

$$\Delta U'_{ктдоп} \leq \frac{U_{кб.доп}}{1 + n_6} - E_k = \frac{15}{1,4} - 5 = 5,7 \text{ В.}$$

Максимальное сопротивление шунтирующего резистора найдем из формулы

$$(R'_н \parallel R_{ш\max}) = \frac{\Delta U'_{ктдоп} L}{0,75 E_k t_{и}} = 0,6 \text{ кОм,}$$

откуда $R_{ш\max} = 0,75 \text{ кОм.}$

Выбранный тип диода $D_{ш}$ должен удовлетворять условиям

$$I_{д\max} = I_{\mu\max} = \frac{E_k t_{и}}{L} < I_{д.доп}$$

$$|U_{д.доп}| > |E_k|.$$

Выбираем диод типа Д9Г.

11.7. Определить максимальную частоту повторения запускающих импульсов ждущего блокинг-генератора на транзисторе МП111. Задано, что $E_k = 12 \text{ В}$, $E_6 = +2 \text{ В}$, $C = 1 \text{ нФ}$, $R = 1 \text{ кОм}$, $L = 1 \text{ мГн}$, $n_6 = 0,2$, $n_n = 1$. Длительности отрицательного и положительного фронтов выходного импульса можно не учитывать. Считать, что $t_v < t_{восст}$.

Решение

Определим длительность импульса блокинг-генератора. Для большинства типов низкочастотных транзисторов, у которых $f_{\alpha} < 1 \text{ МГц}$, соотношение $\tau_c/\tau_{\beta} > 4$ не выполняется при $C < < 0,1 \text{ мкФ}$, поэтому для определения $t_{и}$ воспользуемся формулой

$$t_{и} = \frac{n_6 LC}{\tau_{\alpha}} \approx 0,7 \text{ мкс.}$$

Определим время восстановления исходного состояния схемы из формулы $t_{восст} = 3RC = 3 \text{ мкс.}$

Максимальная частота повторения запускающих импульсов

$$F_{п} = \frac{1}{t_{и} + t_{восст}} = 0,27 \text{ МГц.}$$

§ 11.2. РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ

В настоящее время широко применяются релаксационные генераторы (мультивибраторы), выполненные в виде гибридных ИМС, на основе логических ИМС и операционных усилителей.

Принципиальные схемы мультивибраторов, выполненных в виде гибридных микросхем, отличаются от мультивибраторов на дискретных транзисторах наличием элементов, улучшающих свойства мультивибраторов. Такие элементы выполняются в едином технологическом цикле со схемой и не влияют на стоимость или габариты микросхемы.

В интегральных мультивибраторах К218ГФ1 и К218Ф2 серии 218 для улучшения формы прямоугольного импульса используются диоды, блокирующие коллекторные потенциалы запирающихся транзисторов; чтобы предотвратить пробой перехода эмиттер – база транзисторов, в базовые цепи включены ограничивающие диоды.

В автоколебательных мультивибраторах, например К219ГФ1 серии 219, для обеспечения мягкого режима самовозбуждения используется нелинейная обратная связь, не допускающая перехода открывающегося транзистора в режиме насыщения.

Мультивибраторы на основе логических ИМС обычно применяют в цифровой аппаратуре, так как при этом наиболее полно обеспечивается унификация элементной базы. Кроме того, не требуется согласование по уровням сигналов релаксационных генераторов и других устройств аппаратуры.

