

С уменьшением частоты усиливаемого сигнала увеличиваются потери и возрастают искажения, вносимые RC-цепями и обмотками трансформаторов. Поэтому при усилении медленно меняющихся напряжений и токов, а также в тех случаях, когда требуется усиливать не только переменные, но и постоянные составляющие сигналов, применяются гальванические связи. Элементами гальванических связей могут быть резисторы, диоды и просто проводники. В последнем случае связь называется непосредственной.

В усилителях с гальваническими связями (УГС)  $f_H = 0$ . Такие усилители часто называют усилителями постоянного тока (УПТ), хотя это название довольно неточно отражает их свойства. Отсутствие разделительных конденсаторов и трансформаторов в УГС исключает наличие фазового сдвига на частоте  $f_H = 0$ . В большинстве случаев при использовании УГС требуется, чтобы при изменении полярности постоянной составляющей входного сигнала изменялась и полярность постоянной составляющей выходного сигнала. УГС находят применение в стабилизаторах напряжения и тока, измерительных приборах, устройствах автоматики, следящих системах, счетно-решающих устройствах вычислительных машин и т. д. В последнее время область использования УГС значительно расширилась и они стали широко применяться в качестве составной части различных усилителей переменного тока (УНЧ, ВУС, широкополосных усилителей и пр.). Это обусловлено тем, что УГС, не содержащие громоздких конденсаторов большой емкости, удобно изготовлять по интегральной технологии, которая обеспечивает получение УГС с очень высокими параметрами.

Простейшие УГС прямого усиления выполняются с непосредственными или потенциометрическими связями между каскадами. Принципиальная схема простейшего двухкаскадного УГС на БТ типа р-п-р и непосредственными связями между каскадами приведена на рис. 1, а.

Сопrotивление резистора  $R_{Э2}$  должно быть таким, чтобы обеспечивалось условие

$$U_{КЭ1} + U_{Э1} = U_{БЭ2} + U_{Э2},$$

откуда

$$U_{Э2} = U_{КЭ1} + U_{Э1} - U_{БЭ2}.$$

Обычно  $U_{КЭ1} \gg U_{Э1}$ , поэтому из последнего уравнения следует  $U_{Э2} > U_{Э1}$ . Согласно данному неравенству, при

одинаковых режимах работы транзисторов  $VT1$  и  $VT2$

(при этом  $I_{Э1} = I_{Э2}$  и  $U_{КЭ1} = U_{КЭ2}$ ) справедливы неравенства  $R_{Э2} > R_{Э1}$  и  $R_{К2} < R_{К1}$

Данные выражения показывают, что увеличение сопротивления резистора  $R_{Э}$  и уменьшение сопротивления резистора  $R_{К}$  приводят к уменьшению коэффициента усиления. Поэтому в таком усилителе не удастся получить значительного коэффициента усиления за счет увеличения числа каскадов.

На выходе УПТ может появиться сигнал даже в том случае, если на его входе сигнала нет. Это явление, присущее УПТ прямого усиления, в которых сигнал постоянного тока усиливается непосредственно, без преобразования в сигнал переменного тока, и называемое дрейфом нуля, проявляется в изменении выходного напряжения без изменения входного сигнала.

Основными причинами дрейфа нуля являются: нестабильность напряжения питания, которым определяется режим транзистора по постоянному току; зависимость параметров транзистора и других элементов схемы от температуры окружающей среды; старение элементов и связанное с ним изменение их параметров. Эти причины объединяют общим названием – дестабилизирующие факторы. Таким образом, дрейф нуля представляет собой ложный выходной сигнал, причиной появления которого является не входной сигнал, а воздействие на УПТ одного или нескольких дестабилизирующих факторов.

Для значительного снижения дрейфа УПТ выполняют по параллельно-балансной схеме (рис. 2).

