

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
КАФЕДРА ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Исследование и расчет схем компараторов с использованием операционных усилителей

Методические указания
к выполнению лабораторной работы

Севастополь
2007

УДК 621.396.6

Исследование и расчет схем компараторов с использованием операционных усилителей

: Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине "Аналоговая схемотехника" для студентов дневной и заочной форм обучения специальности " " / .Тестоедов, Васин – Севастополь: СевНТУ, 2007.–12с.

Ц е л ь у к а з а н и й : Обеспечить студентам возможность самостоятельной подготовки к выполнению и защите лабораторной работы.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры электронной техники , протокол № от 2007 г.

Рецензент:
университета.

Севастопольского национального технического

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с методикой расчета и обеспечения оптимальных режимов работы схем компараторов с использованием операционных усилителей. Экспериментально исследовать работу схем компараторов с заданной величиной ширины петли гистерезиса.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Компараторы – это устройства, которые сравнивают между собой уровни напряжения, поданные на два входа. Один вход неинвертирующий, а второй инвертирующий. Результатом сравнения является логический сигнал. Если напряжение на неинвертирующем входе больше, чем на инвертирующем, то на выходе формируется логическая единица, иначе – логический ноль. Операционные усилители (ОУ) тоже имеют неинвертирующий и инвертирующий вход, следовательно, на их основе можно реализовать компаратор. В этом случае логической единице на выходе будет соответствовать уровень напряжения равный максимальному положительному напряжению выхода для данного ОУ (примерно равное напряжению положительного источника питания E_p). Нулю – уровень максимального отрицательного напряжения выхода для данного ОУ (примерно равное напряжению отрицательного источника питания E_n). На рис.1 показана передаточная характеристика компаратора на ОУ. На инвертирующий вход U_{ref} подан потенциал земли $U_{in} = 0$. Пока напряжение на неинвертирующем входе U_{in} меньше нуля, напряжение на выходе U_{out} равно напряжению отрицательного источника $E_n = -10$ В. Когда напряжение на U_{in} превысит U_{ref} , напряжение на выходе станет равным напряжению положительного источника $E_p = 10$ В.

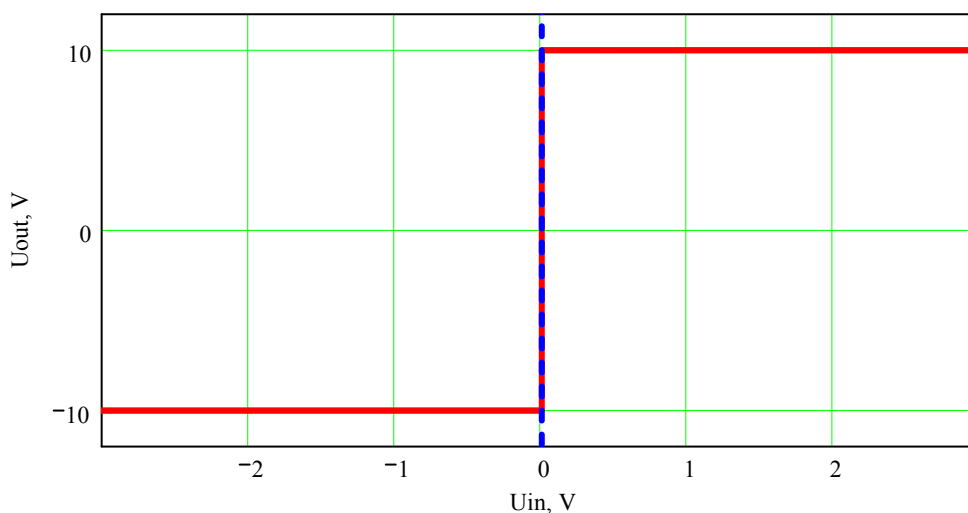


Рисунок 1. Передаточная характеристика компаратора.

Во входном сигнале всегда присутствуют шумы и помехи, поэтому, когда $U_{in} \approx U_{ref}$, на выходе компаратора формируется область “дребезга”. Этот случай проиллюстрирован на рис. 2. Из-за присутствия шумов и помех, при $U_{in} \approx U_{ref}$ их разность становится то положительной, то отрицательной. Поэтому напряжение на выходе становится равным то E_p , то E_n .

