

Задачей Домашнего задания по курсу Электроника является создание генератора периодического сигнала сложной формы, вид которой схематично изображён на рис.1.

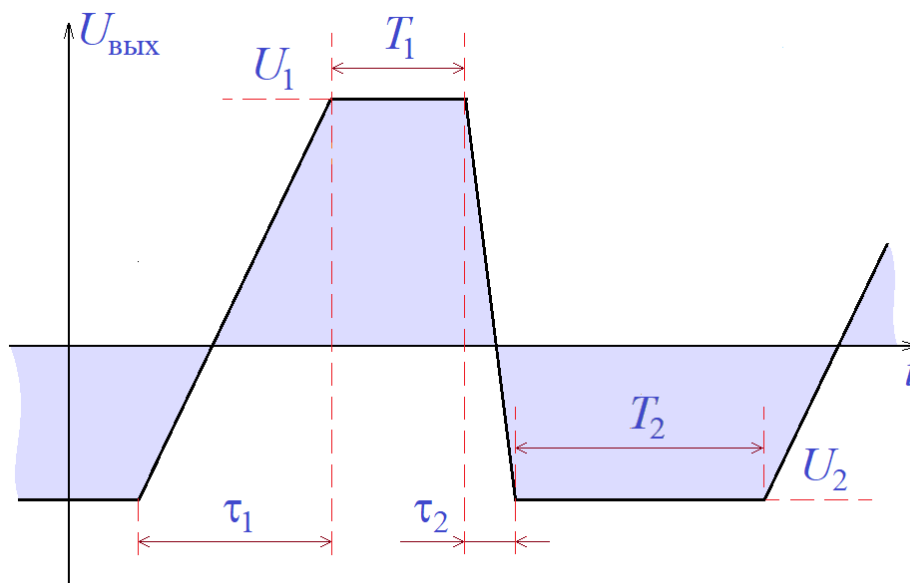


Рис. 1. Выходной сигнал генератора

Исходными данными для проектирования являются:

$T_1$ ,  $T_2$  – длительности «полупериодов» сигнала;

$\tau_1$ ,  $\tau_2$  – длительности линейных переходных процессов от первого «полупериода» ко второму и от второго к первому;

$U_1$ ,  $U_2$  – значения постоянных уровней «полупериодов» сигнала;

$R_{\text{Н}}$  – сопротивление нагрузки генератора.

Предлагается разработать генератор, согласно блок-схеме, приведённой на рис. 2. Разрешаются другие технические решения, реализующие заданные параметры.

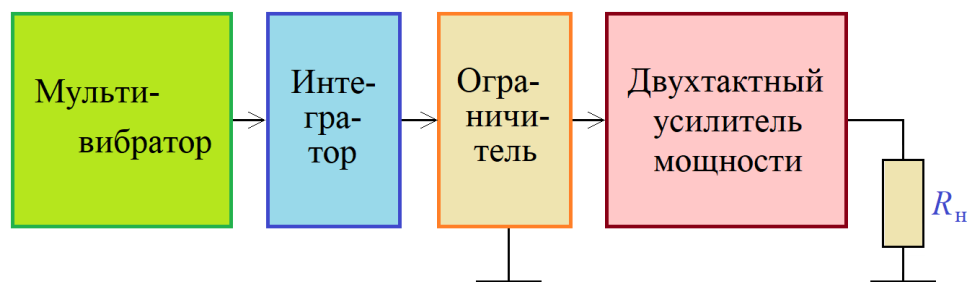


Рис. 2. Блок-схема генератора

Разработанный проект следует реализовать в системе Proteus с использованием моделей только реальных электронных компонентов.

