

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра управления качеством

В.Е. Выборнов

Элементная база измерительной схемотехники Часть 2

Методические указания
для студентов очной и заочной форм обучения
направлений: 657000 – «Управление качеством»,
657900 – «Автоматизация и управление»
специальностей: 340100 – «Управление качеством»,
210200 – «Автоматизация технологических процессов
и производств лесного комплекса»
по дисциплинам: «Методы и средства измерений, испытаний и
контроля» и «Электроника»

Екатеринбург
2004

Введение

Биография операционных усилителей (ОУ), используемых в устройствах контроля электрических параметров и физических величин, солидная. До конца 50-х годов прошлого века электронная аппаратура (специальные операционные усилители) строилась на электровакуумных лампах. Она была громоздкая, потребляла большие мощности, а значит, излучала большую тепловую энергию. Кроме того, аппаратура с электровакуумными лампами имела малые гарантированные сроки эксплуатации и требовала периодического технического обслуживания - замены часто выходящих из строя электровакуумных ламп из-за уменьшения потока свободных электронов, движущихся в вакууме от разогретого катода к аноду. Это обстоятельство имело название «обеднение катода». Лампа продолжала греться, но уже не выполняла свои функции (просто выходила из строя).

В начале 60-х годов отечественная промышленность освоила серийный выпуск полупроводниковых транзисторов для использования их в качестве усилительных элементов электронной аппаратуры. Это позволило несколько уменьшить габаритно-массовые характеристики электронной аппаратуры, но потребовало больших усилий разработчиков по обеспечению температурной независимости параметров электронных устройств. Благодаря использованию полупроводниковой техники, пропала необходимость в периодическом техническом обслуживании. При этом разработчики специальной электронной контрольно-измерительной аппаратуры гарантировали безотказную работу в течение 10 лет.

Спустя еще 10 лет (в начале 70-х годов) отечественная промышленность освоила серийный выпуск первых операционных усилителей в интегральном исполнении 140-й серии размером с «горошину». Кроме уменьшения габаритов электронных устройств, построенных на базе электронных усилителей, резко сократилась трудоемкость и продолжительность разработки при одновременном обеспечении высокой надежности эксплуатации в заданных температурных режимах и механических воздействиях.

Однако первые отечественные операционные усилители типов с 140УД1 по 140УД5 имели недостаточно большие коэффициенты усиления (в пределах от $1 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^3$) и входное сопротивление от 5 до 300 кОм.

Дальнейшее совершенствование промышленной технологии, позволяющее размещать на одном кристалле транзисторы разных типов проводимости, привело к появлению ОУ следующего поколения, например, 140УД12, у которого коэффициент усиления $50 \cdot 10^3$ и входное сопротивление 50 МОм.

Достижения в области технологии сделали возможным создание ОУ с почти идеальными характеристиками, у которых коэффициент усиления

достигает фантастических величин — до $1000 \cdot 10^3$ (например, ОУ типов 140УД21, 140УД25, 140УД26). Есть усилители серии (например, 544-й), у которых очень большой коэффициент усиления — $200 \cdot 10^3$ и весьма большое входное сопротивление — 10 МОм (например, КР544УД1А).

Таким образом, разработчику современной электронной аппаратуры, создаваемой на базе отечественных ОУ, осталось строго выполнять требования по недопущению превышения фактических электрических параметров, задействованных электрорадиоизделий по отношению к предельно допустимым значениям, оговоренным в справочной литературе.

1. Область применения интегральных операционных усилителей

Основными областями применения ОУ являются выполнение различных операций с аналоговыми входными сигналами: сложение и вычитание, интегрирование и дифференцирование, преобразование их формы. Все эти операции ОУ выполняют с помощью отрицательной или положительной обратной связи, в состав которой могут входить резисторы, емкости конденсаторов и индуктивности катушек, диоды, транзисторы. При этом, ОУ должны иметь бесконечно большие коэффициенты усиления напряжения, бесконечно большие входные сопротивления и близкие к нулю выходные сопротивления. Входная цепь ОУ обычно выполняется по дифференциальной схеме, а это значит, что входные сигналы можно подавать на любой из двух входов, один из которых изменяет полярность входного напряжения, поэтому называется инвертирующим, а другой не изменяет

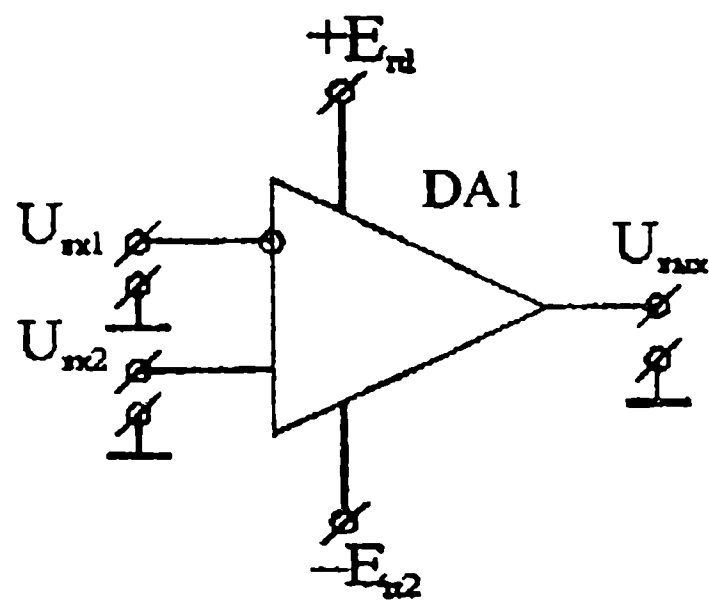


Рис. 1. Условное графическое обозначение ОУ

полярности выходного напряжения, называется неинвертирующим. На рис.1 приведено условное графическое обозначение (УГО) операционного усилителя. Инвертирующий вход отмечается кружочком. Неинвертирующий вход ничем не отмечается. Два вывода $+E_{п1}$ и $-E_{п2}$ используются для обозначения выводов, к которым подключаются источники питания. Положительное и отрицательное напряжения питания должны иметь одинаковые значения, а их общий вывод является общим выводом для входных и выходного сигналов (в дальнейшем, общие выводы, отмеченные на рис. 1 знаками \perp , изображаться не будут).

2. Основные технические характеристики операционных усилителей

Операционные усилители имеют следующие характеристики:

-коэффициент усиления на постоянном напряжении $K_{ус} = \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta U_{вх}}$;

-напряжение смещения нулевого уровня $e_{см}$ — это напряжение, которое нужно приложить ко входу ОУ, чтобы добиться $U_{вых} = 0$;

-максимальный выходной ток или минимальное сопротивление нагрузки, подключенное к выходу ОУ.

В табл. 1 приведены основные сравнительные характеристики для некоторых типов отечественных ОУ (см. табл. 1.3 [1]), а на рис. 2-4 — их графические обозначения.