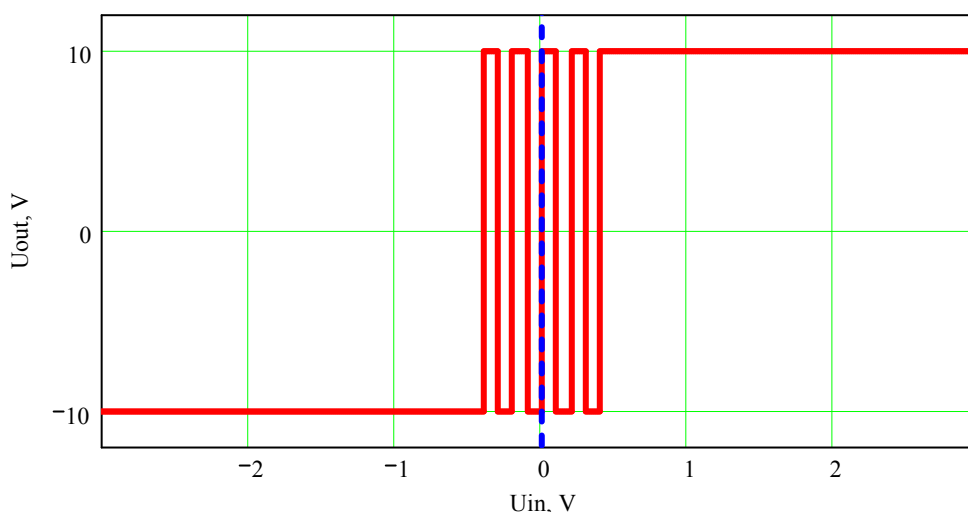


Рисунок 2. Передаточная характеристика компаратора в присутствии шумов и помех.

Для предотвращения “дребезга” в канал U_{in} необходимо ввести положительную обратную связь так, чтобы при $U_{in} < U_{ref}$ порог переключения компаратора был завышен, а при $U_{in} > U_{ref}$ занижен. То есть за счет положительной обратной связи необходимо ввести в передаточную характеристику гистерезис.

Рассмотрим схему компаратора на ОУ представленную на рис. 3.

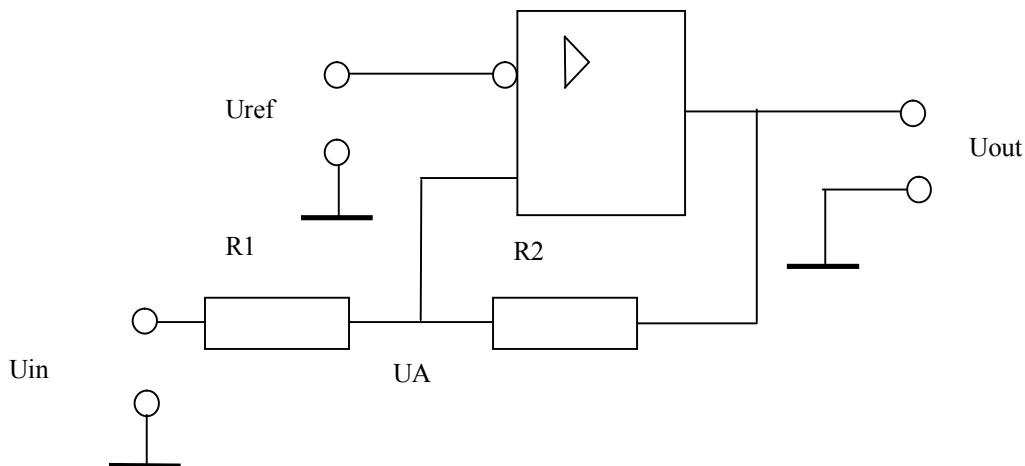


Рисунок 3. Схема компаратора на операционном усилителе.