На рис. 11.7, а представлена принципиальная схема автоколебательного мультивибратора на ИМС, реализующих логическую функцию И – НЕ. Логические схемы ИМС₃ и ИМС₄ имеют вспомогательное назначение и служат для создания режима мягкого самовозбуждения колебаний в схеме. При включении питания и возможном появлении на обоих выходах микросхемы ИМС₁ и ИМС₂ сигналов логической единицы срабатывают микросхемы ИМС₃ и ИМС₄. На вход ИМС₂ поступает высокий уровень напряжения, который вызывает

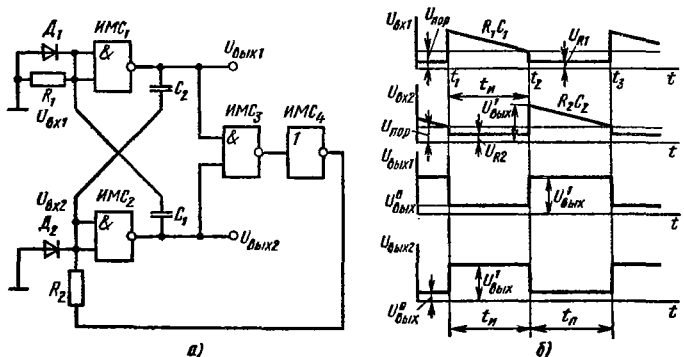


Рис. 11.7

переключение ИМС₂ в состояние логического нуля на выходе и приводит к возникновению режима автоколебаний.

Временные диаграммы, характеризующие работу схемы в режиме автоколебаний, приведены на рис. 11.7, б. В момент времени t_1 напряжение $U_{\text{вх}2}$ достигает порогового значения $U_{\text{пор.сх}}$, при котором происходит переключение микросхемы ИМС₂. Напряжение $U_{\text{вых}2}$ изменяется от уровня $U_{\text{вых}}^0$, соответствующего логическому нулю, до уровня $U_{\text{вых}}^1$ логической единицы. Так как конденсатор C_2 представляет собой в момент времени t_1 цепь, замкнутую накоротко (напряжение на конденсаторе скачком измениться не может), то $U_{\text{вх}1}(t_1) = U_{\text{вых}}^1$ и, следовательно,

$$U_{\text{вх}1}(t_1) = U_{\text{вых}}^0.$$

Скачок напряжения $U_{\text{вх}1}$ от значения $U_{\text{вых}}^1$ до значения $U_{\text{вых}}^0$ через конденсатор C_2 передается на вход микросхемы ИМС₂ и создает нежелательный отрицательный выброс напряжения $U_{\text{вх}1}$. Чтобы исключить отрицательные выбросы на входах ИМС₁ и ИМС₂, резисторы R_1 и R_2 шунтируют диодами D_1 и D_2 .

После момента времени t_1 конденсатор C_1 начинает заряжаться с постоянной времени $\tau_{\text{зар}1} = R_1 C_1$, а напряжение $U_{\text{вх}1}$ стремится к нулю с той же постоянной времени. По достижении напряжением $U_{\text{вх}1}$ порогового значения $U_{\text{пор.сх}}$, при котором переключается микросхема ИМС₁, напряжение $U_{\text{вых}1}$ скачком изменяется до значения, соответствующего логической единице, т. е. $U_{\text{вых}1}(t_2) = U_{\text{вых}}^1$, что приводит к изменению напряжения $U_{\text{вх}2}(t_2) = U_{\text{вых}}^1$, а следовательно, $U_{\text{вых}2}(t_2) = U_{\text{вых}}^0$. Таким образом, мультивибратор переходит в следующее квазиустойчивое состояние, за время которого происходит заряд конденсатора C_2 и изменение напряжения $U_{\text{вх}2}$ с постоянной времени $\tau_{\text{зар}2} = R_2 C_2$. При $U_{\text{вых}2}(t_3) = U_{\text{пор.сх}}$ мультивибратор переходит в новое квазиустойчивое состояние, во время которого заряжается конденсатор C_1 , т. е. цикл повторяется.