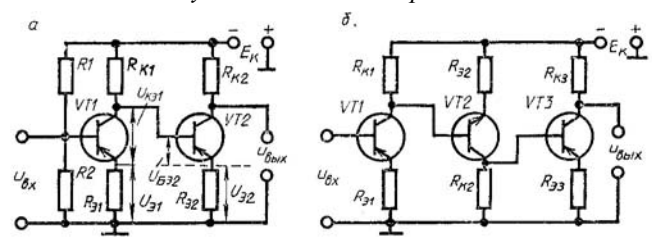


Рис. 1. Схемы усилителей с непосредственными связями

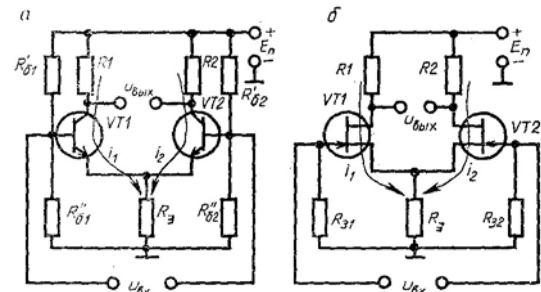


Рис. 2. Схемы усилителей параллельного баланса с симметричными входами и выходами на биполярных (а) и полевых (б) транзисторах

Активные элементы  $VT1$  и  $VT2$  образуют два плеча моста. Еще два плеча образованы резисторами  $R1$  и  $R2$ . Эмитирующие электроды активных элементов имеют общий резистор  $R_3$ . Источник входного напряжения  $u_{BX}$  включен между управляющими электродами активных элементов, а выходным напряжением  $u_{ВВХ}$  является напряжение между выходными электродами. Таким образом, данный УГС имеет симметричные вход и выход.

Если элементы симметричных плеч одинаковы, т. е.  $R1 = R2$ , и параметры активных элементов  $VT1$  и  $VT2$  одинаковы, то при  $u_{BX} = 0$  мост сбалансирован и  $u_{ВВХ} = 0$ . Изменение напряжения питания, температуры окружающей среды и других факторов в симметричной мостовой схеме приводит к одинаковому изменению токов  $i_1$  и  $i_2$ . В результате напряжения выходных электродов (коллекторов или стоков) изменяются одинаково, и разность напряжений между ними по-прежнему остается равной нулю.

Под действием напряжения  $u_{BX}$  изменения напряжений управляющих электродов оказываются одинаковыми по значению и противоположными по полярности (фазе):  $u_{BX}/2$  и  $-u_{BX}/2$ . Эти напряжения вызывают изменения токов  $i_1$  и  $i_2$  таким образом, что  $\Delta i_1 = -\Delta i_2$ . Напряжение на резисторе  $R_3$  при этом не изменяется, так как

$$\Delta u_3 = (\Delta i_1 + \Delta i_2) R_3 = 0.$$

Это означает, что для парафазных напряжений резистор  $R$ , не является резистором ООС, и транзисторы  $VT1$  и  $VT2$  совместно с резисторами  $R1$  и  $R2$  образуют однокаскадные усилители без ООС.

Дифференциальные усилители (ДУ) на биполярных и полевых транзисторах отличаются от балансных усилителей, «показанных на рис. 2, наличием двух несимметричных входов (рис. 3). При поступлении на входы ДУ парафазных напряжений  $u_{вх1} = u_{вх}/2$  и  $u_{вх2} = -u_{вх}/2$  работа ДУ не отличается от работы усилителя параллельного баланса. При этом резистор  $R_3$  не является элементом ООС, и напряжения на несимметричных выходах оказываются равными:

$$u_{вых1} = -SRu_{вх1} = -SRu_{вх}/2,$$

$$u_{вых2} = -SRu_{вх2} = -SR(-u_{вх}/2) = SRu_{вх}/2,$$

а на симметричном выходе

$$u_{вых} = u_{вых1} - u_{вых2}$$

При поступлении на входы ДУ синфазных сигналов  $u_{вх1} = u_{вх2} = u_{вх}$  изменения токов  $i_1$  и  $i_2$  равны и по значению и по знаку, а изменение напряжения на резисторе  $R_3$

