

Практическое занятие №17

ГЕНЕРАТОРЫ ИМПУЛЬСОВ

Теоретические сведения

ТРИГГЕР ШМИТТА

Триггером называется устройство, имеющее два устойчивых состояния и способное под действием управляющих сигналов скачком переходить из одного устойчивого состояния в другое.

Основой релаксационных генераторов на ОУ обычно является триггер Шмитта (пороговое устройство). Триггер Шмитта представляет собой компаратор, охваченный ПОС. Его уровни включения и выключения не совпадают, как у обычного компаратора, а различаются на величину, называемую **гистерезисом переключения** ΔU .

Схема триггера Шмитта на ОУ представлена на рис. 1, а. Схема имеет положительную обратную связь, выполненную в виде сопротивления R_1, R_2 . Коэффициент ПОС $\chi = R_1 / (R_1 + R_2)$. Для нормальной работы схемы должно быть выполнено условие $K_d \cdot \chi > 1$.

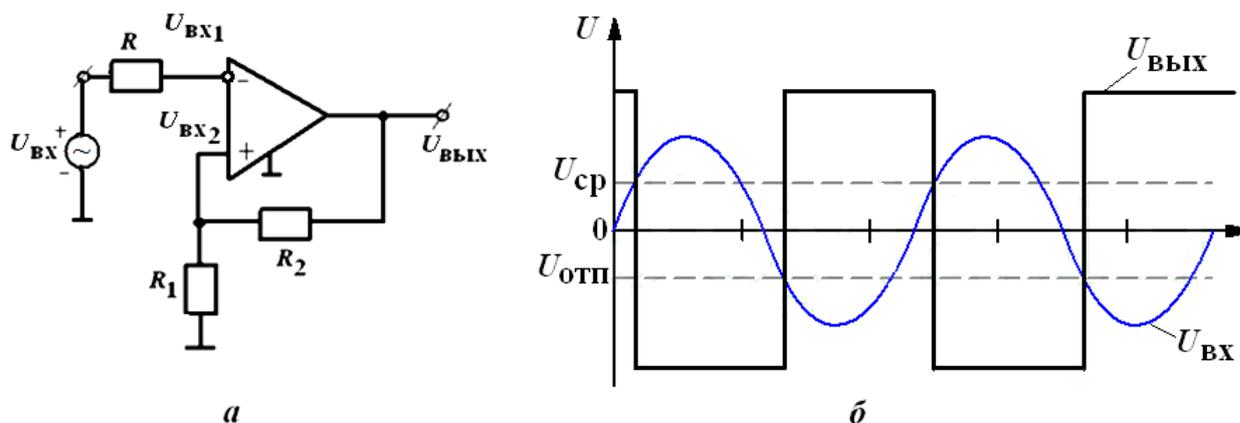


Рис. 1. Триггер Шмитта: а – принципиальная схема; б – Временные диаграммы работы

Пусть на инвертирующий вход подается переменное входное напряжение $U_{ВХ}$, которое начинает расти с 0 (рис. 1, б). Пока оно меньше напряжения на неинвертирующем входе, на выходе компаратора будет максимальное положительное напряжение $U_{ВЫХ} = U_{ВЫХ\max}^+$. Величина напряжения на неинвертирующем входе будет $U_{ВХ2} = U_{ВЫХ\max}^+ \cdot \chi$. Как только растущее $U_{ВХ1}$ достигнет этого значения и начнет его превышать, напряжение на выходе компаратора под действием ПОС переключится со значения $U_{ВЫХ\max}^+$ до значения $U_{ВЫХ\max}^-$. Поэтому значение напряжения $U_{ВХ2} = U_{ВЫХ\max}^+ \cdot \chi$ соответствует напряжению срабатывания триггера Шмитта, $U_{ср}$.

При этом напряжение на неинвертирующем входе изменится до величины $U_{\text{вх2}} = U_{\text{вых max}}^- \cdot \chi \cdot U_{\text{вх1}}$, продолжая меняться во времени, начнет уменьшаться и через некоторое время опустится ниже значения $U_{\text{вх2}}$. Компаратор снова переключится на выходе, теперь уже на значение $U_{\text{вых max}}^+$. Поэтому значение напряжения $U_{\text{вх2}} = U_{\text{вых max}}^- \cdot \chi$ соответствует напряжению отпускания триггера Шмитта, $U_{\text{отп}}$.