Таблица 1

Сравнительные характеристики ОУ

Тип ОУ	$\pm E_{пит},$ В	$I_{потр},$ мА	$K_{ус} \times 10^3$	$\pm e_{см},$ мВ	$\pm U_{вых},$ В	$R_{нагр},$ кОм ($I_{потр},$ мА)	Рис. УГО
Универсальные ОУ							
140УД6	5-20	4	50	6	—	1	Рис.2
140УД12	1,5-18	0,2	100	5	—	1	Рис.2
140УД14	5-18	0,4	25	2	—	1	Рис.2
Прецизионные ОУ							
140УД17	3-18	5	200	0,075	—	2	Рис.3
140УД21	$15 \pm 1,5$	3	>1000	—	10,5	2	Рис.2
Мощные ОУ							
1408УД1	27	<4	>100	4	—	10	Рис.4

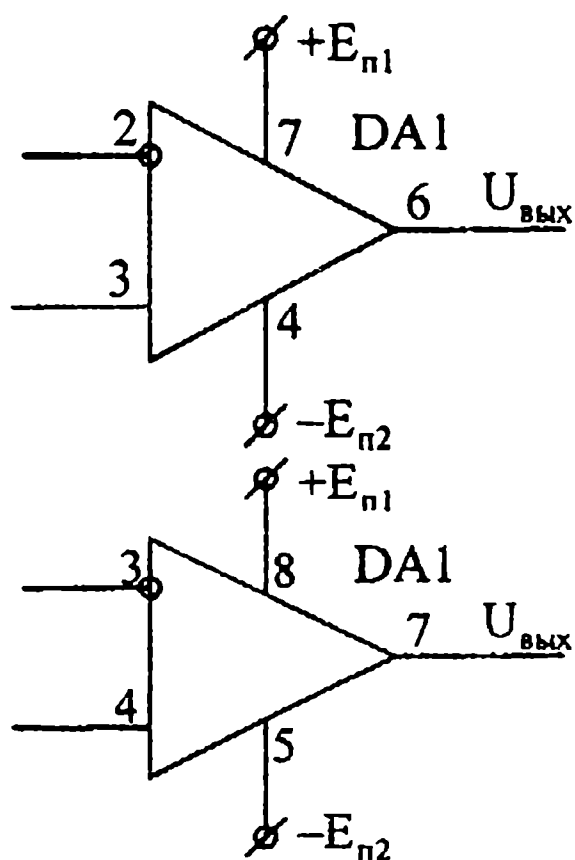


Рис. 2. Графическое обозначение ОУ типа 140УД6, 140УД12, 140УД14, 140УД21

Рис. 3. Графическое обозначение ОУ типа 140УД17

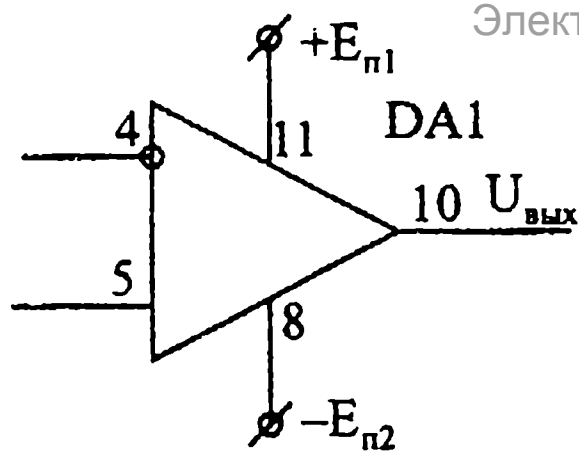
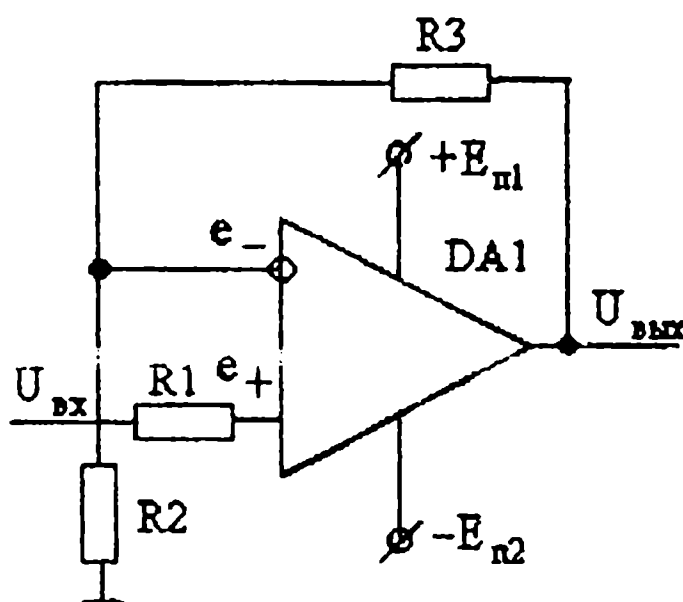


Рис. 4. Графическое обозначение ОУ типа 1408УД1.

3. Неинвертирующий усилитель

Схема неинвертирующего усилителя приведена на рис. 5. Входной сигнал $U_{вх}$ передается через резистор $R1$ на неинвертирующий вход ОУ без изменения величины и полярности, ввиду того, что $R_{вх}$ значительно больше $R1$. Этот сигнал непосредственно на неинвертирующем входе ОУ обозначен символом e_+ .



Таким образом, мы получили выражение:

$$e_+ = U_{вх} \quad (3.1)$$

При большой величине входного сопротивления получим весьма малую величину входного тока, протекающего от источника входного сигнала через резистор $R1$ на неинвертирующий вход ОУ.

Рис. 5. Неинвертирующий усилитель

Если выбрать величину сопротивления резистора $R1$, равную 10 кОм , а $R_{вх.ОУ} - 10 \text{ МОм}$, то при $U_{вх} = 15 \text{ В}$ (что допустимо для ОУ при напряжениях питания $E_{п1} = +15 \text{ В}$, $E_{п2} = -15 \text{ В}$) величина тока, протекающего через резистор $R1$ и высокоомный неинвертирующий вход ОУ, будет не более 15 мкА . Такая малая величина входного тока составит падение напряжения на резисторе $R1$, равное

$$U_{R1} = I_{R1} R1 = \frac{U_{вх} R1}{R1 + R_{вх.ОУ}} = \frac{15 \cdot 10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^6} = 15 \text{ мВ}..$$

Малая величина потери напряжения входного сигнала 15 мВ практически дает полное право подтвердить справедливость выражения (3.1).

Часть выходного напряжения, полученного в результате усиления сигнала e_+ без изменения полярности, передается на инвертирующий вход в виде сигнала обратной связи, обозначенного символом e_- :

$$e_- = I_{R2,R3} R2 = \frac{U_{вых} R2}{R2 + R3} \quad (3.2)$$

Теперь можно написать выражение выходного напряжения ОУ, охваченного обратной связью, от воздействия на его оба входа сигналов e_+ и e_- :

$$U_{вых} = Ke_+ - Ke_- \quad (3.3)$$

Знак минус перед выражением Ke_- поставлен, исходя из того условия, что эта часть выходного напряжения получена в результате усиления в K раз и изменения полярности.

Разделив левую и правую части выражения (3.3) на K (коэффициент усиления ОУ без учета обратной связи), получим выражение

$$\frac{U_{вых}}{K} = e_+ - e_- \quad (3.4)$$

Применив в схеме операционный усилитель с весьма большим коэффициентом усиления K , левую часть выражения (3.4) можно приравнять к нулю. При этом получим новое выражение:

$$e_+ = e_- \quad (3.5)$$

Подставив в выражение (3.5) значения e_+ и e_- из выражений (3.1) и (3.2) соответственно, получим выражение:

$$U_{вх} = \frac{U_{вых} R2}{R2 + R3} \quad (3.6)$$

Преобразовав выражение (3.6), получим выражение коэффициента усиления неинвертирующего усилителя:

$$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = 1 + \frac{R3}{R2} \quad (3.7)$$

Это и есть выражение коэффициента усиления неинвертирующего усилителя, изображенного на рис. 5.

Здесь следует заметить, что в выражении (3.7) отсутствует резистор $R1$, подключенный на неинвертирующий вход ОУ.