Сигнал U_{ref} подается на инвертирующий вход ОУ, а U_{in} - на неинвертирующий. Если $U_{in} \ll U_{ref}$, напряжение на неинвертирующем входе U_A меньше, чем на инвертирующем U_{ref} , то на выходе формируется отрицательный потенциал $\approx E_n$. В этом случае эквивалентная схема цепи U_{in} может быть представлена в виде, показанном на рис. 4. Так как E_n отрицательно, U_A всегда меньше U_{in} . При увеличении U_{in} , напряжение U_A тоже растет. Если U_{in} увеличится до U_{ref} , напряжение U_A по прежнему будет меньше U_{ref} и на выходе останется отрицательное напряжение E_n . Для того, чтобы напряжение на выходе поменялось на положительное E_p , U_A должно превысит U_{ref} . В этом случае входное напряжение U_{in} будет больше U_A и U_{ref} .

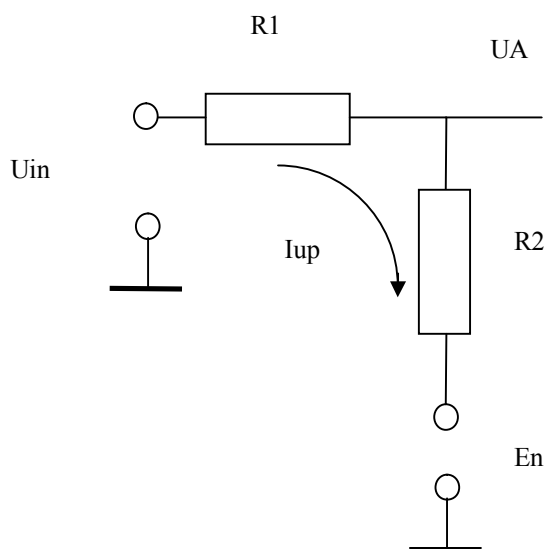


Рисунок 4. Схема цепи U_{in} при $U_{in} \ll U_{ref}$

Найдем потенциал на неинвертирующем входе U_A .

$$I_{up} = \frac{U_{in} - E_n}{R_1 + R_2}$$

$$U_A = E_n + I_{up} * R_2 = E_n + \frac{U_{in} - E_n}{R_1 + R_2} * R_2 \quad (1)$$

Из выражения (1) определим величину входного напряжения U_{inup} при котором напряжение на неинвертирующем входе равно напряжению на инвертирующем входе $U_A = U_{ref}$

$$U_{inup} = E_n + (U_A - E_n) * \frac{R_1 + R_2}{R_2} = E_n + (U_{ref} - E_n) * \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (2)$$

Рассмотрим ситуацию, когда $U_{in} \gg U_{ref}$ и напряжение на выходе компаратора равно напряжению E_p . В этом случае эквивалентная схема цепи U_{in} может быть представлена в виде, показанном на рис. 5.

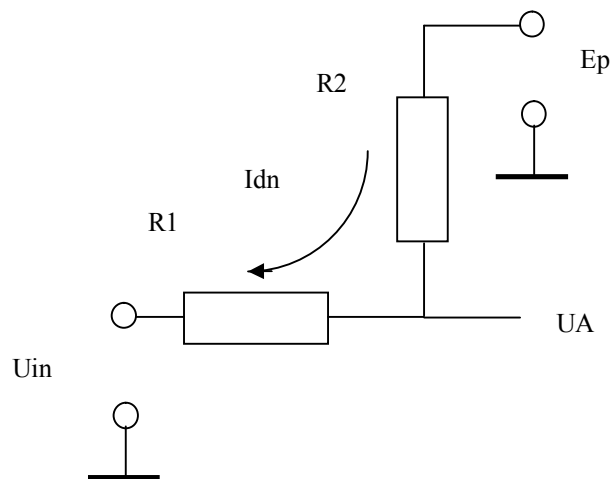


Рисунок 5. Схема цепи U_{in} при $U_{in} \gg U_{ref}$.

Так как E_p положительно, U_A всегда больше U_{in} . При уменьшении U_{in} , напряжение U_A тоже уменьшается. Если U_{in} уменьшится до U_{ref} , напряжение U_A по прежнему будет больше U_{ref} и на выходе останется положительное напряжение E_p . Для того, чтобы напряжение на выходе поменялось на отрицательное E_n , U_A должно быть меньше U_{ref} . В этом случае входное напряжение U_{in} будет меньше U_A и U_{ref} .

