

7. Импульсные устройства на основе микросхем ОУ

Введение

В импульсных устройствах операционные усилители часто выполняют функции переключателей цепей с одного напряжения на другое.

Простейшим таким устройством является компаратор на ОУ, который сравнивает два напряжения и в результате этого сравнения формирует на выходе положительное или отрицательное напряжение (рис. 7.1). Для этого устройства справедливы следующие соотношения:

$$U_1 > U_2: U_{\text{ВЫХ}} \cong U_{\text{ВЫХ.МИН}},$$

$$U_2 > U_1: U_{\text{ВЫХ}} \cong U_{\text{ВЫХ.МАКС}},$$

где $U_{\text{ВЫХ.МИН}}$ и $U_{\text{ВЫХ.МАКС}}$ по модулю на два-три вольта меньше напряжений $-E_2$ и $+E_1$ соответственно.

При выполнении условия $U_1 \approx U_2$ компаратор находится в режиме перехода из одного состояния в другое.

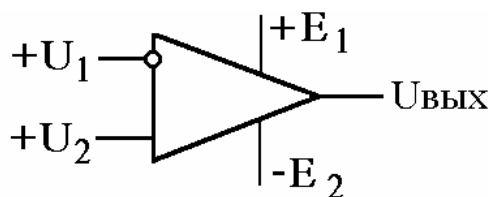


Рис. 7.1. Схема простейшего компаратора на ОУ.

Для обеспечения быстрого переключения и создания условий устойчивых и временно устойчивых состояний в импульсных устройствах на компараторах используют положительную обратную связь.

На основе компараторов строятся и другие импульсные устройства. Примерами таких устройств являются мультивибратор и одновибратор. Мультивибратор генерирует постоянно повторяющиеся импульсы прямоугольной формы. Одновибратор при подаче на вход напряжения больше порогового генерирует однократный импульс, длительность которого определяется свойствами самого одновибратора. На основе ОУ могут быть созданы и генераторы линейно-изменяющегося напряжения.

Задача 7.1. Определить максимальную разность входных напряжений ΔU , при которой простейший компаратор на ОУ всегда переходит из одного состояния к другому. Определить время перехода из одного состояния в другое Δt , если выполняется условие $|U_1 - U_2| \gg \Delta U$.

Известны параметры ОУ: $K=10^5$, $U_{CM}=5$ мВ,
 $U_{ВЫХ.МАКС}=|U_{ВЫХ.МИН}|=12$ В, скорость нарастания напряжения на выходе ОУ
 ρ равна 10 В/мкс.

Решение. 1. Напряжение ΔU определяется двумя причинами:

- действием напряжения $U_{CM} - \Delta U_1$;
- конечным коэффициентом усиления ОУ - ΔU_2 .

Поскольку знак U_{CM} может быть как положительным, так и отрицательным, получаем $\Delta U_1=2U_{CM}=10$ мВ.

Для напряжения ΔU_2 справедливо следующее соотношение
 $\Delta U_{ВЫХ}=K\Delta U_2$. Определим $\Delta U_{ВЫХ}=U_{ВЫХ.МАКС}-U_{ВЫХ.МИН}=24$ В.

Отсюда $\Delta U_2=0.24$ мВ.

Таким образом, $\Delta U=\Delta U_1+\Delta U_2=10.24$ мВ.

Полученный результат дает основание сделать вывод о том, что переходная область в основном определяется напряжением смещения и его нестабильностью.

2. При подаче на вход ОУ разности напряжений, удовлетворяющих условию $|U_1-U_2| \gg \Delta U$, переходной процесс будет определяться перезарядом корректирующей емкости ОУ от внутренних источников тока. Этот процесс в ОУ характеризуется скоростью нарастания выходного напряжения ρ .

Отсюда $\Delta t = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\rho} = 2.4$ мкс.

Задача 7.2. Определить пороги срабатывания триггера Шмидта, выполненного по схеме, приведенной на рис. 7.2. Считать операционный усилитель идеальным, т.е. $U_{CM}=0$, а $U_{ВЫХ.МАКС}=|U_{ВЫХ.МИН}|=12$ В. Нарисовать зависимость $U_{ВЫХ}=f(U_{Г})$.