Таким образом, переключение схемы в состояние $U_{\text{вых max}}^-$ происходит при достижении $U_{\text{вх}}$ **напряжения (порога) срабатывания** $U_{\text{ср}}$, а возвращение в исходное состояние $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых max}}^+$ – при снижении $U_{\text{вх}}$ до **напряжения (порога) отпускания** $U_{\text{отп}}$.

Разность между пороговыми значениями напряжения переключения называется **гистерезисом переключения**

$$\Delta U_{\text{вх}} = U_{\text{ср}} - U_{\text{отп}} = (U_{\text{вых max}}^+ - U_{\text{вых max}}^-) \cdot \chi. \quad (1)$$

Так как $\chi = R_1 / (R_1 + R_2)$, то легко изменять ширину петли гистерезиса. В таких схемах могут быть самые различные источники опорного напряжения.

МУЛЬТИВИБРАТОР

Мультивибратор – электронное устройство, предназначенное для генерирования периодически повторяющихся прямоугольных импульсов напряжения. Мультивибратор относится к релаксационным генераторам, работающим **в режиме автоколебаний**.

Мультивибраторы делятся на симметричные и несимметричные. В симметричных мультивибраторах длительность импульса $t_{\text{и}}$ и паузы между ними $t_{\text{п}}$ совпадают, а в несимметричных $t_{\text{и}}$ и $t_{\text{п}}$ различны.

Рассмотрим схему симметричного мультивибратора на операционном усилителе (рис. 2, а). ОУ выполняет в схеме роль компаратора. Для переключения мультивибратора из одного состояния квазировновесия в другое с выхода на неинвертирующий вход ОУ подается ПОС с помощью цепи R_2, R_3 . Для нормальной работы устройства необходимо выполнение условия $K_{\text{д}} \cdot \chi > 1$, где $\chi = R_3 / (R_2 + R_3)$ – коэффициент передачи цепи ПОС. Автоколебательный режим задается интегрирующей цепью $C_1 R_1$, подключенной к инвертирующему входу.

Предположим, что конденсатор C_1 изначально был разряжен ($U_C = 0$), а при включении напряжения питания по цепи выхода ОС выходное напряжения стало положительным. В таком случае вследствие действия ПОС инвертирующий вход будет находиться под положительным потенциалом. ПОС не дает возможность иметь выходное напряжение, отличное от максимальных значений.

При промежуточных значениях $U_{\text{ВЫХ}}$ за счет ПОС сразу увеличивается до $U_{\text{ВЫХ max}}^+$ или $U_{\text{ВЫХ max}}^-$. За счет напряжения $U_{\text{ВЫХ max}}^+$ начинается происходить заряд конденсатора током, протекающим через резистор R_1 . При этом на входе $U_{\text{ВХ2}}$ напряжение будет равно $U_{\text{ВХ2}} = U_{\text{ВЫХ max}}^+ \cdot \chi$, где $\chi = R_3 / (R_2 + R_3)$.