Найдем потенциал на неинвертирующем входе U_A для случая, когда на выходе положительное напряжение E_p .

$$I_{dn} = \frac{E_p - U_{in}}{R_1 + R_2}$$

$$U_A = E_p - I_{dn} * R_2 = E_p - \frac{E_p - U_{in}}{R_1 + R_2} * R_2 \quad (3)$$

Из выражения (3) определим величину входного напряжения U_{indn} при котором напряжение на неинвертирующем входе равно напряжению на инвертирующем входе $U_A = U_{ref}$

$$U_{indn} = E_p + (U_A - E_p) * \frac{R_1 + R_2}{R_2} = E_p + (U_{ref} - E_p) * \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (4)$$

Разность между порогом включения U_{inup} и выключения U_{indn} даст ширину петли гистерезиса DU

$$DU = U_{inup} - U_{indn} = E_n + (U_{ref} - E_n) * \frac{R_1 + R_2}{R_2} - E_p - (U_{ref} - E_p) * \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

$$DU = \frac{R_1}{R_2} * (E_p - E_n) \quad (5)$$

На рис. 6 приведена передаточная характеристика компаратора с положительной обратной связью, приведенного на рис. 3. Напряжение питания: $E_p = +10V$, $E_n = -10V$. Номиналы резисторов: $R_1 = 1k$, $R_2 = 10k$. На инвертирующий вход подано напряжение $U_{ref} = 0$. Пока напряжение $U_{in} < U_{inup}$, напряжение на неинвертирующем входе $U_A < U_{ref}$ и, следовательно, напряжение на выходе равно E_n (эквивалентная схема рис. 4). При напряжении $U_{in} = U_{inup} = +1V$ согласно выражению (2) $U_A = U_{ref}$. Поскольку во входном сигнале присутствуют помехи, в какой-то момент U_A несколько превысит U_{ref} и на выходе сформируется положительное напряжение E_p . В этом случае эквивалентная схема входной цепи будет соответствовать рис.5 для которой напряжение на неинвертирующем входе $U_A > U_{in}$. Следовательно, обратно переключится под действием помех, компаратор уже не сможет (если амплитуда помех меньше ширины петли гистерезиса DU). При дальнейшем увеличении входного напряжения U_{in} напряжение на неинвертирующем входе U_A будет больше U_{ref} и на выходе компаратора останется напряжение E_p .

При уменьшении напряжения на входе компаратора, его переключение произойдет при $U_A = U_{ref}$, то есть при $U_{in} = U_{indn} = -1V$ (согласно соотношению (4)). Первое же переключение компаратора в состояние $U_{out} = E_n$ приведет входную цепь к схеме рис. 4 и, следовательно, обратно переключится под действием помех, компаратор уже не сможет (если амплитуда помех меньше ширины петли гистерезиса DU).

Таким образом, компаратор, приведенный на рис. 3 с вышеуказанными номиналами резисторов обладает гистерезисом $DU = 2V$. Это значение может быть получено из выражения (5) и определяется отношением резисторов R_1 и R_2 , а также значениями напряжений E_p и E_n . При $U_{ref} = 0$ порог включения $U_{inup} = +1V$, а порог выключения $U_{indn} = -1V$. Если в компараторе используется ОУ с однополярным положительным питанием, то $E_n = 0$ и ширина петли гистерезиса определяется соотношением