В схеме использована положительная обратная связь, обеспечивающая два устойчивых состояния триггера, при которых $U_{ВЫХ}=U_{ВЫХ.МАКС}$ и $U_{ВЫХ}=U_{ВЫХ.МИН}$.

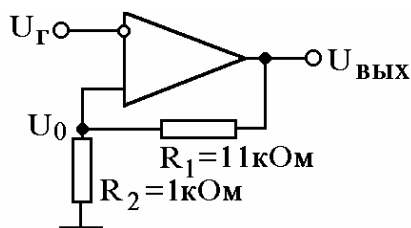


Рис. 7.2. Схема триггера Шмидта на ОУ.

Решение: 1. Пусть напряжение на выходе $U_{\text{ВЫХ.МАКС}}=12\text{ В}$. Отсюда $U_{\text{П1}}=\gamma U_{\text{ВЫХ.МАКС}}$, где $\gamma=\frac{R_2}{R_1+R_2}$. Следовательно $U_{\text{П1}}=1\text{ В}$.

2. При $U_{\text{Г}}\geq+1\text{ В}$ происходит переброс триггера в состояние, при котором $U_{\text{ВЫХ}}=U_{\text{ВЫХ.МИН}}=-12\text{ В}$. При этом $U_{\text{П2}}=\gamma U_{\text{ВЫХ.МИН}}=-1\text{ В}$.

При $U_{\text{Г}}\leq-1\text{ В}$ происходит переброс триггера в состояние, при котором $U_{\text{ВЫХ}}=U_{\text{ВЫХ.МАКС}}=+12\text{ В}$.

Таким образом $U_{\text{П1}}$ и $U_{\text{П2}}$ - пороги срабатывания триггера Шмидта на ОУ, а зависимость $U_{\text{ВЫХ}}=f(U_{\text{Г}})$ имеет гистерезисный характер и её легко нарисовать, зная $U_{\text{П1}}$, $U_{\text{П2}}$, $U_{\text{ВЫХ.МАКС}}$, $U_{\text{ВЫХ.МИН}}$.

Задача 7.3. Рассчитать частоту мультивибратора на ОУ, схема которого приведена на рисунке 7.3, полагая, что напряжения питания равны $+18\text{ В}$ и -18 В , а $U_{\text{ВЫХ.МАКС}}=|U_{\text{ВЫХ.МИН}}|=15\text{ В}$.

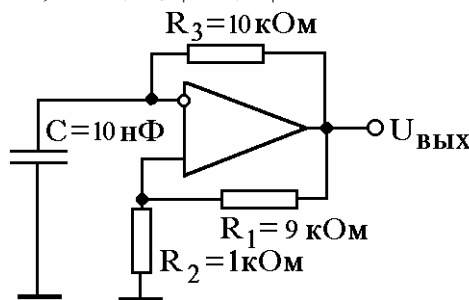


Рис. 7.3. Схема мультивибратора на ОУ.

Решение. 1. Операционный усилитель с положительной обратной связью, выполненной на сопротивлениях R_1 , R_2 , представляет собой триггер Шмидта. Как было определено в предыдущей задаче, его пороги срабатывания равны: $U_{\text{П1}}=\gamma U_{\text{ВЫХ.МАКС}}$, $U_{\text{П2}}=\gamma U_{\text{ВЫХ.МИН}}$, где $\gamma=\frac{R_2}{R_1+R_2}$. После

вычисления получаем $\gamma=0,1$ и $U_{\text{П1}}=1,5\text{ В}$, $U_{\text{П2}}=-1,5\text{ В}$.

2. Конденсатор C заряжается от источников напряжения $U_{\text{ВЫХ.МАКС}}$ и $U_{\text{ВЫХ.МИН}}$. При этом переброс мультивибратора в другое состояние происходит при достижении напряжения на конденсаторе пороговых значений.

Пусть конденсатор C заряжается от уровня напряжения $-1,5\text{ В}$. При этом напряжение на нем стремится к уровню $+15\text{ В}$. При достижении порога $+1,5\text{ В}$ напряжение на выходе ОУ устанавливается -15 В , а

напряжение на неинвертирующем входе $-1,5$ В. Во время второго полупериода напряжение на конденсаторе C изменяется от $+1,5$ В до $-1,5$ В.

Эюра напряжения на конденсаторе в первый полупериод приведена на рис. 7.4.