В соответствии с временными диаграммами (рис. 11.7, б) длительность импульса выходного напряжения $U_{\text{вых}2}$ определяется формулой

$$t_{\text{и}} = (R_1 + R'_{\text{вых}}) C_1 \ln \frac{U_{\text{вых}}^1 - U_{\text{вых}}^0 + U_{R1}}{U_{\text{пор.сх}}}. \quad (11.34)$$

Длительность паузы между соседними выходными импульсами напряжения

$$t_{\text{п}} = (R_2 + R^1_{\text{вых}}) C_2 \ln \frac{U_{\text{вых}}^1 - U_{\text{вых}}^0 + U_{R2}}{U_{\text{пор.сх}}}, \quad (11.35)$$

где U_{R1} , U_{R2} — падения напряжения на резисторах R_1 , R_2 от протекания входного тока $I_{\text{вх}}^0$ микросхемы при низком уровне входного напряжения ($U_{R1} = I_{\text{вх}}^0 R_1$, $U_{R2} = I_{\text{вх}}^0 R_2$); $R_{\text{вых}}^1$ — выходное сопротивление микросхемы при высоком уровне выходного напряжения. Обычно выбирают $R_1 = R_2 = R$. При выполнении неравенства

$$R \gg R_{\text{вых}}^1 \quad (11.36)$$

будем иметь

$$t_{\text{н}} \approx R_1 C_1 \ln \frac{U_{\text{вых}}^1 - U_{\text{вых}}^0 + U_{R1}}{U_{\text{пор.сх}}}, \quad (11.37)$$

$$t_{\text{п}} \approx R_2 C_2 \ln \frac{U_{\text{вых}}^1 - U_{\text{вых}}^0 + U_{R1}}{U_{\text{пор.сх}}}. \quad (11.38)$$

На рис. 11.8 изображены принципиальная схема (а) и временные диаграммы (б) ждущего мультивибратора на логических микросхемах ИМС₁ и ИМС₂, реализующих функцию И — НЕ.

В исходном состоянии на выходе ИМС₁ имеем высокий уровень напряжения $U_{\text{вых}}^1$ (логическая единица), так как резистор R подключен к нулевой шине и уровень напряжения на входе ИМС₁ определяется падением напряжения $U_R = I_{\text{вх}}^0 R$ на резисторе R от входного тока микросхемы; это напряжение меньше порогового напряжения $U_{\text{пор.сх}}$. Тогда при наличии на входе микросхемы ИМС₂ высокого уровня напряжения на выходе этой микросхемы создается низкий уровень напряжения $U_{\text{вых}2} = U_{\text{вых}}^0$ (логический ноль).

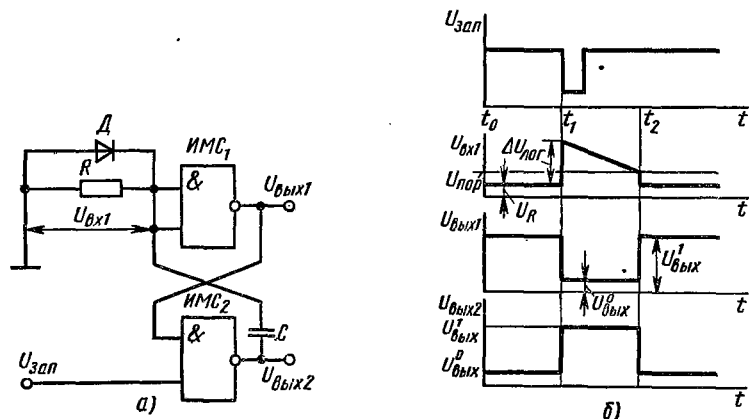


Рис. 11.8

При подаче в момент времени t_1 на вход ИМС₂ запускающего импульса $U_{\text{зап}}$ микросхема ИМС₂ переходит в состояние логической единицы, когда $U_{\text{ВЫХ}2} = U_{\text{ВЫХ}}^1$. Скачок напряжения $\Delta U_{\text{лог}} = U_{\text{ВЫХ}}^1 - U_{\text{ВЫХ}}^0$ передается через конденсатор C на вход микросхемы ИМС₁, которая переходит в состояние логического нуля, когда $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}}^0$.

После момента времени t_1 конденсатор C заряжается по экспоненциальному закону с постоянной времени $\tau = RC$, а напряжение $U_{\text{ВХ}1}$ падает с той же постоянной времени. Мульти-вibrator находится в квазистойчивом состоянии.