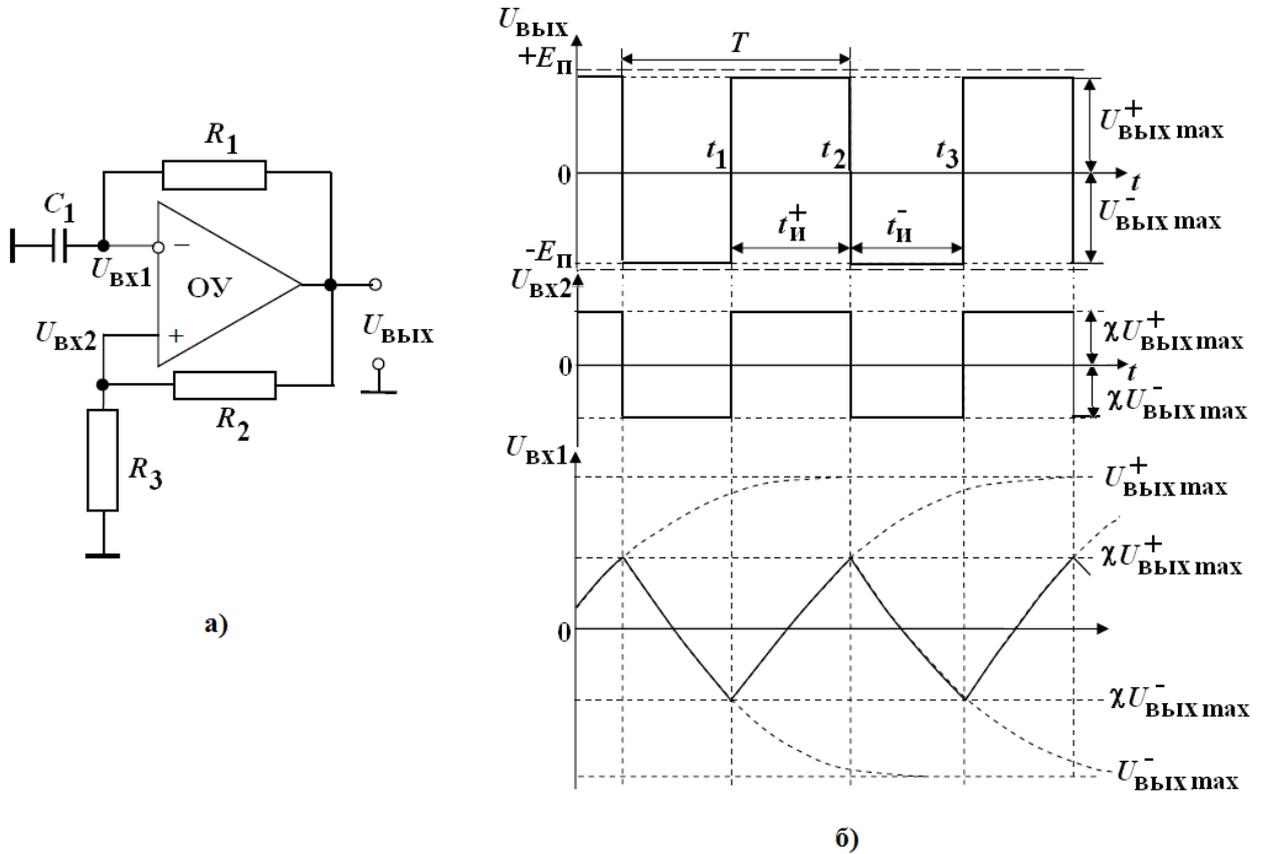


Рис. 2. Симметричный мультивибратор на ОУ (а) и временные диаграммы его работы (б)

Напряжение U_C увеличивается, и при достижении напряжения $U_{\text{ВХ2}} = U_C$ произойдет обратный скачок. Тогда за счет ПОС на выходе установится напряжение $U_{\text{ВЫХ max}}^-$. На неинвертирующем входе будет напряжение $U_{\text{ВХ2}} = U_{\text{ВЫХ max}}^- \cdot \chi$, конденсатор начинает перезаряжаться, и напряжение на нем будет стремиться к напряжению $U_{\text{ВЫХ max}}^-$. При достижении нового значения $U_{\text{ВХ2}}$ происходит очередной перебор схемы. Таким образом, в схеме устанавливаются колебания.

Для данной схемы длительности выходных импульсов $t_{\text{и}}^+$ и $t_{\text{и}}^-$ (длительности нахождения мультивибратора в квазиустойчивых состояниях при $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ max}}^+$ и $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ max}}^-$) одинаковы и равны:

$$t_{\text{и}} = t_{\text{п}} = R_1 C_1 \cdot \ln \left(1 + 2 \frac{R_3}{R_2} \right). \quad (2)$$

Такой мультивибратор называется симметричным. Период следования импульсов T определяется выражением:

$$T = t_{\text{н}} + t_{\text{п}} = 2R_1C_1 \cdot \ln\left(1 + 2\frac{R_3}{R_2}\right). \quad (3)$$