Разработку проекта рекомендуется начать с двухтактного усилителя мощности. Его можно реализовать по схеме, представленной на рис. 3. Марки транзисторов и операционного усилителя (ОУ), входящих в его состав, следует выбрать, исходя из задания. Максимальный коллекторный ток транзисторов должен быть не меньше максимально возможного тока через нагрузку

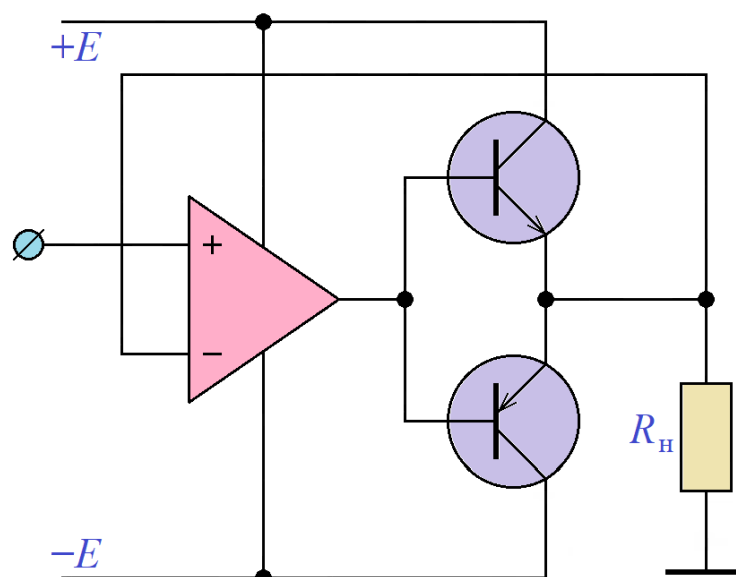


Рис. 3 Двухтактный усилитель мощности

$I_{Hmax}$ . Напряжение питания ОУ должно быть не меньше максимального напряжения на нагрузке, а его максимальный выходной ток – не меньше, чем  $I_{Hmax}/\beta$ , где  $\beta$  – статический коэффициент усиления транзисторов по току. Если ток через нагрузку имеет настолько большое значение, что не удаётся подобрать подходящий ОУ и транзисторы, следует использовать составные транзисторы (рис. 3а).

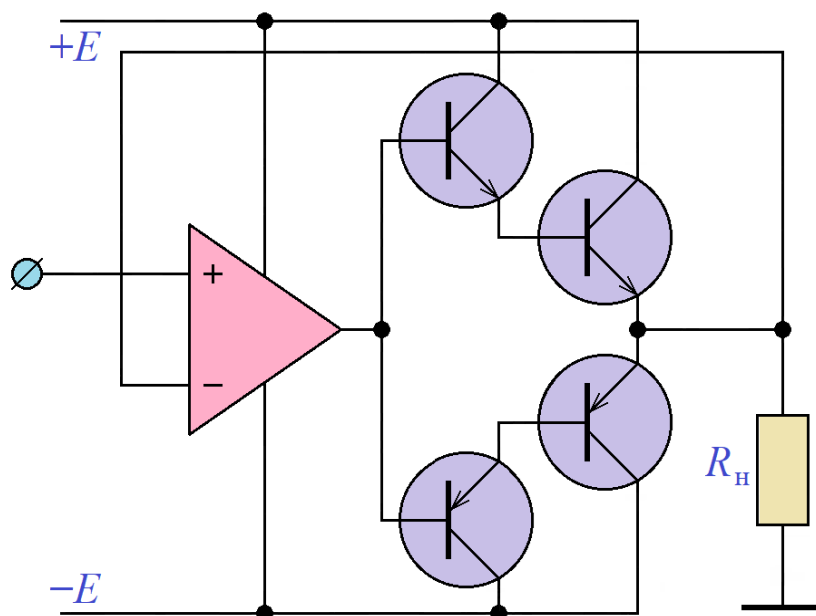


Рис. 3а. Усилитель мощности с составными транзисторами

После сборки усилителя мощности следует убедиться в его адекватной работе. Для этого необходимо на вход усилителя подать импульсный сигнал, соответствующий заданию, и убедиться, что усилитель мощности повторяет этот сигнал как без нагрузки, так и с номинальной нагрузкой. Импульсный сигнал с требуемыми параметрами

легко получить в системе Proteus с помощью встроенного генератора импульсов, устанавливая требуемые значения его параметров – Initial Voltage, Pulsed Voltage, Pulse Width, Period, Rise Time и Fall Time.