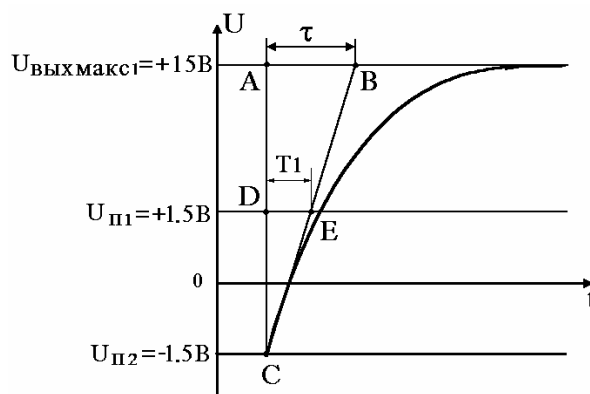


Рис. 7.4. Эюра изменения напряжения на конденсаторе C в первый полупериод.

3. Полагая, что заряд конденсатора происходит по линейному закону, полупериод T_1 можно определить из подобия треугольников ABC и DCE (рис.7.4)

$$\frac{DE}{AB} = \frac{DC}{AC} \text{ или } \frac{T_1}{\tau} = \frac{U_{П1} - U_{П2}}{U_{ВЫХМАКС1} - U_{П2}},$$

$$T_1 = \frac{3}{16.5} \tau = \frac{\tau}{5.5}.$$

4. Заряд конденсатора во второй полупериод аналогичен заряду конденсатора в первый. Следовательно, полный период T равен

$$T = 2T_1 = \frac{2\tau}{5.5}.$$

5. Частота сигнала на выходе мультивибратора получается равной

$$f = \frac{1}{T} = \frac{5.5}{2\tau}, \text{ где } \tau = RC. \text{ Отсюда } f = 27.5 \text{ кГц.}$$

6. Если учесть нелинейный характер изменения напряжения на конденсаторе, получим $T = 2\tau \ln \frac{1+\gamma}{1-\gamma}$ и, следовательно, $f=24.9$ кГц.

Задача 7.4. Рассчитать максимальную амплитуду сигнала $U_{\text{МАКС}}$, получаемого на выходе генератора линейно-изменяющегося напряжения (рис.7.5). Максимальные по модулю напряжения на выходах ОУ равны $U_{\text{ВЫХ.МАКС}}=|U_{\text{ВЫХ.МИН}}|=15$ В.

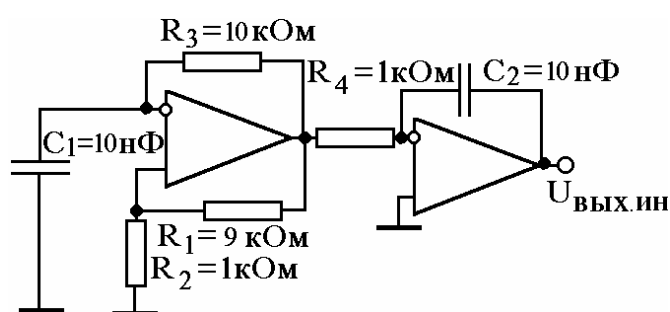


Рис. 7.5 Схема генератора линейно-изменяющегося напряжения.

Решение. 1. На первом ОУ выполнен мультивибратор, рассчитанный в предыдущей задаче. Напряжение с выхода мультивибратора $U_{\text{ВЫХ.М}}$ поступает на вход интегратора, собранного на втором ОУ. На выходе интегратора напряжение $U_{\text{ВЫХ.ИН}}$ попеременно то линейно возрастает, то линейно уменьшается (рис. 7.6).

Напряжение на выходе мультивибратора, т.е. напряжение на выходе первого ОУ, изменяется попеременно от $U_{\text{ВЫХ.МАКС1}}$ до $U_{\text{ВЫХ.МИН1}}$. Напряжение на выходе интегратора, т.е. напряжение на выходе второго ОУ, изменяется линейно от $U_{\text{ВЫХ.МАКС2}}$ до $U_{\text{ВЫХ.МИН2}}$ и наоборот.