$$DU = \frac{R_1}{R_2} * E_p \quad (6)$$

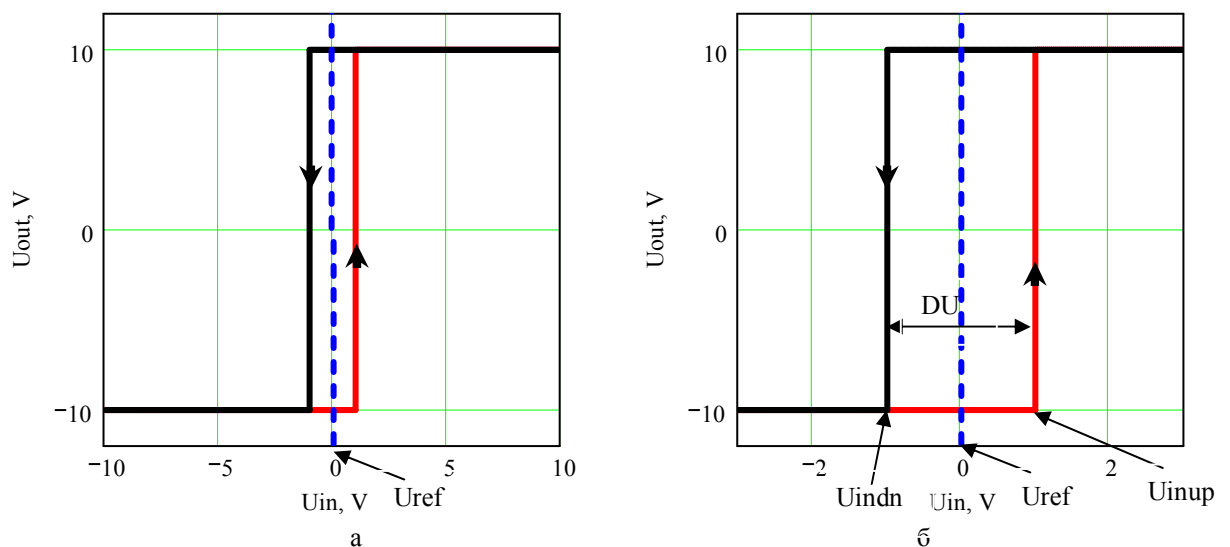


Рисунок 6. Передаточная характеристика компаратора с положительной обратной связью, приведенного на рис. 3. $E_p = +10V$, $E_n = -10V$, $R_1 = 1k$, $R_2 = 10k$. На инвертирующий вход подано напряжение $U_{ref} = 0$.

При изменении U_{ref} ширина петли гистерезиса не меняется, так как DU не зависит от U_{ref} , но изменяется разность между U_{ref} и порогами переключения U_{inup} и U_{indn} . В этом случае помехозащищенность при возрастании входного напряжения и при его уменьшении будет различной. На рис. 7 приведена передаточная характеристика этого же компаратора при $U_{ref} = +4V$. Видно, что ширина петли гистерезиса осталась 2В. Однако, разница между напряжениями U_{inup} и U_{ref} составляет $5.4V - 4V = 1.4V$, а между U_{ref} и U_{indn} $4V - 3.4V = 0.6V$. Таким образом, помехоустойчивость при возрастании входного напряжения увеличилась от 1В до 1.4В, а при уменьшении снизилась от 1В до 0.6В.

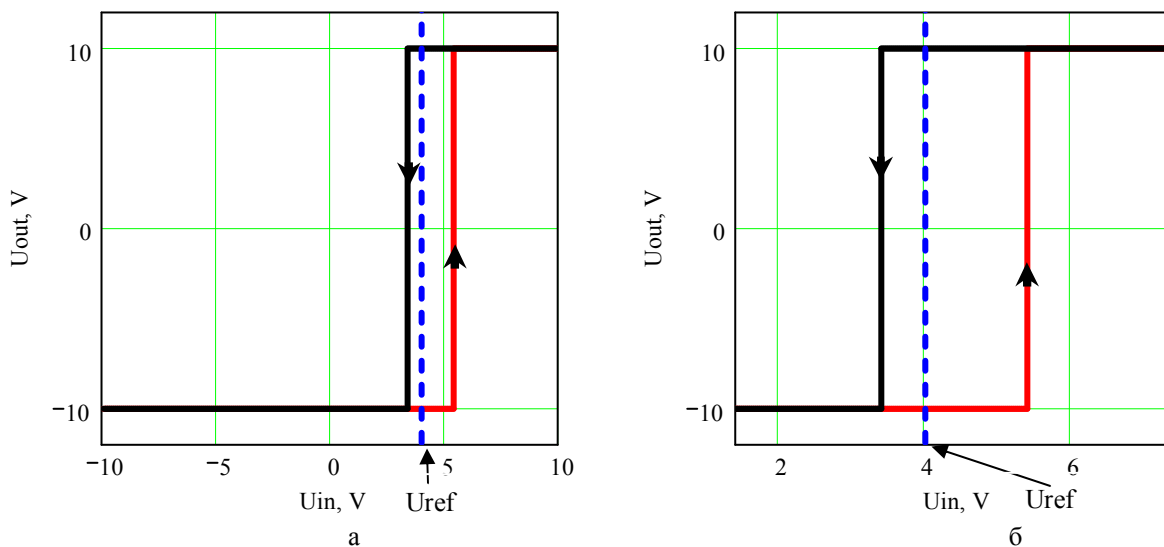


Рисунок 7. Передаточная характеристика компаратора с положительной обратной связью, приведенного на рис. 3. $E_p = +10V$, $E_n = -10V$, $R_1 = 1k$, $R_2 = 10k$. На инвертирующий вход подано напряжение $U_{ref} = +4V$. Пороги переключения $U_{inup} = 5.4V$, $U_{indn} = 3.4V$.