Допускается иное схемное решение усилителя мощности. Однако отказ от применения операционного усилителя вызывает значительное расхождение между входным и выходным сигналами, а также большие сложности с устранением переходных искажений.

Собрав усилитель мощности и убедившись в правильности его работы, следует реализовать каскад, преобразующий прямоугольное напряжение с «полупериодами»  $T_1 + \tau_1$  и  $T_2 + \tau_2$ , и с как можно более крутыми фронтом и спадом, в импульсное напряжение требуемой формы. Предлагается разработать его на основе классической схемы интегратора на ОУ (рис. 4).

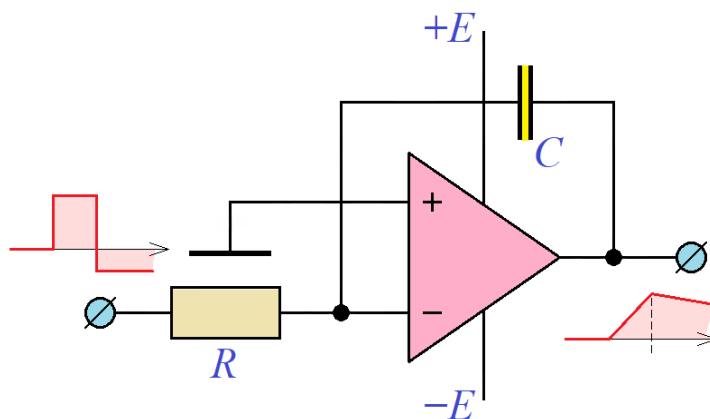


Рис. 4. Интегратор на операционном усилителе

Выходной сигнал интегратора определяется выражением

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_0 - \frac{1}{RC} \int_0^t U_{\text{ВХ}} dt,$$

следовательно, скорость его изменения равна

$$\frac{dU_{\text{ВЫХ}}}{dt} = -\frac{U_{\text{ВХ}}}{RC}.$$

Поскольку участки линейного изменения сигнала рис. 1 имеют скорость нарастания  $(U_1 - U_2)/\tau_1$  и спада  $(U_2 - U_1)/\tau_2$ , возникает возможность подавать на вход интегратора периодический сигнал с «полупериодами» длительностью  $T_1 + \tau_1$  и  $T_2 + \tau_2$ , в каждом из которых сигнал имеет постоянное значение  $U_0$  и  $-U_0$  соответственно, а разную скорость нарастания выходного сигнала интегратора обеспечивать разным значением постоянной времени  $RC$ , как это изображено на рис. 5.