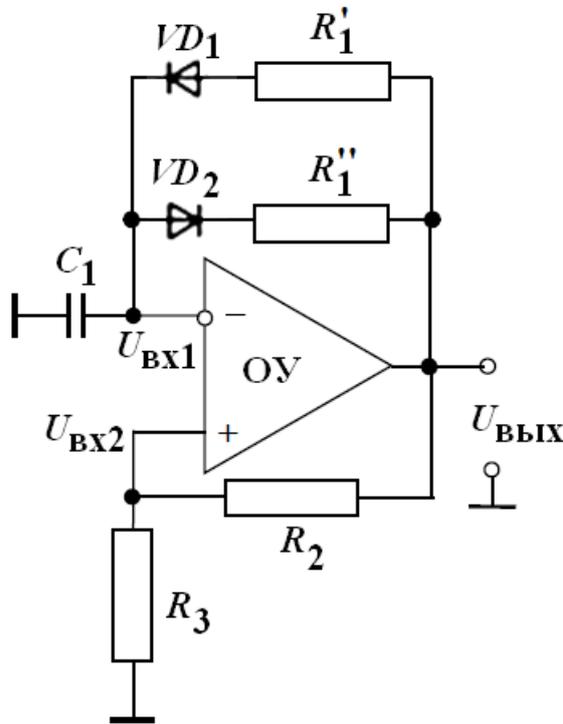


Рис. 3. Несимметричный мультивибратор

В несимметричном мультивибраторе (рис. 3) заряд и разряд конденсатора C_1 происходит через разные резисторы, R_1' и R_1'' , т.е. с разной скоростью (если $R_1' \neq R_1''$) – с разными постоянными времени, C_1R_1' и C_1R_1'' . Для этого в соответствующие цепи включены диоды VD_1 и VD_2 , чтобы ток в цепи протекал только в одном направлении, обеспечивая заряд или разряд конденсатора.

В этом случае время заряда конденсатора до порога срабатывания $U_{\text{ВХ2}} = U_{\text{ВЫХ max}}^+ \cdot \chi$ будет отличаться от времени его разряда до порога срабатывания $U_{\text{ВХ2}} = U_{\text{ВЫХ max}}^- \cdot \chi$, значит, будут разными времена $t_{\text{н}}$ и $t_{\text{п}}$:

$$t_{\text{н}} = R_1' C_1 \cdot \ln\left(1 + 2\frac{R_3}{R_2}\right), \quad t_{\text{п}} = R_1'' C_1 \cdot \ln\left(1 + 2\frac{R_3}{R_2}\right), \quad (4)$$

$$T = t_{\text{н}} + t_{\text{п}} = (R_1' + R_1'') C_1 \cdot \ln\left(1 + 2\frac{R_3}{R_2}\right). \quad (5)$$

ОДНОВИБРАТОР

Одновибратор или, по-другому, ждущий мультивибратор предназначен для формирования прямоугольного импульса напряжения требуемой длительности при воздействии на входе короткого запускающего импульса. Одновибратор работает в ждущем режиме. Устойчивое состояние одновибратора характеризует исходный режим работы (*режим ожидания*). Неустойчивое состояние наступает с приходом входного запускающего импульса. Длительность нахождения в этом состоянии определяется времязадающей цепью схемы. Потом одновибратор возвращается в исходное устойчивое состояние. Выходной импульс формируется в результате следования одного за другим двух тактов переключения схемы. Схема одновибратора, приведенная на рис. 4, отличается от схемы мультивибратора на рис. 2 наличием прямого входа через конденсатор C_1 . Для создания ждущего режима работы параллельно конденсатору C включен диод VD_1 .

При показанном на рис. 4, а направлении включения диода VD_1 схема запускается входным импульсом напряжения положительной полярности (рис. 4, б).