Предприятие-изготовитель операционных усилителей (см. выражение 1.15 [2]) рекомендует обеспечивать равенство токов, протекающих через неинвертирующий и инвертирующий входы ОУ с целью снижения величины напряжения $e_{см}$ (смещения нуля операционного усилителя). Это условие выполняется при равенстве сопротивлений:

$$R1 = \frac{R2R3}{R2 + R3} \quad (3.8)$$

Если выбрать величину коэффициента усиления неинвертирующего усилителя, например, $K = 10$, то из выражения (3.7) найдем необходимые величины сопротивлений $R2$ и $R3$.

Если $K = \left(1 + \frac{R3}{R2}\right) = 10$, то $\frac{R3}{R2} = 9$.

Если принять величину резистора $R2 = 10 \text{ кОм}$, то величина резистора $R3 = 90 \text{ кОм}$. Теперь из выражения (3.8) можно определить величину сопротивления резистора $R1$:

$$R1 = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 90 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 90 \cdot 10^3} = 9 \text{ кОм}.$$

Итак, если хотим получить коэффициент усиления неинвертирующего усилителя (рис.5) $K = 10$, необходимо установить резисторы: $R1 = 9 \text{ кОм}$, $R2 = 10 \text{ кОм}$, $R4 = 90 \text{ кОм}$.

Все эти резисторы должны быть прецизионными (высокоточными, типа С2-29В). Указанный тип резисторов имеет обширный ряд номинальных сопротивлений (даже с сотыми долями, как Ом, кОм и МОм). Кроме того, эти резисторы имеют классы точности 1; 0,5; 0,25; 0,1; 0,05%.

4. Инвертирующий усилитель

Схема инвертирующего усилителя приведена на рис. 6. Входной сигнал $U_{вх}$ обеспечивает протекание тока $I_{вх}$, который можно представить как ток резисторного делителя напряжения, состоящего из $R1$, $R3$ (при условии, если $R_{вх.ОУ}$ значительно больше $R1$ и $R2$). Весьма малым выходным сопротивлением $R_{вых}$ операционного усилителя можно пренебречь.

Ток $I_{вх}$ создает на резисторе $R3$ падение напряжения:

$$U_{R3} = I_{вх.ОУ} R3 = \frac{U_{вх} R3}{R1 + R3}. \quad (4.1)$$

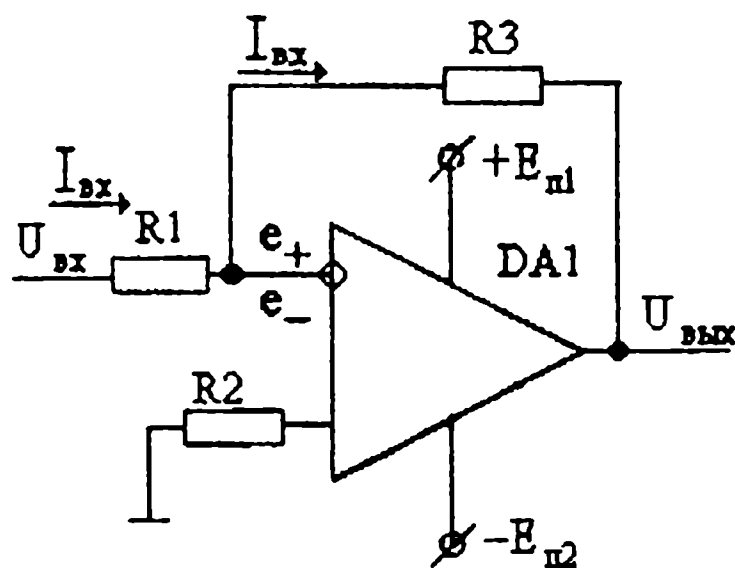


Рис. 6. Инвертирующий усилитель

Это напряжение U_{R3} прикладывается к инвертирующему входу ОУ, которое обозначим символом e_+ , поэтому выражение (4.1) представим в виде

$$e_+ = \frac{U_{вх} R3}{R1 + R3}. \quad (4.2)$$

Справедливость выражения (4.2) можно доказать тем, что мы имеем «идеальный» ОУ с весьма большими значениями коэффициента усиления (паспортное значение без обратной связи) и входного сопротивления, бла-

Электронный архив УГПТУ

годаря чему $I_{вх}$ практически не втекает в инвертирующий вход операционного усилителя.

Далее сигнал e_+ усиливается, инвертируется и снова поступает по цепи обратной связи на инвертирующий вход. Этот сигнал обозначим e_- .

Величину сигнала e_- можно представить как выходное напряжение резисторного делителя напряжения, составленного теми же резисторами $R3$, $R1$ и выходным сопротивлением источника сигнала $U_{вх}$ для рассматриваемого операционного усилителя DA1. Выходным сопротивлением источника сигнала можно пренебречь ввиду его малой величины (несколько десятков Ом).

Сигнал e_- можно выразить формулой

$$e_- = -\frac{U_{вых.ОУ}R1}{R3 + R1}. \quad (4.3)$$

Теперь можно записать выражение выходного напряжения инвертирующего ОУ, охваченного обратной связью от воздействия на его инвертирующий вход сигналов e_+ и e_- :

$$U_{вых} = Ke_+ - Ke_-. \quad (4.4)$$

Знак минус перед выражением Ke_- поставлен, исходя из того условия, что эта часть выходного напряжения получена в результате усиления в K раз и изменения полярности.

Разделив левую и правую части выражения (4.4) на K , получим выражение

$$\frac{U_{вых}}{K} = e_+ - e_-. \quad (4.5)$$

Применив в схеме рис.6 ОУ с весьма большим коэффициентом усиления K , левую часть выражения (4.5) можно приравнять нулю. При этом получим новое выражение:

$$e_+ = e_-. \quad (4.6)$$

Подставив в выражение (4.6) e_+ и e_- из выражений (4.2) и (4.3) соответственно, получим

$$\frac{U_{вх}R3}{R1 + R3} = -\frac{U_{вых.ОУ}R1}{R3 + R1}. \quad (4.7)$$

Преобразовав выражение (4.7), получим выражение коэффициента усиления инвертирующего усилителя:

$$K = -\frac{R3}{R1}. \quad (4.8)$$

Это и есть выражение коэффициента усиления инвертирующего усилителя, изображенного на рис. 6.

Резистор $R2$ выбирается из условия равенства

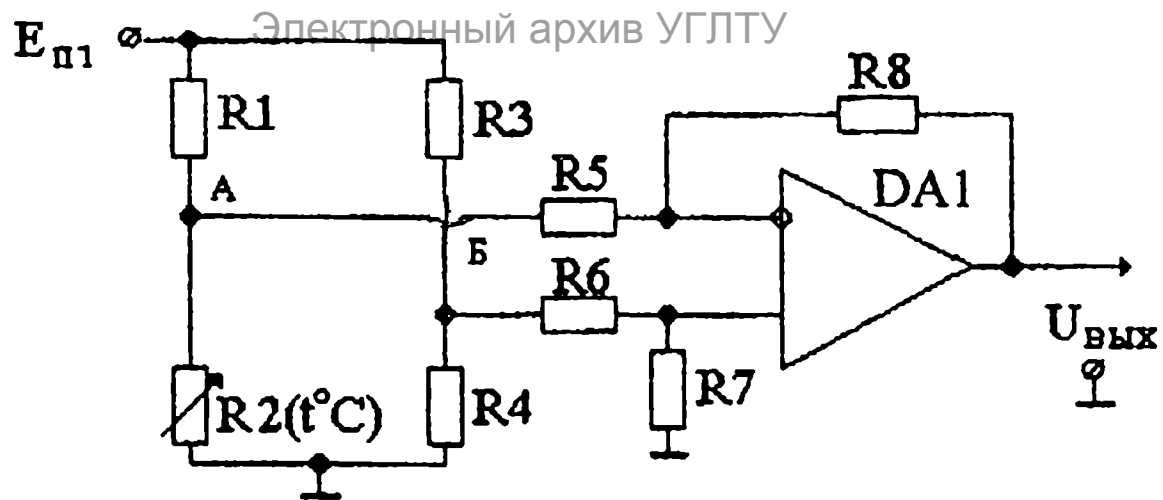


Рис. 10. Схема подключения ОУ к выходу моста

В мостовой схеме резисторы (R_1 - R_4), как правило, низкоомные, значительно меньше R_5 , R_6 , R_7 , R_8 , поэтому при выполнении условия $R_5R_7=R_6R_8$ получим:

$$U_{\text{вых}} = (U_B - U_A) \frac{R_8}{R_5}. \quad (7.3)$$

8. Усовершенствованные дифференциальные усилители

Недостатками простейшего дифференциального усилителя являются низкие входные сопротивления и трудность регулировки коэффициента усиления. Регулировка $K_{\text{ус}}$ возможна только путем одновременного изменения сопротивлений резисторов, например, R_7 , R_8 (см. рис.10).