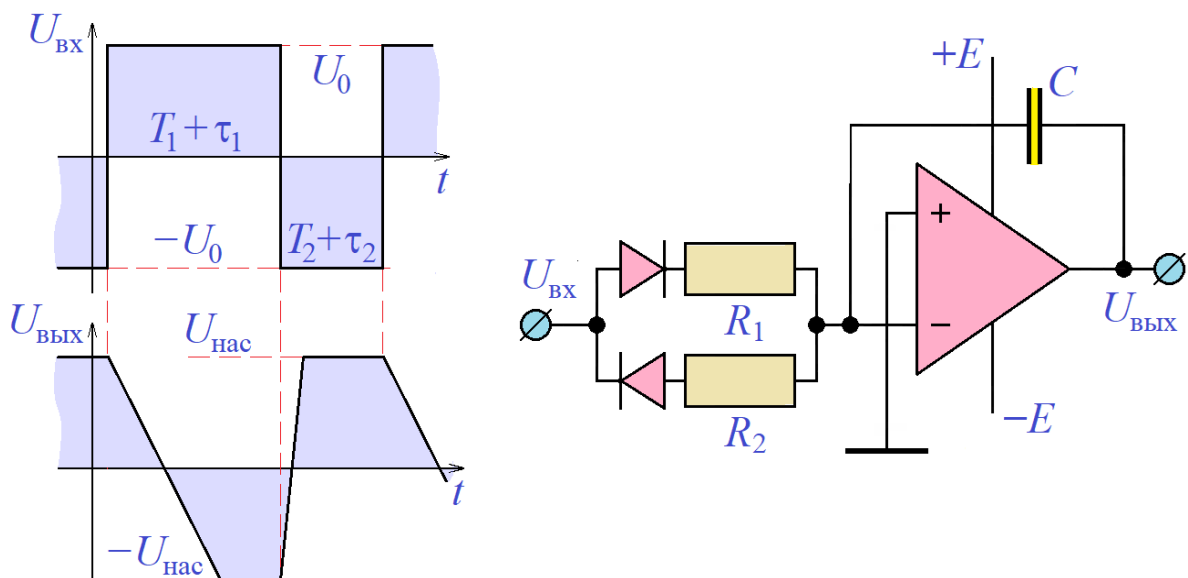


Рис. 5. Формирователь прообраза сигнала рис. 1

При этом удобно для разных «полупериодов» использовать разные величины сопротивлений резисторов  $R_1 = \frac{\tau_1 U_0}{C(U_1 - U_2)}$  и  $R_2 = \frac{\tau_2 U_0}{C(U_1 - U_2)}$ . Значения сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ , конечно, определяются максимальным выходным током ОУ:  $R = U_0 / I_{\max}$ , который, как правило, имеет значение не более 5 мА.

Альтернативным решением может явиться использование одного резистора и прямоугольного напряжения с разными значениями постоянных уровней  $U_{\text{BX1}} = \frac{RC}{\tau_1}(U_1 - U_2)$  и  $U_{\text{BX2}} = \frac{RC}{\tau_2}(U_2 - U_1)$ , как это показано на рис. 6.

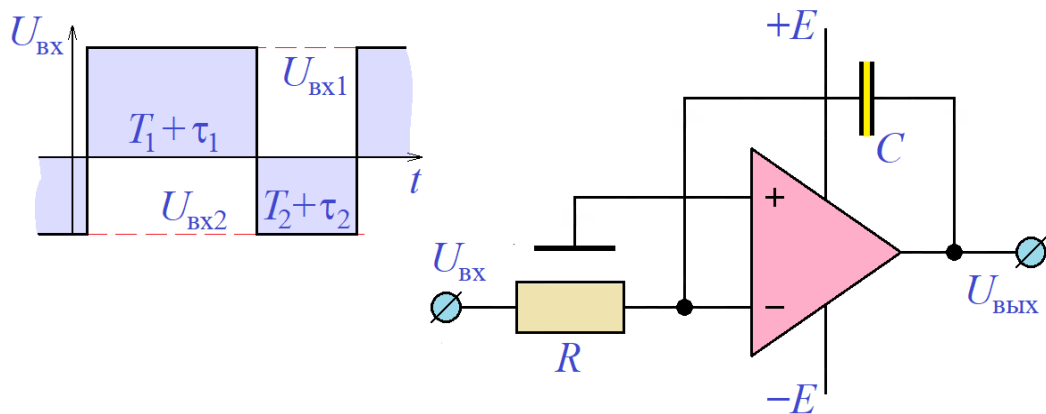


Рис. 6. Альтернативный способ формирования сигнала рис. 1

В этом случае прямоугольный сигнал с уровнями  $U_{\text{BX1}}$  и  $U_{\text{BX2}}$  легко может быть получен из симметричного прямоугольного сигнала с уровнями  $U_0$  и  $-U_0$  (рис. 7).