При $U_{ref} = -4V$ (рис.8) ширина петли гистерезиса по-прежнему равна $DU = 2V$, но пороги включения изменились $U_{inup} = -3.4V$, $U_{indn} = -5.4V$. Изменилась разность между порогами переключения и U_{ref} . Помехоустойчивость при возрастании входного напряжения уменьшилась от 1В до 0.6В, а при уменьшении повысилась от 1В до 1.4В.

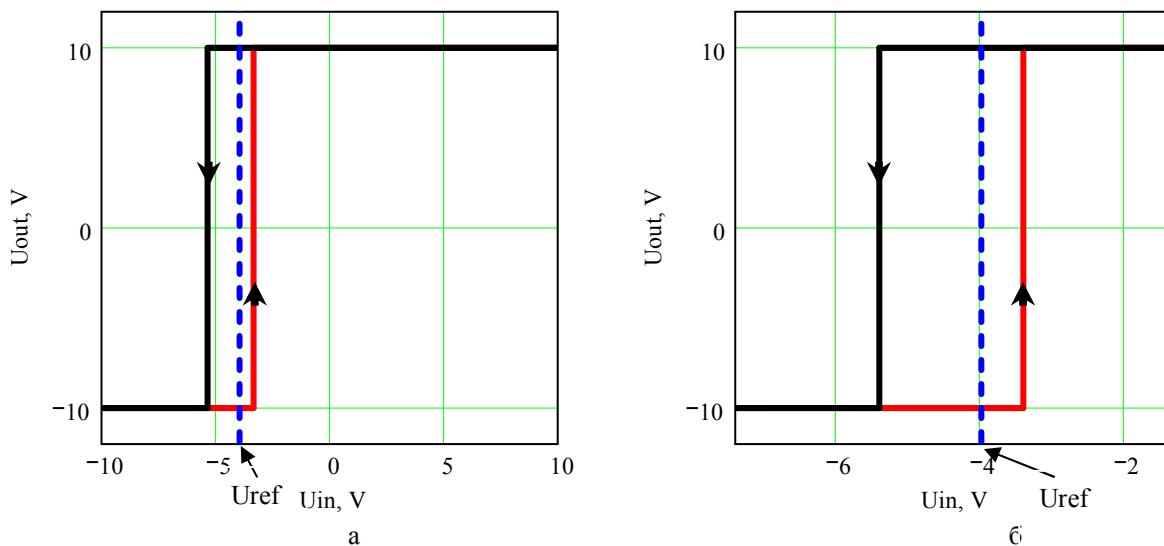


Рисунок 8. Передаточная характеристика компаратора с положительной обратной связью, приведенного на рис. 3. $E_p = +10V$, $E_n = -10V$, $R_1 = 1k$, $R_2 = 10k$. На инвертирующий вход подано напряжение $U_{ref} = -4V$. Пороги переключения $U_{inup} = -3.4V$, $U_{indn} = -5.4V$.

Из выражений (2) и (4) можно получить условие симметрии напряжений переключения относительно U_{ref} .

$$U_{inup} - U_{ref_eq} = U_{ref_eq} - U_{indn}$$

$$U_{ref_eq} = \frac{E_p + E_n}{2} \quad (7)$$

Условие (7) показывает, что при $E_p = -E_n$ симметричная помехозащищенность реализуется только при $U_{ref} = 0$. В случае использования ОУ с однополярным, положительным питанием, симметричная помехозащищенность реализуется только при $U_{ref} = E_p/2$.

Если уровень компарирования входного сигнала не соответствует условию (7), для симметричной помехозащищенности петлю гистерезиса необходимо сдвинуть уровнем опорного напряжения U_{ref} .