Известны несколько усложненных дифференциальных усилителей, в которых возможна регулировка усиления с помощью одного переменного резистора. Примером может служить схема на рис.11 (см. рис.1.10а [2]).

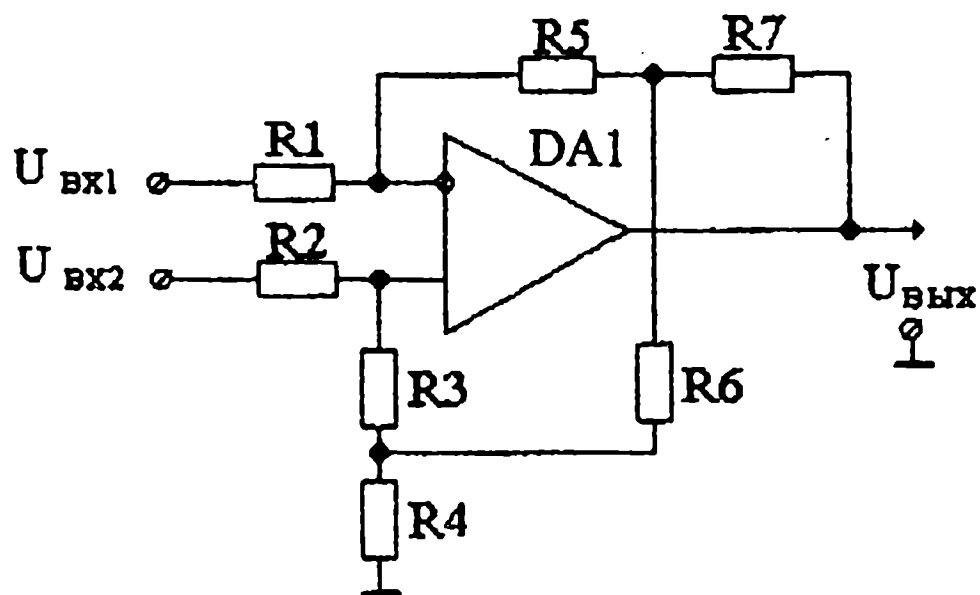


Рис. 11. Схема усовершенствованного дифференциального усилителя

При условии $R_1=R_2$, $R_3=R_5$, $R_4=R_7$

$$U_{\text{вых}} = (U_{\text{вх2}} - U_{\text{вх1}}) \left(\frac{R5 + R7}{R1} + 2 \frac{R5R7}{R1R6} \right). \quad (8.1)$$

Регулировка K_{yc} производится изменением одного резистора $R6$.

Известна другая (более усовершенствованная) схема дифференциального усилителя, так называемого, инструментального усилителя (см. рис. 1.116 [2]). Такие усилители имеют высокие входные сопротивления по обоим входам и обеспечивают установку заданного коэффициента усиления с помощью одного изменяемого сопротивления. Эта схема приведена на рис.12.

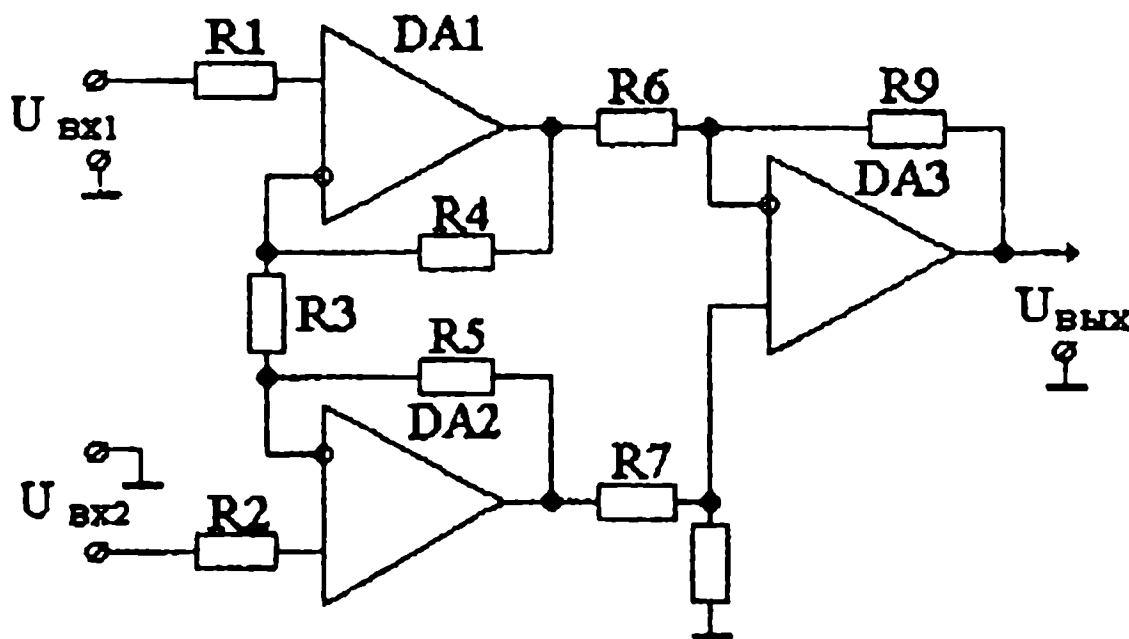


Рис. 12. Инструментальный усилитель

Усилитель на рис.12 имеет очень высокий коэффициент подавления синфазных помех.

Резисторы $R6$, $R7$, $R8$, $R9$, входящие в схему, должны удовлетворять соотношению $R6R8=R7R9$, тогда $U_{\text{вых}}$ определяется формулой

$$U_{\text{вых}} = (U_{\text{вх2}} - U_{\text{вх1}}) \frac{R9}{R6} \left(\frac{R4 + R5}{R3} + 1 \right). \quad (8.2)$$

Коэффициент усиления можно регулировать одним сопротивлением $R3$.

9. Интегральные компараторы

Компараторы – это специализированные операционные усилители с дифференциальными входами, предназначенные для сравнения двух напряжений и выдачи результата сравнения. У одних типов (521СА1-521СА3) результат выдается в аналоговой форме: $+U_{\text{вых}}$ или $-U_{\text{вых}}$ при питании их двумя источниками $+E_{\text{п1}}$ и $-E_{\text{п2}}$; у других типов (521СА4, 554СА4, 554СА6) – в логической форме: $U_{\text{мах}}$ «Лог.1» или $U_{\text{мин}}$ «Лог.0» при питании одним из перечисленных источников $+5\text{В}$, $+9\text{В}$, либо $+12\text{В}$.

Компараторы (кроме 521СА3), питаемые одним из указанных источников, могут непосредственно работать с логическими микросхемами серий ТТЛ и КМОП.