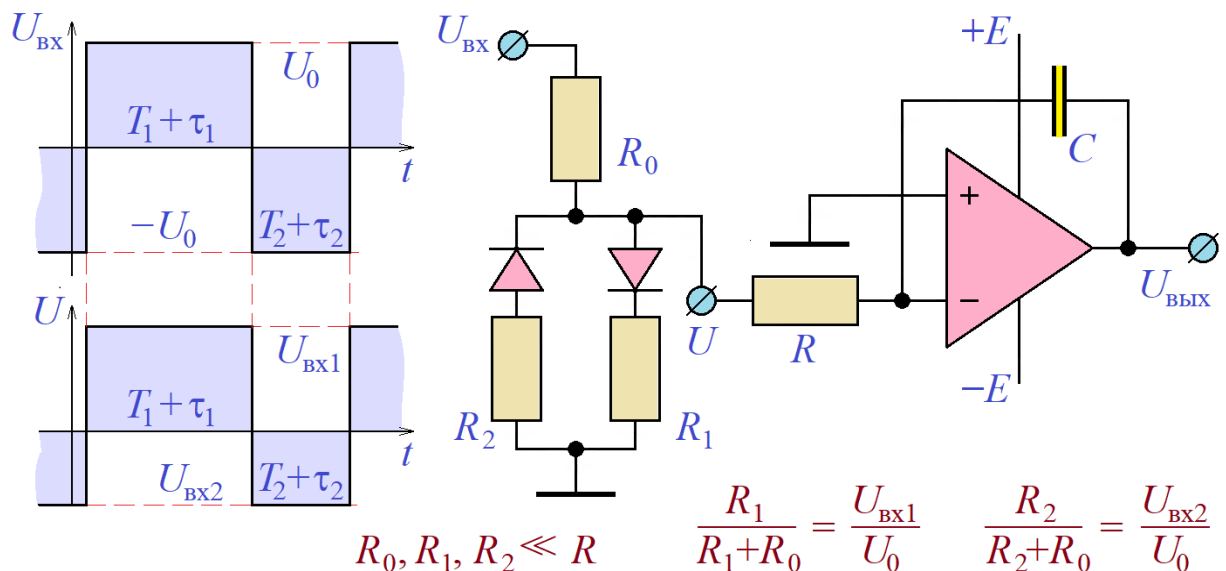


Рис. 7. Формирования постоянных уровней рис. 6

Сигнал рис. 5 является только прообразом требуемого сигнала рис.1, потому что вместо уровней  $U_1$  и  $U_2$  он имеет уровни  $U_{\text{нас}}$  и  $-U_{\text{нас}}$ .

После сборки и отладки формирователя прообраза сигнала следует обеспечить его двустороннее ограничение уровнями  $U_1$  и  $U_2$ . Это можно обеспечить одним из вариантов рис. 8. Можно также использовать питание операционного усилителя на рис. 5 – 7 собственными источниками питания, выдающими напряжение, отличное от напряжений общего питания  $\pm E$ . Величины напряжения стабилизации стабилитронов должны быть равны заданным напряжениям  $U_1$  и  $U_2$ . При необходимости (для точной установки уровней ограничения) можно включить последовательно со стабилитроном импульсный диод (в прямом направлении), падение напряжения на котором составляет 0,6...0,7 В.