В момент времени t_2 , когда напряжение $U_{\text{ВХ}1}$ достигает порогового уровня $U_{\text{пор.сх}}$, происходит переключение ИМС₁ и соответственно ИМС₂. Мульти-вibrator возвращается в исходное состояние. Для предотвращения отрицательного выброса напряжения $U_{\text{ВХ}1}$ в момент t_2 и уменьшения, таким образом, времени восстановления исходного состояния схемы резистор R шунтируют диодом D .

Длительность выходного импульса при $R \gg R_{\text{ВЫХ}}^1$ определяется формулой

$$t_{\text{и}} \approx RC \ln \frac{U_{\text{ВЫХ}}^1 - U_{\text{ВЫХ}}^0 + U_R}{U_{\text{пор.сх}}} \quad (11.39)$$

Принципиальная схема и временные диаграммы работы автоколебательного мульти-вibratorа на операционном усилителе приведены на рис. 11.9, а, б. При подаче питающих напряжений в начальный момент времени t_0 вход 1 операционного усилителя по переменному току заземлен, а на вход 2 по цепи обратной связи поступает небольшое напряжение (положительное или отрицательное), так как на выходе всегда имеется положительное или отрицательное напряжение сдвига. Дифференциальное напряжение, приложенное к входам 1 и 2,

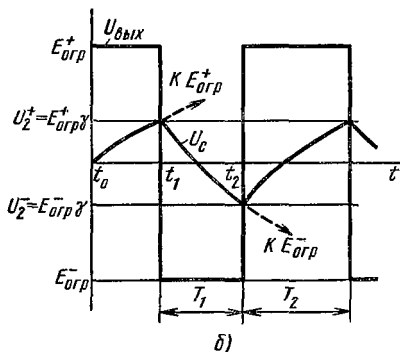
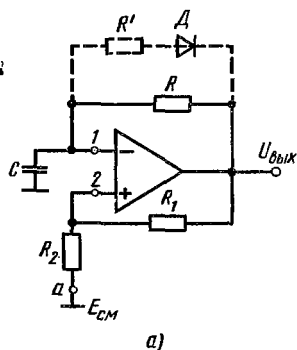


Рис. 11.9

скачком переводит операционный усилитель в режим ограничения, когда, например, $U_{\text{вых}} = E_{\text{огр}}^+$, а $U_2 = U_2^+$. Конденсатор C начинает заряжаться с постоянной времени $\tau = RC$, и напряжение на нем изменяется, стремясь к значению $E_{\text{огр}}^+$. При $U_C = U_2^+ = \frac{E_{\text{огр}}^+ R_2}{R_1 + R_2} = E_{\text{огр}}^+ \gamma$ выходное напряжение скачком изменяется, достигая своего отрицательного предела $E_{\text{огр}}^-$.

Напряжение U_2 становится отрицательным и удерживает схему в состоянии ограничения, когда $U_{\text{вых}} = E_{\text{огр}}^-$. Конденсатор C перезаряжается, а напряжение на нем стремится к значению $E_{\text{огр}}^-$. При $U_C = U_2^- = E_{\text{огр}}^- \gamma$ происходит скачок выходного напряжения к положительному пределу.

Длительности квазиустойчивых состояний схемы при $E_{\text{см}} = 0$ (точка a заземлена) определяются из формулы [15]

$$T_1 = RC \ln \frac{|E_{\text{огр}}^-| + U_2^+}{|E_{\text{огр}}^-| - |U_2^-|} = RC \ln \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right), \quad (11.40)$$

$$T_2 = RC \ln \frac{E_{\text{огр}}^+ + |U_2^-|}{E_{\text{огр}}^+ - U_2^+} = RC \ln \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right) = T_1.$$

Таким образом, при $E_{\text{см}} = 0$ схема генерирует импульсы со скважностью, равной двум. Для изменения частоты и скважности выходных импульсов можно: 1) подать в точку a напряжение $E_{\text{см}} \neq 0$, 2) зашунтировать резистор R цепью, состоящей из последовательно соединенных резистора R' и диода D (на рис. 11.9 показана пунктиром).