Отличительными особенностями компаратора 521СА3 являются:

1) возможность его питать двумя источниками $+15\text{В}$ и -15В , а также допустимость его питания одним источником $+5\text{В}$ (при этом его вывод подключения второго источника $-E_{п2}$ соединяется с его выводом «общ»);

2) наличие у микросхемы «открытого коллекторного выхода». Это означает, что выходной транзистор микросхемы внутри ни с чем не соединен, а выведен на выход. Это обстоятельство требует включения внешнего резистора между выходом компаратора и $+E_{п}=5\text{В}$, как показано на рис. 13 (см. рис.9.7а [3]). На рис.14. даны временные диаграммы работы компаратора.

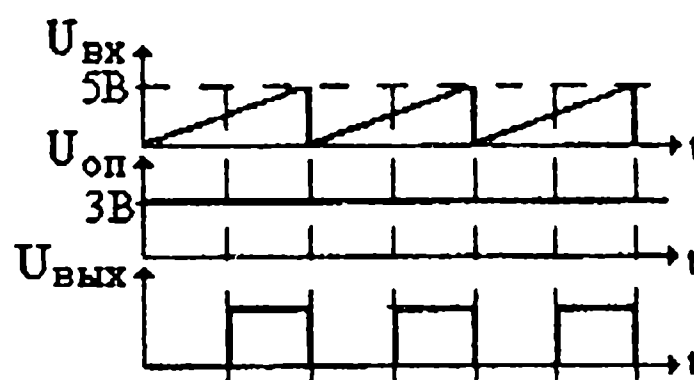
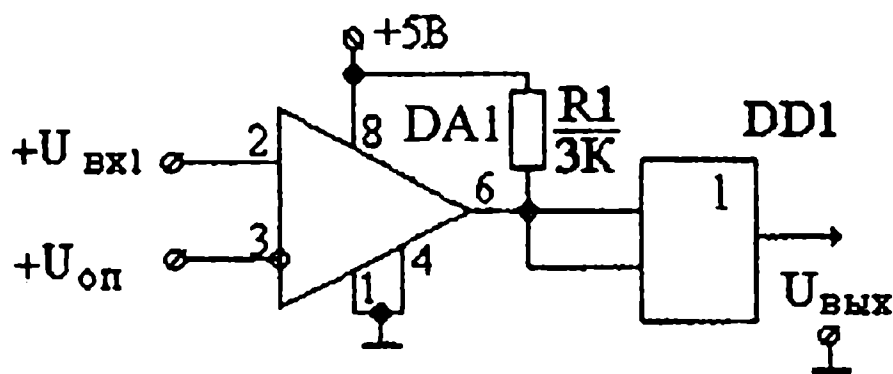


Рис. 13. Схема подключения компаратора к цифровой микросхеме

Рис.14. Временные диаграммы работы компаратора

Компаратор можно обеспечить подключением $U_к$ и $U_{оп}$ на один вход, но с разными полярностями. Неиспользуемый вход подключают через резистор на общий провод, как показано на рис. 15.

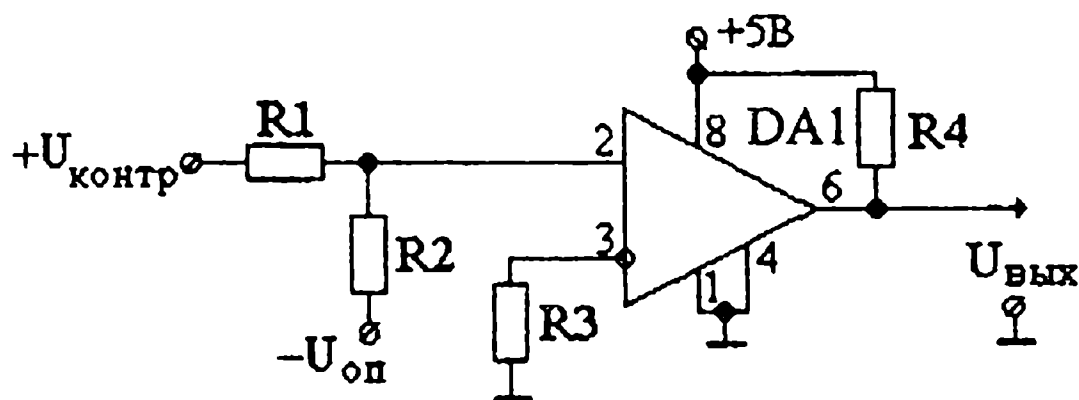


Рис. 15. Схема компаратора с подключением на прямой вход двух напряжений с разными полярностями

Компаратор, по сути, сравнивает модули тока (контролируемого с опорным).

При $\frac{U_{\text{контр}}}{R1} > \left| \frac{U_{\text{оп}}}{R2} \right|$ на выходе компаратора будет сигнал уровня

«Лог.1», соблюдая равенство $R1 = R2$. При $\frac{U_{\text{контр}}}{R1} < \left| \frac{U_{\text{оп}}}{R2} \right|$ на выходе компаратора будет сигнал уровня «Лог.0».

Можно менять соотношения $R1$ и $R2$ и сравнивать уже другие значения напряжений, соблюдая равенство:

$$\frac{U_{\text{контр}}}{R1} = \frac{U_{\text{оп}}}{R2}$$

10. Преобразователи тока в напряжение

Такие преобразователи в литературе иногда называют усилителями тока. Они выполняют функцию преобразования малых токов в напряжения.

Простейший способ преобразования тока в напряжение – это пропустить ток через резистор с известным сопротивлением. Однако при этом для увеличения чувствительности преобразователя при измерении очень малых токов приходится существенно увеличивать сопротивление резистора, а это приводит, во-первых, к увеличению нежелательного обратного воздействия измерительной цепи на цепь объекта, в котором производится измерение, во-вторых, требует повышения входного сопротивления последующего каскада.

В качестве источников тока могут использоваться первичные преобразователи физических параметров в стандартное значение тока, например, преобразователи разряженности и избыточного давления в ток 0-5 мА «Сапфир» и др. Такой же сигнал имеют специальные преобразователи мощности потребления в постоянный ток 0-5 мА, например, типа Е 859.

Усилитель преобразователя тока в напряжение представляет собой инвертирующий усилитель без входного резистора (рис. 16).

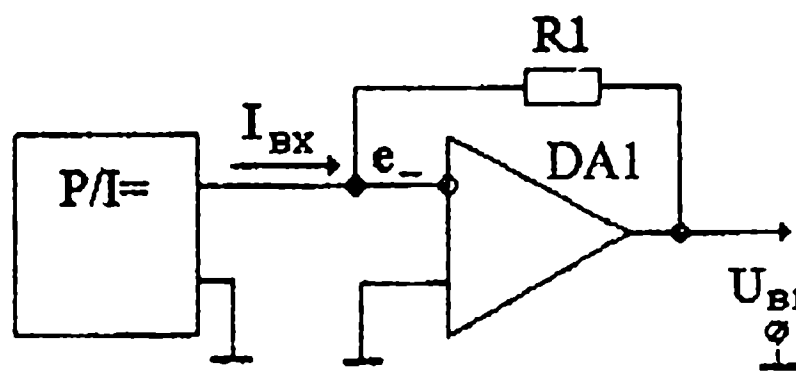


Рис. 16. Преобразователь постоянного тока в напряжение

Преобразователь физического параметра (давления) представляет собой устройство, имеющее внутреннее сопротивление R_i .

Операционный усилитель, как известно, имеет входное сопротивление $R_{вх}$, к которому параллельно подключено внутреннее сопротивление R_i первичного преобразователя. Параллельное соединение этих сопротивлений образует эквивалентное сопротивление R_{Σ} между инвертирующим входом ОУ и общим проводом.