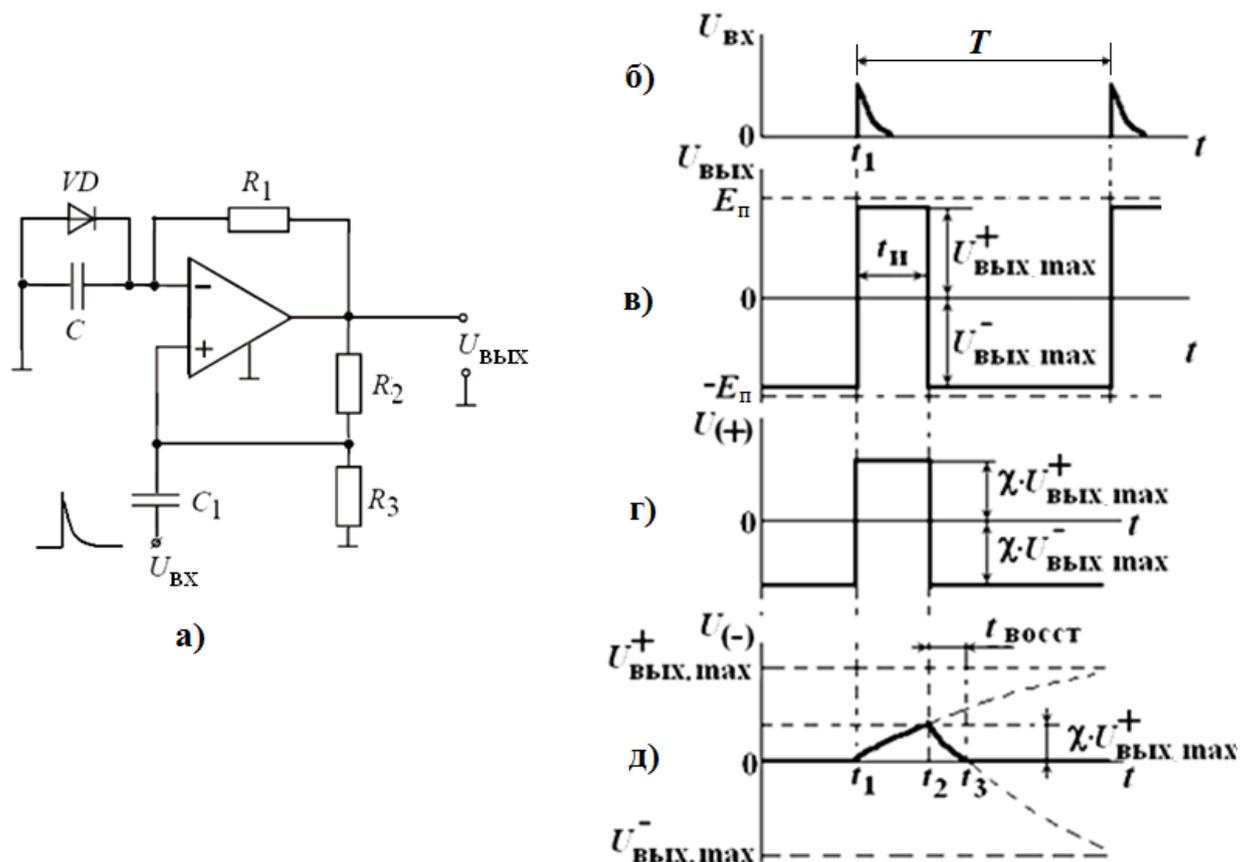


Рис. 4. Одновибратор (а) и временные диаграммы его работы (б – г)

В исходном состоянии напряжение на выходе одновибратора равно $U_{\text{вых max}}^-$, что определяет напряжение на неинвертирующем входе ОУ $U_{(+)} = \chi \cdot U_{\text{вых max}}^-$.

Напряжение на инвертирующем входе ОУ $U_{(-)}$, равное падению напряжения на диоде при протекании тока по цепи с резистором R_1 , близко к нулю. Поступающий входной импульс в момент времени t_1 (рис. 4, б) переводит ОУ в состояние $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых max}}^+$. На неинвертирующий вход ОУ передается напряжение $\chi \cdot U_{\text{вых max}}^+$, поддерживающее его изменившееся состояние.

Воздействие напряжения положительной полярности на выходе ОУ вызывает процесс заряда конденсатора C в цепи с резистором R_1 , в которой конденсатор стремится зарядиться до напряжения $U_{\text{вых max}}^+$. Однако в процессе заряда емкости напряжение U_C не достигает $U_{\text{вых max}}^+$, так как в момент времени t_2 (рис. 4, в-д) при $U_{(-)} = \chi \cdot U_{\text{вых max}}^+$ происходит возврат ОУ в исходное состояние.

После момента времени t_2 в схеме наступает процесс восстановления исходного напряжения на конденсаторе (рис. 4, δ), который обусловливается изменившейся полярностью напряжения на выходе ОУ.

Режим восстановления заканчивается тем, что напряжение на конденсаторе достигает напряжения открытого состояния диода VD_1 , которое можно принять равным нулю.

Процесс восстановления исходного состояния схемы должен быть завершен к приходу очередного запускающего импульса, т.е. необходимо обеспечить условие $T > t_{\text{и}} + t_{\text{восст}}$.

Таким образом, период колебаний одновибратора T равен периоду следования запускающего импульса (рис. 4, δ).