Принципиальная схема и временные диаграммы ждущего мультивибратора на операционном усилителе приведены на рис. 11.10. В исходном состоянии, когда $U_{\text{вх}} = 0$, выходное напряжение операционного усилителя равно положительному предельному значению $E_{\text{огр}}^+$. Диод открыт, напряжение на конденсаторе C и соответственно на инвертирующем входе усилителя составляет десятые доли вольт. Напряжение на неинвертирующем входе определяется делителем $(R_1 - R_2)$:

$$U_2^+ = \frac{E_{\text{огр}}^+ R_2}{R_1 + R_2} = E_{\text{огр}}^+ \gamma.$$

Это напряжение удерживает усилитель в таком режиме, когда $U_{\text{вых}} = E_{\text{огр}}^+$.

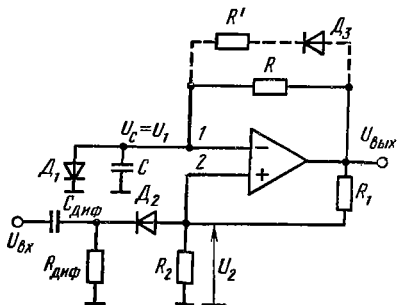


Рис. 11.10

При подаче в момент времени t_0 на вход мультивибратора отрицательного импульса, обычно прямоугольной формы, схема скачком переходит в квазиустойчивое состояние, для которого $U_{\text{вых}} = E_{\text{огр}}^+$. Чтобы исключить влияние источника входного сигнала на работу схемы, применены дифференцирующая цепь $C_{\text{диф}}, R_{\text{диф}}$ и диод D_2 . В момент времени t_0 диод D_2 закрывается и конденсатор C начинает заряжаться с постоянной времени $\tau = RC$. Напряжение на нем стремится к значению $E_{\text{огр}}^-$ по экспоненте с той же постоянной времени.

Схема удерживается в квазиустойчивом состоянии до тех пор, пока в момент времени t_1 напряжение $|U_C| = |U_1|$ не превысит по абсолютному значению напряжение на неинвертирующем входе $|U_2^-|$.

Длительность выходного импульса схемы

$$t_{\text{и}} = RC \ln \frac{U_{\text{д1}} + |E_{\text{огр}}^-|}{|E_{\text{огр}}^-| - |U_2^-|}.$$

Отсюда при $E_{\text{огр}}^+ \gg U_{\text{д1}}$ после несложных преобразований получим

$$t_{\text{и}} \approx RC \ln \frac{|E_{\text{огр}}^-|}{|E_{\text{огр}}^-| R_1 / (R_1 + R_2)} = RC \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right). \quad (11.41)$$

В момент времени t_1 операционный усилитель снова переходит в устойчивое состояние, когда $U_{\text{вых}} = E_{\text{огр}}^+$, и конденсатор C начинает разряжаться с постоянной времени $\tau = RC$. Напряжение U_C стремится по экспоненте к уровню $E_{\text{огр}}^+$.

Время восстановления исходного состояния схемы определяется моментом времени t_2 , когда открывается диод D_1 , и напряжение U_C фиксируется на уровне десятых долей вольт.

В соответствии с временными диаграммами рис. 11.9, б время восстановления определяется из формулы

$$t_{\text{восст}} = RC \ln \frac{|U_2^-| + E_{\text{огр}}^+}{E_{\text{огр}}^+ - U_{\text{д1}}}. \quad (11.42)$$

Полагая $E_{\text{огр}}^+ \gg U_{\text{д1}}$, эту формулу можно упростить:

$$t_{\text{восст}} \approx RC \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right). \quad (11.43)$$

ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ

11.8. Найти максимальное значение сопротивления резистора R_{max} , при котором схемы мультивибратора (см. рис. 11.7 и 11.8) теряют работоспособность. ИМС выполнены на базе элементов ТТЛ-логики и имеют следующие параметры: пороговое зна-