Рассмотрим пример. Пусть компаратор, представленный на рис.1, необходимо переключать входным сигналом U_{in} вблизи напряжения 4В. Напряжения питания ОУ равны $E_p = +10В$, $E_n = -10В$. Во входном сигнале U_{in} присутствует помеха не превышающая $\pm 1В$. В этом случае ширина петли гистерезиса должна быть не менее 2В ($DU \geq 2В$). То есть, при увеличении входного напряжения от нуля и выше, высокий уровень напряжения на выходе у проектируемого компаратора должен появиться при напряжении на входе равным (или несколько большим) $U_{inup} = 4В + 1В = 5В$. А при снижении входного напряжения, низкий уровень на выходе компаратора должен сформироваться при напряжении на входе равном (или несколько ниже) $U_{indn} = 4В - 1В = 3В$.

Задав $R_1 = 1к$, из соотношения (5) определяем сопротивление резистора $R_2 = 10к$. Полученное соотношение резисторов R_1 и R_2 обеспечивает минимальное значение ширины петли гистерезиса равное 2В. Однако, если выбрать опорное напряжение равным $U_{ref} = 4В$, положение петли гистерезиса относительно этого значения будет не симметрично (см. рис. 7) и пороги переключения будут $U_{inup} = 5.4В$ и $U_{indn} = 3.4В$.

Для того, чтобы получить необходимые пороги переключения при той же ширине петли гистерезиса равной $DU = 2В$, необходимо сдвинуть петлю влево, изменением опорного напряжения U_{ref} . Вычислить нужное значение U_{ref} можно, воспользовавшись выражениями (2) или (4)

$$U_{ref} = E_n + (U_{inup} - E_n) * \frac{R_2}{R_2 + R_1} = -10В + (5В + 10В) * \frac{10к}{10к + 1к} = 3.64В \quad (8)$$

$$U_{ref} = E_p + (U_{indn} - E_p) * \frac{R_2}{R_2 + R_1} = 10В + (3В - 10В) * \frac{10к}{10к + 1к} = 3.64В \quad (9)$$

При опорном полученном опорном напряжении $U_{ref} = 3.64В$ петля гистерезиса сместится влево и пороги напряжения будут симметричны относительно среднего уровня компарирования равного 4В (рис. 8).

Следует отметить, что для обеспечения гарантированно устойчивой работы компаратора, ширину петли гистерезиса выбирают в два раза больше максимального размаха помехи.

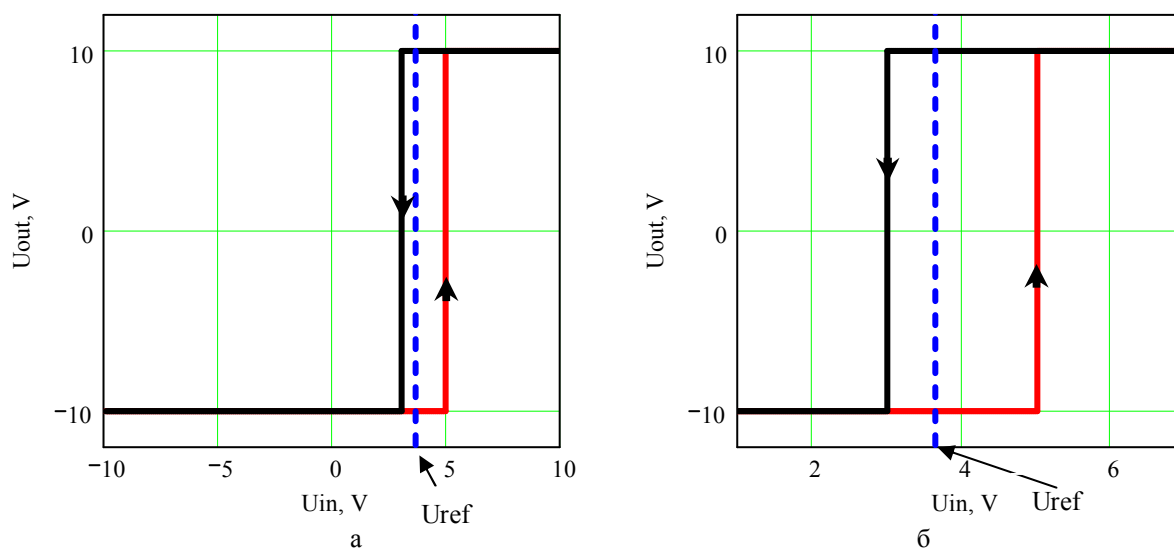


Рисунок 7. Передаточная характеристика компаратора с положительной обратной связью, приведенного на рис. 3. $E_p = +10В$, $E_n = -10В$, $R_1 = 1к$, $R_2 = 10к$. На инвертирующий вход подано напряжение $U_{ref} = +3.64В$. Пороги переключения $U_{inup} = 5В$, $U_{indn} = 3В$.

2. ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

В лабораторной работе используются промышленные источники постоянного тока, генераторы переменного сигнала и осциллограф инструкцию по их эксплуатации необходимо тщательно изучить. Кроме того, студентам предоставляются монтажные платы, соединительные провода, полная номенклатура резисторов и конденсаторов и операционный усилитель.

Получив задание, студент должен рассчитать схему заданной конфигурации и проверить правильность расчета, смоделировав схему на компьютере. Для моделирования схемы можно использовать программные пакеты WORKBENCH или PROTEUS.

При расчете схемы необходимо, исходя из заданных значений питающих напряжений и полного размаха напряжения максимальной помехи, вычислить требуемую ширину петли гистерезиса и определить соотношение сопротивлений резисторов. Задав величину одного из них определить величину другого. Исходя из напряжения компарирования, определить необходимые пороги переключения и вычислить значение опорного напряжения.

Убедившись в правильности расчетов и выборе номиналов элементов, на монтажной плате собирается схема, к которой с соединительными проводами подключаются источник питания генератор и осциллограф. Перед включением схемы необходимо убедиться в наличии заземления у приборов. Также нужно тщательно проверить правильность подсоединения приборов к схеме, обратив особое внимание на подключение земли схемы и приборов.

Установив необходимые значения напряжений источника питания и напряжения, отснять передаточную характеристику компаратора и построить ее график. Отснять и построить зависимости величины допустимой помехи от напряжения, поданного на инвертирующий вход (от Uref).

3. ЗАДАНИЯ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

Номер варианта	Напряжение питания ОУ	Полный размах напряжения максимальной помехи, В	Напряжение компарирования (центр петли гистерезиса), В
1	$E_p = +10В, E_n = -10В$	0.3	4
2	$E_p = +10В, E_n = -10В$	0.7	5
3	$E_p = +10В, E_n = -10В$	1.0	-5
4	$E_p = +10В, E_n = -10В$	1.5	5
5	$E_p = +10В, E_n = -10В$	2.5	4
6	$E_p = +12В, E_n = -12В$	1	3
7	$E_p = +12В, E_n = -12В$	1.5	-2
8	$E_p = +12В, E_n = -12В$	2	5
9	$E_p = +15В, E_n = -15В$	1	8
10	$E_p = +15В, E_n = -15В$	2	-7
11	$E_p = +10В, E_n = -15В$	1	6
12	$E_p = +15В, E_n = -10В$	2	-3

4.ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

О т ч е т по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист с указанием названия работы, группы и фамилий исполнителей;
- раздел «Постановка задач исследования», в котором кратко формулируются расчетные и экспериментальные задачи;
- раздел «Предварительные расчеты», в котором приводятся принципиальная схема усилителя, описание ее работы, условия расчета, исходные данные и результаты расчета;
- раздел «Результаты эксперимента», в котором описываются условия каждого эксперимента, приводятся результаты непосредственных измерений ;
- раздел «Выводы», в котором оценивается степень согласия расчетных и экспериментальных результатов по каждому пункту задания.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ

1. Для чего используется положительная обратная связь в компараторах?
2. Из каких соображений выбирается ширина петли гистерезиса компаратора?
3. При каком значении напряжения на инвертирующем входе компаратор имеет максимальную устойчивость к помехам?
4. Нарисуйте схему компаратора с инвертирующим включением ОУ.
5. Получите выражения для расчета компаратора с инвертирующим включением ОУ.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Малахов В.П. Схемотехника аналоговых устройств: Учебник для втузов – Одесса.: АстоПринт,2000.– 212с.
2. Гальперин М.В. Практическая схемотехника в промышленной автоматике. – М.: Энергоиздат, 1987. –320с.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Т2– М.: Мир, 1993. – 371с.