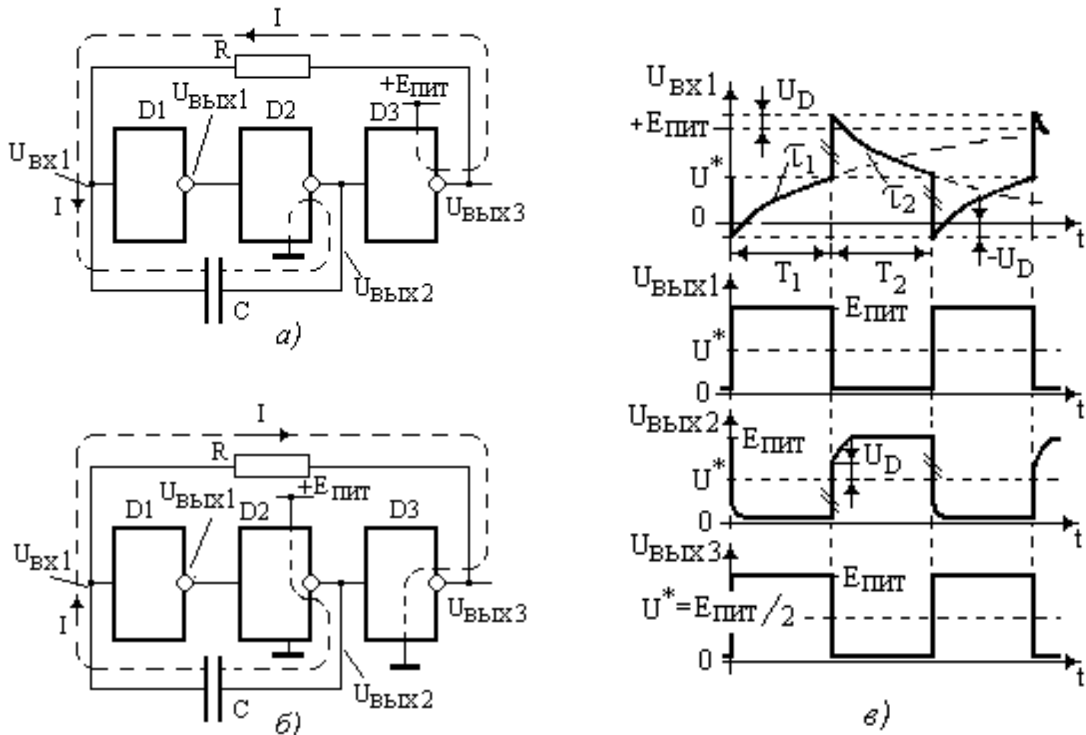


Рис. 6. Путь тока  $I$  в процессе заряда конденсатора  $C$  при формировании периодов  $T_1$  (а),  $T_2$  (б), осциллограммы в характерных точках (в)

Емкость  $C$  начинает перезаряжаться током  $I$ , протекающим через резистор  $R$  и выходы ЛЭ  $D1$  и  $D2$  в соответствии со схемой (рис.6, а). Нахождение МВ в данном квазиравновесном состоянии определяется временем  $T_1$ , необходимым для достижения напряжения  $U^*$  на входе ЛЭ  $D1$  в соответствии с переходным процессом (рис. 6, в).

$$T_1 = \bar{R} C \ln \frac{E_{\text{ПИТ}} + U_D}{E_{\text{ПИТ}} - U^*},$$

где  $\bar{R} = R + r_{\text{ВЫХ}2}^0 + r_{\text{ВЫХ}3}^1 \approx R$ .

При достижении  $U_{\text{ВХ}1} = U^*$  в схеме возникает положительная обратная связь, приводящая к скачку – "опрокидыванию" МВ. Процесс опрокидывания очень короткий, и его длительность учитывать не будем. Положительный скачок напряжения  $\Delta U_{\text{ВЫХ}2}$  с выхода ЛЭ  $D2$  через емкость  $C$  будет передан на вход ЛЭ  $D1$  и создаст потенциал  $U_{\text{ВХ}1}^1 = E_{\text{ПИТ}} + U_D$ . В результате на выходе  $D1$  формируется уровень низкого потенциала, на выходе  $D2$  - высокого, на выходе

$D3$  – низкий потенциал. Конденсатор  $C$  теперь будет перезаряжаться в соответствии со схемой, показанной на рис. 6, б. Этим процессом будет определяться длительность второй квазиравновесной стадии периода колебаний  $T_2$ :

$$T_2 = \bar{R} C \ln \frac{E_{\text{пит}} + U_D}{U^*}.$$

После этого в схеме вновь наступит скачок и переход в первое квазиравновесное состояние. Таким образом, полный период колебаний МВ составляет  $T = T_1 + T_2$ . Если  $R \gg r_{\text{вых2}}$ ,  $r_{\text{вых2}}$  и  $U^* = E_{\text{пит}} / 2$ , то МВ близок к симметричному ( $T_1 = T_2$ ) и оценочно можно считать

$$T = 2RC \ln 2 = 1,4RC.$$

Синхронизированные по времени осциллограммы в характерных точках МВ представлены на рис.6, в. Необходимо помнить, что входы ЛЭ КМОП защищены охранными диодами  $VD1$ ,  $VD2$ . Именно поэтому напряжение на входе  $V_{x1}$  не может быть больше, чем  $|E_{\text{пит}} + U_D|$ , и меньше, чем  $-U_D$ . Наличие охранных диодов приводит в момент переключения к появлению значительных токов диодов  $VD1$ ,  $VD2$ , а также тока выхода ЛЭ  $D2$ , что связано с процессом заряда емкости  $C$ . Это увеличивает длительность переднего и заднего фронта импульса на выходе ЛЭ  $D2$ .