Теперь мы можем записать входное напряжение e_- на инвертирующем входе ОУ и выходное напряжение преобразователя тока:

$$e_- = I_{вх} R_{\Sigma}. \quad (10.1)$$

$$U_{вых} = -\frac{R1}{R_{\Sigma}} e_-. \quad (10.2)$$

В формуле (10.2) вместо e_- подставим его значение (10.1) и получим окончательное выражение преобразователя тока в напряжение

$$U_{вых} = -I_{вх} R1. \quad (10.3)$$

Если $I_{вх}$ изменяется от 0 до 5 мА, а сопротивление $R1$ имеет значение 1 кОм, получим на выходе изменение напряжения от 0 до -5В.

11. Нуль-орган

В электронике используется ОУ в качестве контроллера нуля, у которого на один вход подключается входной изменяющийся сигнал, а другой вход заземлен. Выходной сигнал будет изменяться от $+U_{вых}$ до $-U_{вых}$ при $U_{вх}$ больше или меньше "0". На рис.17 представлена схема нуля-органа и временные диаграммы его работы.

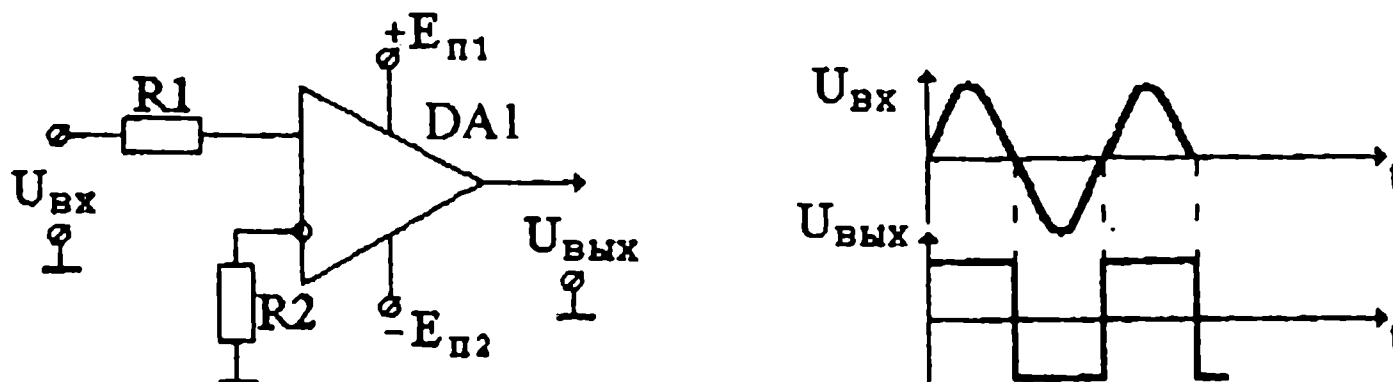


Рис.17. Нуль-орган

12. Сумматор

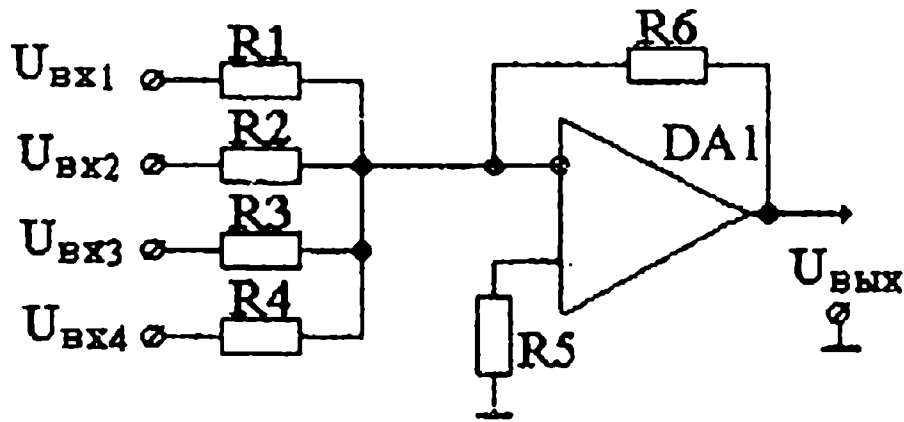
Сумматор представлен на рис. 18. При равенстве $R_1=R_2=R_3=R_4=R$

формула выходного сигнала примет вид

$$U_{\text{вых}} = -\sum U_{\text{вх}i} \frac{R_6}{R_i}; \quad (12.1)$$

$$R_i = R_1 = R_2 = R_3 = R_4$$

Рис. 18. Сумматор



13. Амплитудный детектор

Амплитудный детектор (по-другому его называют амплитудный выпрямитель) предназначен для формирования постоянного выходного напряжения, пропорционального амплитуде входного переменного или импульсного напряжения. На рис. 19 представлена схема амплитудного детектора.

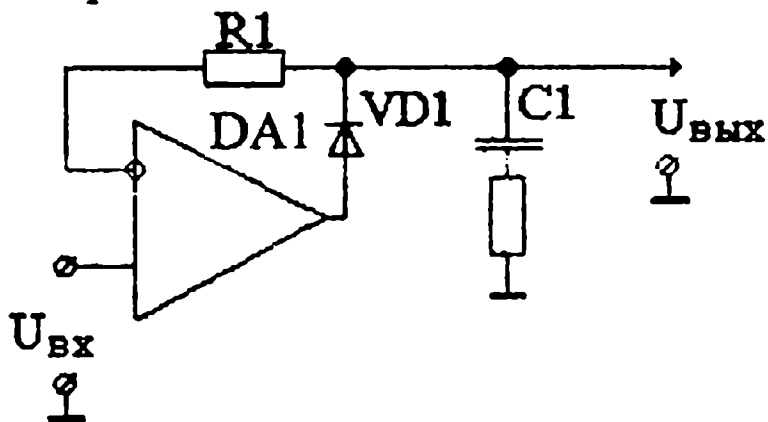


Рис. 19. Амплитудный детектор

Если постоянная разряда конденсатора C_1 много больше периода входных импульсов, то на выходе получим постоянное напряжение, пропорциональное амплитуде входных импульсов. Однако следует обеспечить разряд конденсатора C_1 через некоторое время, для периодического обновления информации.

На рис. 20 представлены временные диаграммы амплитудного детектора.

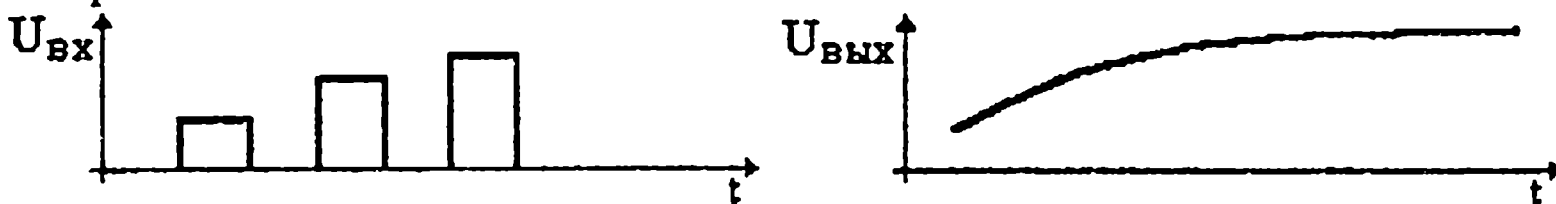


Рис. 20. Временные диаграммы амплитудного детектора

14. Интегратор на операционном усилителе

Интегратор нашел широкое применение в электронике как устройство задержки прохождения импульсов, а также как селектор импульсов по длительности и в других случаях. Схема интегратора в устройстве селек-