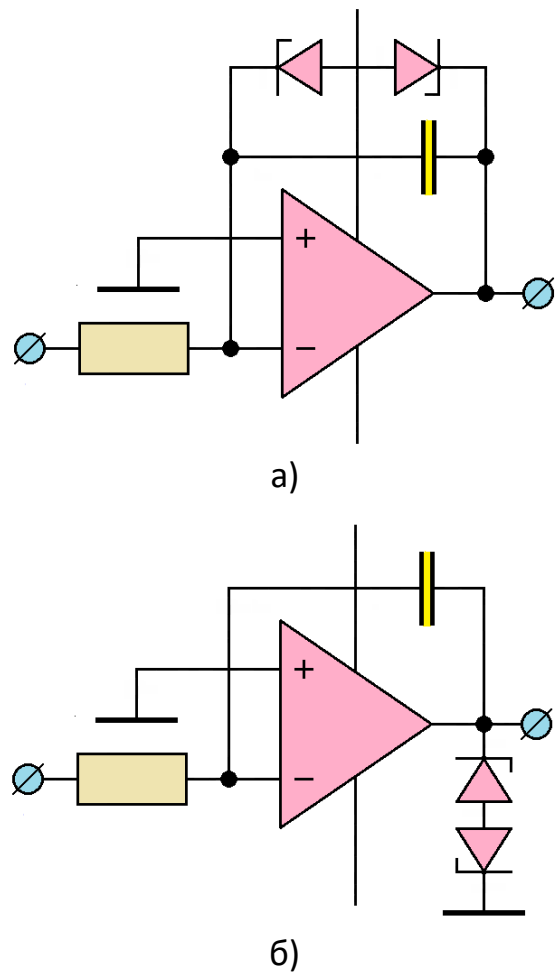


Рис. 8. Варианты двустороннего ограничения сигнала схем рис. 5-7

Как это следует из рис. 5-7, на вход формирователя импульсов необходимо подать прямоугольный сигнал с длительностями «полупериодов»  $T_1 + \tau_1$  и  $T_2 + \tau_2$ . Самым простым решением этой проблемы является использование мультивибратора на операционном усилителе, схема которого приведена на рис. 9. Мультивибратор выдаёт сигнал прямоугольной формы с «полупериодами»

$$T_1 = RC \ln \frac{U_{\text{нас}+} (R_1 + 2R_2)}{U_{\text{нас}+} (R_1 + R_2) + U_{\text{нас}-} R_2} \quad \text{и} \quad T_2 = RC \ln \frac{U_{\text{нас}-} (R_1 + 2R_2)}{U_{\text{нас}-} (R_1 + R_2) + U_{\text{нас}+} R_2},$$

которые в случае  $R_1 = R_2$ ,  $U_{\text{нас}-} = -U_{\text{нас}+}$  принимают значения:  $T_1 = T_2 = RC \ln 3$ .

Добиться разных значений  $T_1$  и  $T_2$  в этом случае можно, обеспечив заряд и разряд конденсатора через разные сопротивления, как это изображено на рис. 10.

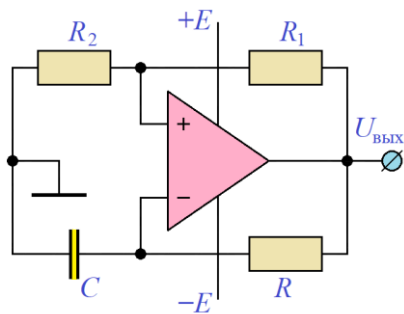


Рис. 9. Мультивибратор на основе операционного усилителя

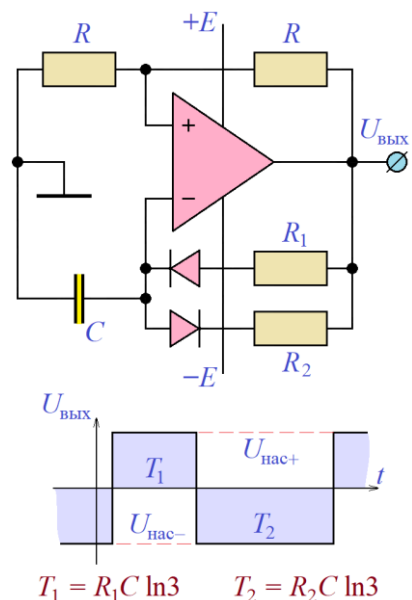


Рис. 10. Мультивибратор с различными длительностями «полупериодов»

## Порядок разработки устройства.

1. Получить требуемые параметры выходного сигнала устройства:

$T_1$ ,  $T_2$  – длительности «полупериодов» сигнала;

$\tau_1$ ,  $\tau_2$  – длительности линейных переходных процессов от первого «полупериода» ко второму и от второго к первому;

$U_1$ ,  $U_2$  – значения постоянных уровней «полупериодов» сигнала;

$R_H$  – сопротивление нагрузки генератора.