$$\Delta u_3 = (\Delta i_1 + \Delta i_2)R_3 = 2\Delta i R_3.$$

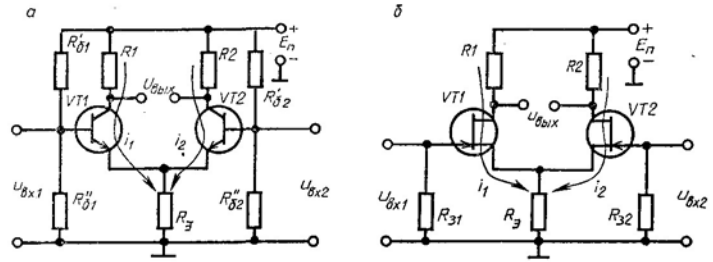


Рис. 3. Дифференциальные усилители

Таким образом, для синфазных входных напряжений резистор  $R_3$  является элементом ООС, и коэффициент усиления каждого плеча ДУ можно определить по формуле

$$K_{исф} = \frac{R_K}{2R_3}, \quad (7.6)$$

где  $R_K=R1=R2$  и  $R_3$  — сопротивления резисторов в коллекторных и эмиттерных цепях соответственно.

При входных синфазных сигналах потенциалы коллекторов изменяются одинаково, поэтому напряжение на симметричном выходе  $u_{вых} = 0$ .

Обычно синфазные сигналы представляют собой сигналы помехи, поэтому желательно иметь  $K_{исф} = 0$ . Уменьшение  $K_{исф}$  достигается, как это видно из (7.6), увеличением сопротивления резистора  $R_3$ .

Таким образом, в ДУ с полностью симметричными плечами синфазный сигнал по симметричному выходу полностью подавляется, а выходное напряжение пропорционально разности входных напряжений, т.е. их дифференциальной части. Выходные напряжения по несимметричным выходам, кроме полезной дифференциальной составляющей, содержат и синфазную составляющую.

Важным параметром ДУ является коэффициент ослабления синфазного сигнала  $K_{ОС.СФ}$ , который определяется отношением

$$K_{ОС.СФ} = \frac{K_u}{K_{исф}} = SR_K : \frac{R_K}{2R_3} = 2SR_3, \text{ т.е. для увеличения } K_{ОС.СФ} \text{ необходимо увеличивать } R_3, \text{ что сопровождается}$$

увеличением падения напряжения на нем и требует увеличения напряжения источника питания. Поэтому вместо  $R_3$  часто включают генератор стабильного тока, обладающий большим динамическим и малым статическим сопротивлением. Упрощенная схема дифференциального усилителя К118УД1 показана на рис.4. Генератор тока выполнен на транзисторе VT3, резисторах R3, R4 и R5 и транзисторе VT4 в диодном включении. Напряжение  $U_{Б3}$  подбирают так, чтобы коллекторный ток транзистора VT3 был равен сумме эмиттерных токов транзисторов VT1 и VT2, а потенциал эмиттеров транзисторов VT1 и VT2 был близок к нулю. Диодное включение транзистора VT4 способствует температурной стабилизации коллекторного тока транзистора VT3. Действительно, повышение температуры при неизменном напряжении  $U_{Б3}$  увеличивает все токи транзистора VT3. Но при наличии в базовом делителе транзистора VT4 напряжение  $U_{Б3}$  с увеличением температуры уменьшается, компенсируя увеличение базового тока этого транзистора.

Рис. 4. Интегральный дифференциальный усилитель с генератором стабильного тока

Контрольные вопросы:

1. В каких случаях в усилителях применяются гальванические связи и какие элементы при этом используются?
2. Рассказать о назначении УГС и причинах их широкого применения в настоящее время.
3. Нарисовать схему усилителя с непосредственными связями, рассказать об особенностях расчета элементов схемы и принципе работы устройства.
4. Что такое дрейф нуля? Перечислить дестабилизирующие факторы, вызывающие дрейф нуля в УГС.
5. Нарисовать схему и пояснить принцип работы усилителя параллельного баланса.
6. Нарисовать схему и пояснить принцип работы дифференциального усилителя.
7. Что такое коэффициент ослабления синфазного сигнала? По какой формуле он определяется?
8. Нарисовать схему и пояснить принцип работы дифференциального усилителя с генератором стабильного тока