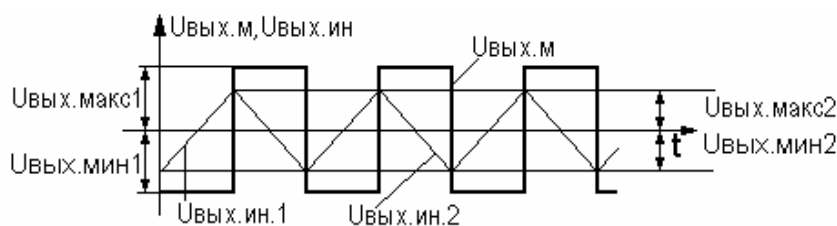


Рис. 7.6. Эпюры изменения напряжения на выходах мультивибратора $U_{\text{ВЫХ.М}}$ и интегратора $U_{\text{ВЫХ.ИН}}$.

2. Можно записать следующие уравнения для линейно-нарастающего и линейно-падающего напряжений на выходе интегратора, полагая, что момент уменьшения и увеличения напряжений происходит в момент переключения мультивибратора

$$U_{\text{ВЫХ.ИН1}}(t) = U_{\text{ВЫХ.МИН2}} - \frac{1}{\tau_2} \int_0^t U_{\text{ВЫХ.МИН1}} dt \text{ и}$$

$$U_{\text{ВЫХ.ИН2}}(t) = U_{\text{ВЫХ.МАКС2}} - \frac{1}{\tau_2} \int_0^t U_{\text{ВЫХ.МАКС1}} dt, \text{ где } \tau_2 = R_4 C_2 - \text{ постоянная}$$

времени интегратора. Поскольку $U_{\text{ВЫХ.МИН1}} = -15\text{В}$, а $U_{\text{ВЫХ.МАКС1}} = 15\text{В}$ получаем

$$U_{\text{ВЫХ.ИН1}}(t) = U_{\text{ВЫХ.МИН2}} + 15 \frac{t}{\tau_2}, \quad U_{\text{ВЫХ.ИН2}}(t) = U_{\text{ВЫХ.МАКС2}} - 15 \frac{t}{\tau_2},$$

где $\tau_2 = R_4 C_2$ - постоянная времени интегратора.

3. Поскольку схема симметричная, то при $t = \frac{T}{2}$, где T - период следования импульсов с выхода мультивибратора.

$$U_{\text{ВЫХ.ИН1}}\left(\frac{T}{2}\right) = U_{\text{ВЫХ.МАКС2}}, \quad U_{\text{ВЫХ.ИН2}}\left(\frac{T}{2}\right) = -U_{\text{ВЫХ.МИН2}},$$

где $U_{\text{ВЫХ.МАКС2}} = |U_{\text{ВЫХ.МИН2}}|$.

$$\text{Отсюда } U_{\text{ВЫХ.МАКС2}} = \frac{15T}{4\tau_2} = 13,3\text{В}.$$

Контрольные вопросы

1. Что такое компаратор?
2. Чем определяется разность напряжений, при которой напряжение на выходе компаратора на ОУ не определено?
3. Чем определяется время переключения компаратора на ОУ из одного состояния в другое?
4. С какой целью в импульсных устройствах используют положительную обратную связь?
5. Какое напряжение будет на выходе триггера Шмидта на ОУ, если его входное напряжение равно нулю?
6. Чем определяются пороги срабатывания триггера Шмидта на ОУ?
7. Всегда ли пороги срабатывания триггера Шмидта на ОУ совпадают по абсолютной величине?

8. Что называется мультивибратором?
 9. Какую функцию выполняет мультивибратор?
 10. Какие основные параметры мультивибратора?
 11. Чем определяется амплитуда импульсов на выходе мультивибратора?
 12. Чем ограничены максимальная и минимальная частоты импульсов на выходе мультивибратора?
 13. Из каких соображений необходимо выбрать коэффициент положительной обратной связи в мультивибраторе?
 14. Что такое одновибратор?
 15. Как изменяется напряжение на выходе интегратора при подаче на его вход постоянного напряжения?
 16. От чего зависит линейность напряжения на выходе генератора линейно-изменяющегося напряжения (ГЛИН)?
 17. Чем ограничена амплитуда напряжения на выходе ГЛИН?
- Для ответа на вопросы, воспользуйтесь литературой [3,6,7,11] из списка, который приведён в конце книги.