(См. рис. 1)

2. Исходя из полученных значений параметров, выбрать марки операционных усилителей и транзисторов, входящих в состав проектируемого устройства – операционный усилитель должен работать при напряжении источников питания, не меньшем, чем уровни  $U_1$  и  $U_2$ , транзисторы усилителя мощности должны работать при напряжении коллектор-эмиттер, не меньшем

$|U_1 - U_2|$  и токах, не меньших  $I_H = \max \left( \frac{|U_1|}{R_H}, \frac{|U_2|}{R_H} \right)$ .

3. Собрать в системе Proteus двухтактный усилитель мощности по схеме рис. 3 или рис. 3., работающий на номинальную нагрузку сопротивлением  $R_H$ . Убедиться в адекватной работе усилителя на нагрузку с сопротивлением  $R_H$  со входным сигналом рис. 1 с заданными параметрами. Сигнал можно получить, используя встроенный генератор импульсов системы Proteus.

4. Собрать в системе Proteus интегратор по схеме рис. 5. Рекомендуется использовать операционный усилитель того же типа, как и в предыдущем пункте. Резистор интегратора следует выбрать таким, чтобы выходной ток операционного усилителя не превосходил максимально допустимое значение:  $\frac{|U_1 - U_2|}{R_H} \leq I_{\text{ВЫХ max}}$ , а сопротивления резисторов, согласно формулам

$$R_1 = \frac{\tau_1 U_0}{C(U_1 - U_2)} \text{ и } R_2 = \frac{\tau_2 U_0}{C(U_1 - U_2)}.$$

Допускается собрать интегратор в соответствии с рис. 6 и рис. 7.

Убедиться в адекватной работе интегратора, подав на его вход прямоугольное напряжение (от встроенного генератора импульсов системы Proteus) с «полупериодами»  $T_1 + \tau_1$  и  $T_2 + \tau_2$ , и убедившись, что его выходное напряжение имеет скорость нарастания  $(U_1 - U_2)/\tau_1$  и  $(U_2 - U_1)/\tau_2$ .

5. Дополнить схему интегратора двусторонним ограничителем, согласно схемам рис. 8а, рис. 8б и рис. 8в. Напряжения стабилизации стабилитронов выбрать согласно заданным значениям. При этом запрещено использовать стабилитрон GENERIC с задаваемыми параметрами или редактировать параметры элементов PROTEUS. Если это необходимо, напряжение стабилизации стабилитрона можно несколько увеличить, включив последовательно с ним диод, прямое падение напряжения на котором составляет примерно 0,6...0,7 В.

Убедиться в адекватной работе интегратора с ограничителем, подав на его вход прямоугольное напряжение (от встроенного генератора импульсов системы Proteus) с «полупериодами»  $T_1 + \tau_1$  и  $T_2 + \tau_2$ , и убедившись, что его выходное напряжение совпадает с требуемым.

Подать сигнал с выхода интегратора с ограничителем на вход усилителя мощности, работающего на номинальную нагрузку, убедиться в адекватной работе системы. В случае значительного расхождения параметров формируемого и требуемого сигналов осуществить необходимую коррекцию значений сопротивлений и емкостей.

5. Собрать в системе Proteus мультивибратор на операционном усилителе по схеме рис. 10. Желательно использовать операционный усилитель той же марки, что и в предыдущих узлах. При этом сопротивления резисторов выбирать согласно формулам  $R_1 = \frac{T_1 + \tau_1}{C \ln 3}$  и  $R_2 = \frac{T_2 + \tau_2}{C \ln 3}$ , где ёмкость  $C$  может принимать любое значение, при этом максимальное значение выходной тока операционного усилителя  $\max\left(\frac{2E}{R_1}, \frac{2E}{R_2}\right)$  не должно превышать 5 мА.