Длительность импульса одновибратора равна

$$t_{\text{и}} = R_1 C \cdot \ln(1 + R_2/R_3), \quad (6)$$

т.е. она может регулироваться изменением величины резистора R_1 или соотношения R_2/R_3 .

Длительность этапа восстановления

$$t_{\text{восст}} = R_1 C \cdot \ln\left(\frac{2R_2 + R_3}{R_2 + R_3}\right). \quad (7)$$

Задачи для решения

1. Для схемы триггера Шмитта на рис. 1 определить величину гистерезиса переключения, если известно, что $U_{\text{вых.мах}} = \pm 11$ В, $R_1 = 2$ кОм, $R_2 = 3$ кОм.

2. Найти значение сопротивления R_1 в схеме триггера Шмитта на рис. 1, чтобы гистерезис переключения составлял 4 В. $U_{\text{вых.мах}} = \pm 14$ В, $R_2 = 5$ кОм.

3. На вход триггера Шмитта подается синусоидальное напряжение, как показано на рис. 1, с амплитудным значением 6 В и частотой 50 Гц: $u_{\text{вх}}(t) = 6\sin(2\pi \cdot 50t)$. $U_{\text{вых.мах}} = \pm 15$ В, $R_1 = 1$ кОм, $R_2 = 4$ кОм. Найти длительности действия на выходе максимального положительного и максимального отрицательного напряжения и период переключения триггера Шмитта.

Примечание: Задача решается *подобно* задаче 7 из предыдущей практики (но не в точности так же), т.е. нужно найти времена, когда синусоида – кривая $u_{\text{вх}}(t)$ – пересекается с напряжениями $U_{\text{ср}}$ и $U_{\text{отп}}$. «Расстояние» между точками пересечения синусоиды с напряжениями $U_{\text{ср}}$ и $U_{\text{отп}}$ или $U_{\text{отп}}$ и $U_{\text{ср}}$ будет равно, соответственно, длительностям напряжений $U_{\text{вых мах}}^-$ или $U_{\text{вых мах}}^+$ (см. рис. 1, δ). «Расстояние» между точками пересечения синусоиды с одним и тем же значением, $U_{\text{ср}}$ и $U_{\text{ср}}$ или, наоборот, $U_{\text{отп}}$ и $U_{\text{отп}}$, равно периоду переключения триггера Шмитта. Поэтому нужно будет найти как минимум три корня: два корня (с учетом периодичности функции \sin) из уравнения $6\sin(2\pi \cdot 50t) = U_{\text{ср}}$ и один корень из уравнения $6\sin(2\pi \cdot 50t) = U_{\text{отп}}$

или, наоборот, один корень из уравнения $6\sin(2\pi \cdot 50t) = U_{\text{ср}}$ и два корня из уравнения $6\sin(2\pi \cdot 50t) = U_{\text{отп}}$. Не забывайте при этом, что $U_{\text{отп}} < 0$.

4. Определить частоту генерации колебаний симметричного мультивибратора (рис. 2), если известно, что $C1 = 100$ нФ, $R1 = 5$ кОм, $R2 = 10$ кОм, $R3 = 1$ кОм.

Примечание: вспомните из предыдущей практики, как связаны друг с другом частота и период следования импульсов.

5. Подберите значение сопротивления $R3$, чтобы обеспечить частоту генерации симметричного мультивибратора (рис. 2) в 5 кГц. Известно, что $R1 = 500$ Ом, $R2 = 10$ кОм, $C = 200$ нФ.

Примечание: чтобы найти корень, находящийся под знаком логарифма, нужно взять экспоненту от обеих частей уравнения, например:

$$B = \ln(A + x) \Rightarrow A + x = e^B \Rightarrow x = e^B - A.$$

6. Определить частоту генерации колебаний несимметричного мультивибратора (рис. 3), а также длительности импульса и паузы выходного напряжения, если $C1 = 1$ мкФ, $R_1' = 10$ кОм, $R_1'' = 30$ кОм, $R2 = 20$ кОм, $R3 = 30$ кОм.

7. Найти длительность импульса одновибратора (рис. 4), если известно, что $R1 = 2$ кОм, $R2 = 10$ кОм, $R3 = 5$ кОм, $C = 2$ мкФ. С какой максимальной частотой можно подавать на вход запускающие импульсы?

Примечание: внимательно прочитайте в теоретических сведениях, от чего зависит периодичность запускающих импульсов одновибратора.