ции импульсов по длительности представлена на рис. 21. Здесь используется свойство интегратора: зависимость времени интегрирования ($T_{инт}$) от величины интегрируемого напряжения ($U_{вх}$), от уровня интересующего выходного напряжения и, конечно, от величины постоянной времени интегратора (τ). Интегратор выполнен на ОУ DA1, ОУ DA2 выполняет функцию компаратора

$$T_{инт1} = \frac{2U_{вых}}{+U_{вх}} \tau, \text{ где } \tau = C1R1 \text{ - постоянная времени интегратора.}$$

$$T_{инт2} = \frac{2U_{вых}}{-U_{вх}} C1R1, \text{ где } +U_{вх} < |-U_{вх}| \text{ по модулю, } T_{инт1} > T_{инт2}$$

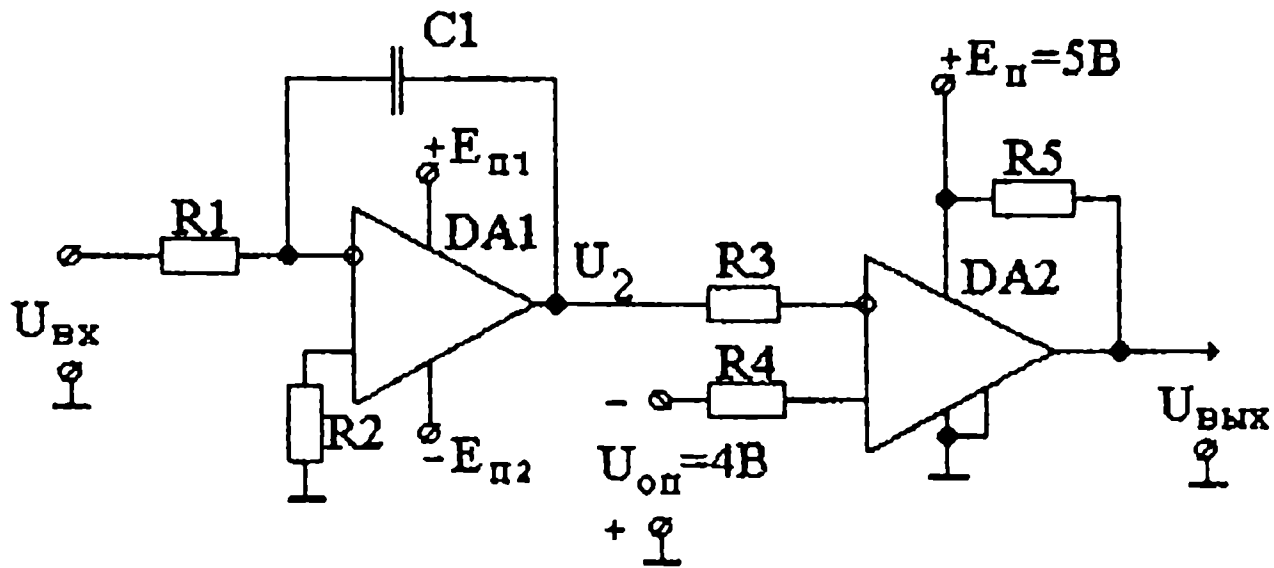


Рис. 21. Селектор длительности импульсов

На рис.22 представлены временные диаграммы селектора длительности импульсов интегратора.

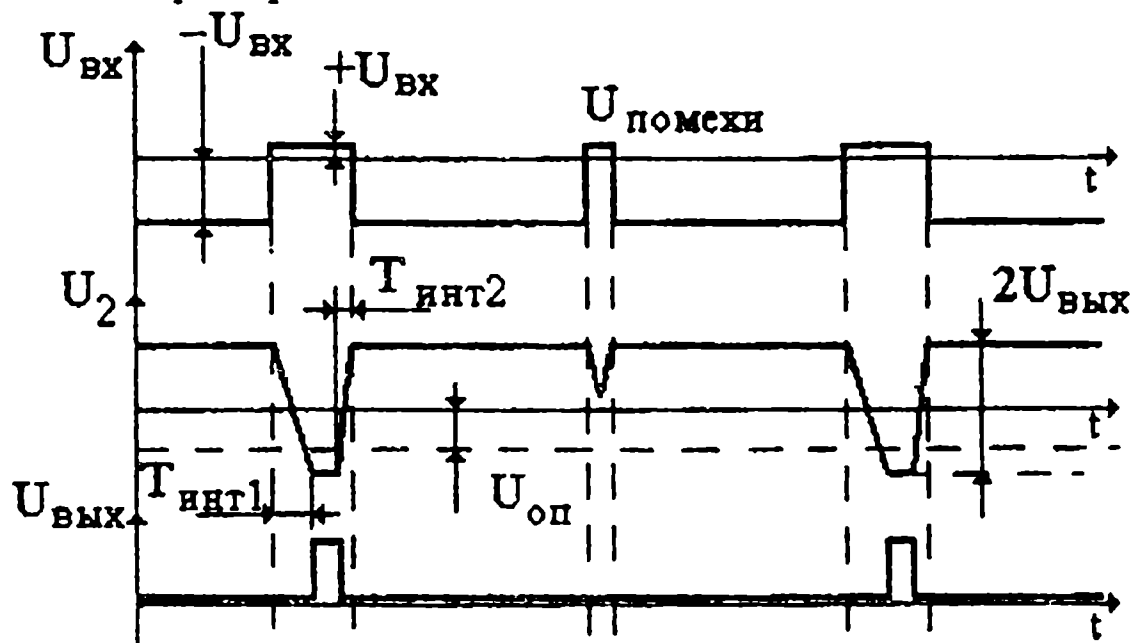


Рис. 22. Временные диаграммы селектора длительности импульсов

На рис.23 представлена схема дифференциатора с использованием ОУ

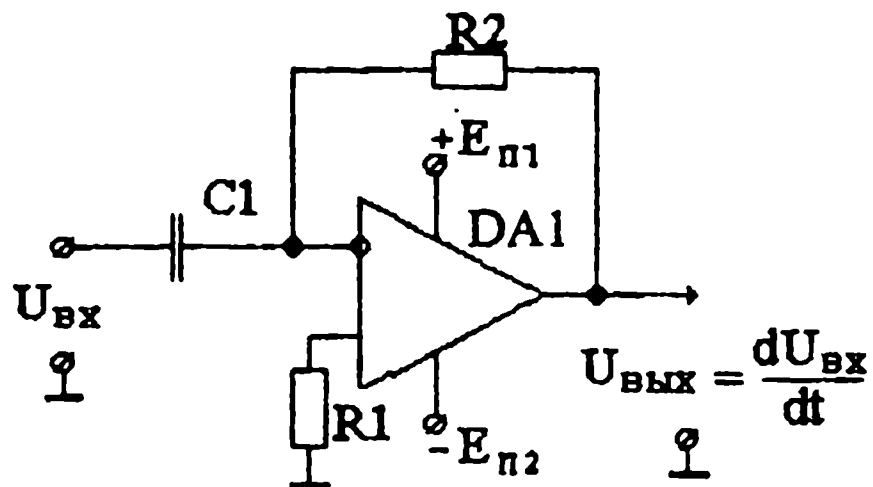


Рис. 23. Дифференциатор с использованием ОУ

Если $C1=1$ мкФ, $R2=3$ кОм, $f=50$ Гц, $U_{вх} = 0,5 \sin \omega t$, то

$$U_{вых} = KU_{вх}, \text{ где } K = \frac{R2}{X_{c1}},$$

$$X_{c1} = \frac{1}{2\pi f C1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 3 \text{ кОм}, \quad K = \frac{3 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^3} = 1,$$

$$U_{вых} = 1 \cdot 0,5 \sin \omega t = 0,5 \cos \omega t.$$

На рис. 24 представлены временные диаграммы напряжения на входе и выходе дифференциатора.