Допустима другая конструкция мультивибратора.

Убедиться в адекватной работе мультивибратора.

Подать сигнал с выхода мультивибратора на вход интегратора с ограничителем, подключённого к усилителю мощности, работающего на номинальную нагрузку, и убедиться в адекватной работе системы в целом.

Часто возникающей проблемой (как правило, неразрешимой для студента) является поиск стабилитрона очень малого напряжения. Эту проблему можно решить двумя способами:

1. Использовать диод (или 2-3 последовательно соединённых диода) в прямом включении.

2. Построить устройство с параметрами выходного сигнала, «удобными» для проектирования, а затем использовать делитель напряжения, как это изображено на рис. 11.

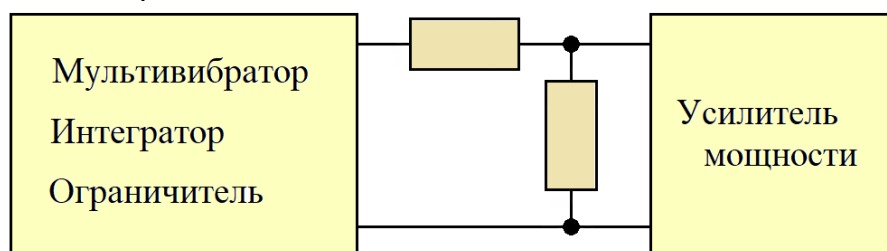


Рис. 11. Использование делителя напряжения для облегчения проектирования устройства

Можно даже использовать разные делители напряжения для положительных и отрицательных частей сигнала (рис. 12).

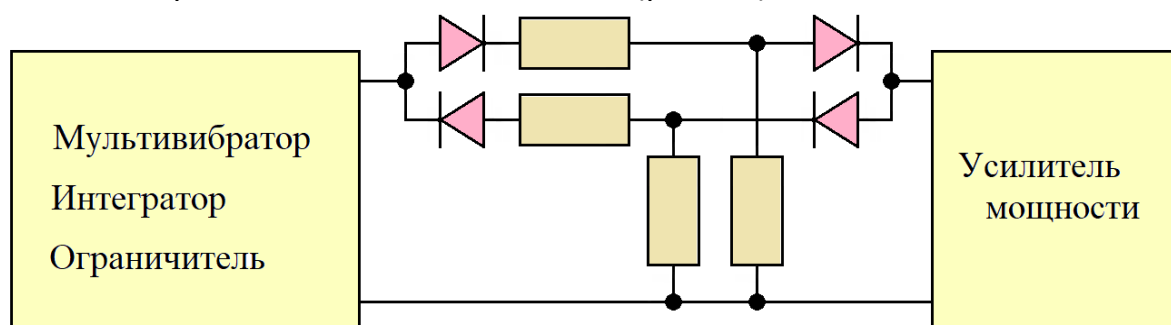


Рис. 11. Использование разных делителей напряжения для положительной и отрицательной частей сигнала



## **Содержание отчёта.**

Отчёт по домашнему заданию должен содержать:

1. Исходные данные для проектирования.
2. Основания для выбора напряжений источников питания, марки операционного усилителя и марок использованных транзисторов.
3. Схему усилителя мощности и диаграммы напряжений, иллюстрирующие его работу.
4. Схему интегратора с двусторонним ограничителем с расчётом параметров его элементов и диаграммы напряжений, иллюстрирующие его работу.
5. Схему мультивибратора с расчётом параметров его элементов и диаграммы напряжений, иллюстрирующие его работу.
6. Схему устройства в целом и диаграмму его выходного напряжения.
7. Модель разработанного устройства в системе Proteus.