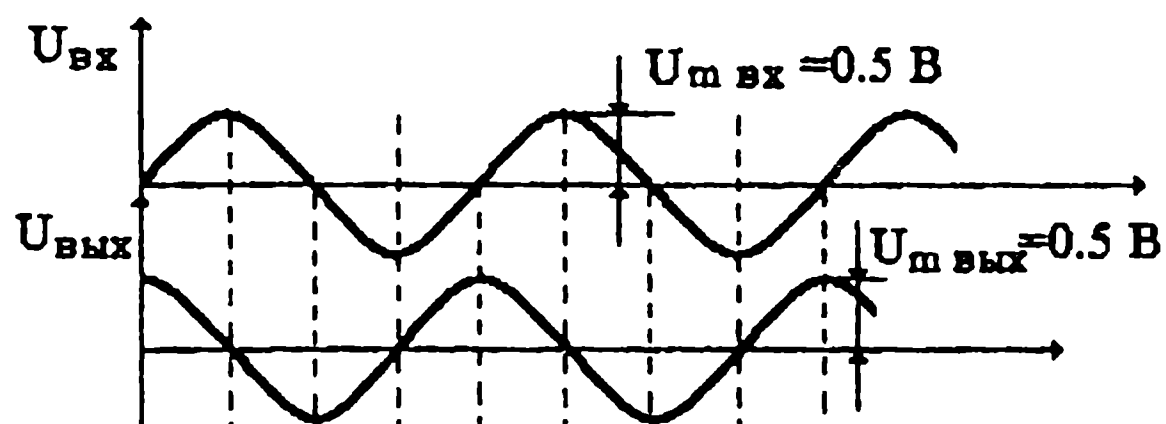


Рис. 24. Временные диаграммы напряжений на входе и выходе дифференциатора

Дифференциаторы используются для селекции момента максимума входного сигнала, например, в устройствах считывания информации.

16. Стабилизатор напряжения с использованием параметрического стабилитрона и ОУ

Схема однополярного стабилизатора напряжения на основе ОУ представлена на рис. 25.

На прямой вход ОУ подано стабилизированное напряжение, снимаемое с параметрического стабилитрона VD1. Операционный усилитель является неинвертирующим, на выходе которого напряжение определяется выражением:

$$U_{\text{вых}} = U_{VD1} \left(\frac{R2}{R3} + 1 \right). \quad (16.1)$$

Ток нагрузки $I_n = \beta_{VT1} I_{B_{\text{вых. DA1}}}$, если $\beta_{VT1} = 50$, а, $I_{B_{\text{вых. DA1}}} = 5 \text{ мА}$, то I_n стабилизатора в целом равно $I_n = 50 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 250 \cdot 10^{-3} \text{ А}$.

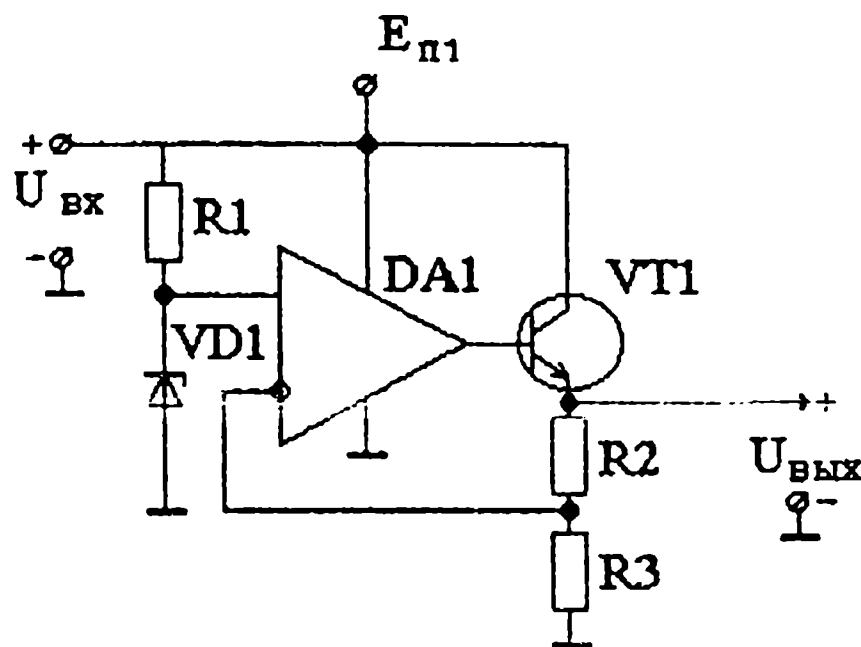


Рис. 25. Стабилизатор напряжения

17. Генератор прямоугольных сигналов

Генератор построен на базе ОУ, работающего в режиме компаратора (рис.26).

Изменение полярности выходного напряжения компаратора DA1 происходит тогда, когда напряжение U_c достигает уровня U_b . Нарастание и спад напряжения U_c происходит по экспоненциальному закону, как показано на временных диаграммах

(рис.27).

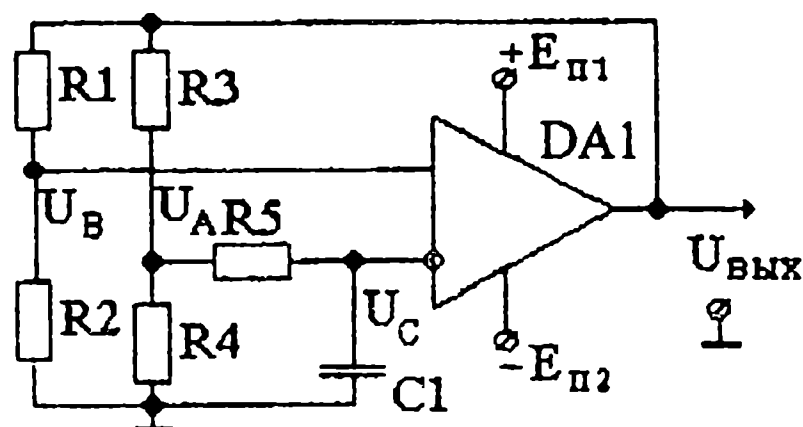


Рис. 26. Генератор



Рис. 27. Временные диаграммы генератора

При нарастании напряжения
$$U_C^+ = (U_A + U_B)(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (17.1)$$

При спаде напряжения
$$U_C^- = (U_A + U_B)e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (17.2)$$

$$\tau = R_{\text{экв}} C1, \text{ где } R_{\text{экв}} = R5 + \frac{R3R4}{R3 + R4}.$$

Сопротивления резисторов должны быть подобраны таким образом, чтобы $[U_A] > [U_B]$, – это необходимое условие работы генератора. Связь между частотой и параметрами генератора можно выявить из уравнений (17.1) и (17.2). Согласно рис. 27 напряжение на конденсаторе достигнет величины $(U_A - U_B)$ относительно уровня $-U_A$ через время $t = T/2$. Поэтому, полагая, что $t = T/2$ в выражении (17.2), получим:

$$T = 2\tau \ln \frac{U_A + U_B}{U_A - U_B}, \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\tau \ln \frac{U_A + U_B}{U_A - U_B}}. \quad (17.3)$$

Из формулы (17.3) видно, что частота не зависит от напряжения питания, а зависит от величины $U_{\text{вых DA1}}$.

Библиографический список

1. Портала О. Н. Радиокomпоненты и материалы: Справочник.-К.: Радиоаматор, М:КУБК-а,1998.-720с.:ил.
2. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах.-2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988.-304 с.: ил.
3. Пряничников В.А. Электроника: Курс лекций. - СПб.: Корона принт. 1998.-400 с.: ил.