



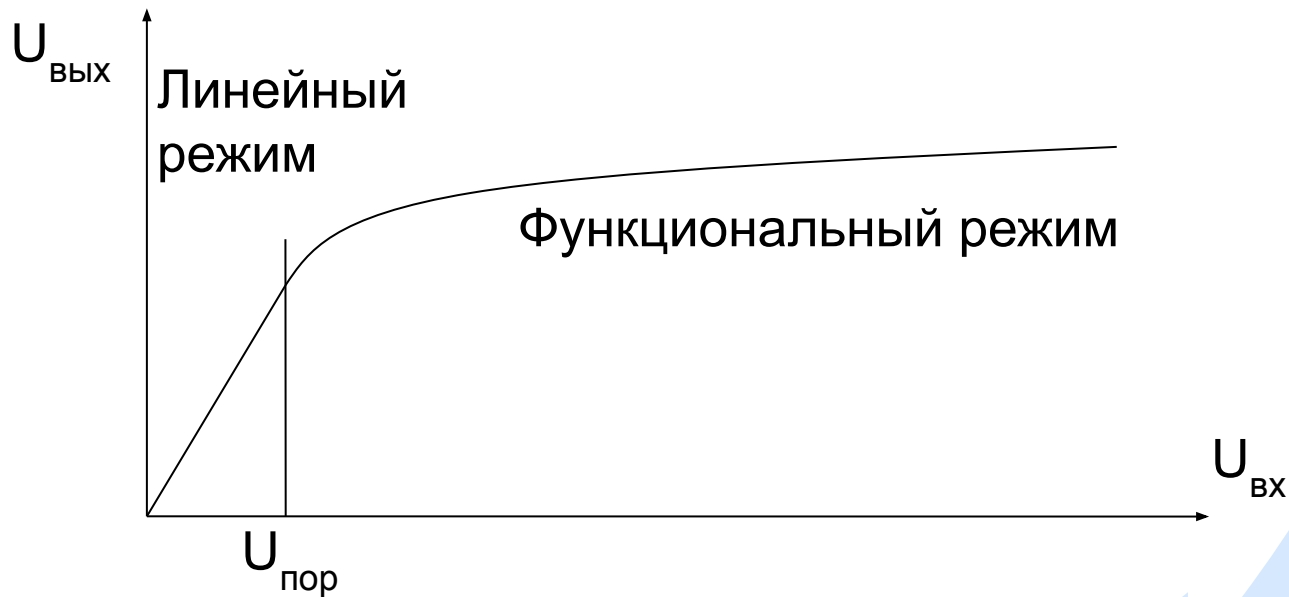
Лекция 4

Режимы работы функциональных усилителей



РЕЖИМЫ РАБОТЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

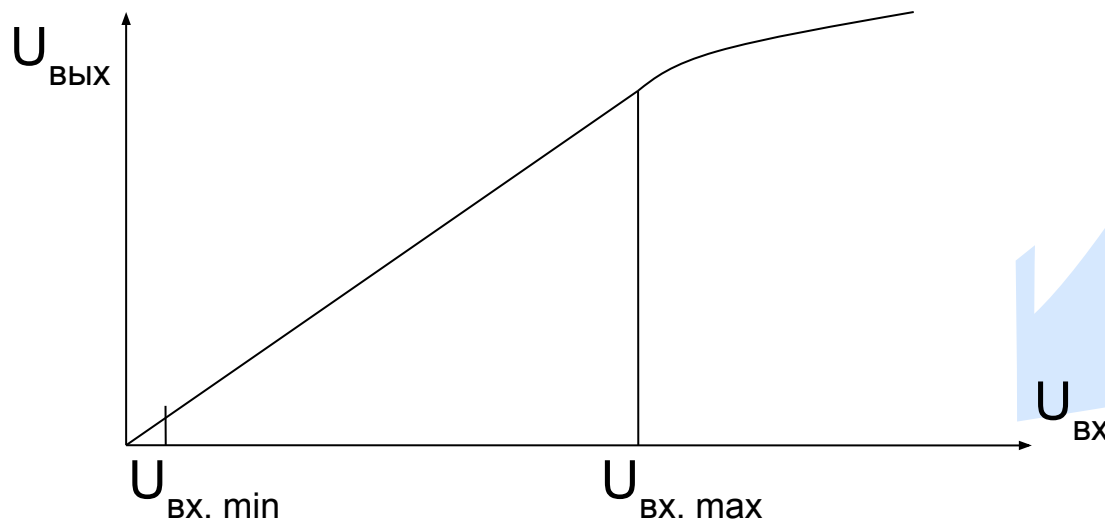
В зависимости от уровня входных сигналов и уровня внутренних и внешних шумов (можно рассматривать и отношение сигнал-шум) функциональные усилители могут работать в двух режимах: линейно-функциональном и функциональном



Момент перехода из линейного режима в функциональный режим характеризуется значением входного напряжения, которое называется пороговым

$$U_{\text{ВХ}} = U_{\text{пор}}$$

Функциональные усилители обладают линейным режимом работы. Их свойства и свойства линейных усилителей в этих режимах одинаковы. Для линейного усилителя из теории аналоговых электронных устройств известно: $U_{\text{ВЫХ}} = K \cdot U_{\text{ВХ}}$, причем для входного сигнала определяются минимальное и максимальное граничные значения



ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН ЛИНЕЙНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Если дифференциальный коэффициент усиления $b = \text{const}$, он не зависит от величины входного сигнала. Для таких усилителей динамический диапазон на входе совпадает с динамическим диапазоном на выходе.

$$D_{\text{ВХ}} = \frac{U_{\text{ВХ.max}}}{U_{\text{ВХ.min}}} = \frac{U_{\text{ВХ.max}} \cdot K}{U_{\text{ВХ.min}} \cdot K} = \frac{U_{\text{ВЫХ.max}}}{U_{\text{ВЫХ.min}}} = D_{\text{ВЫХ}}$$

Минимальный уровень сигнала для линейного усилителя будет определяться уровнем собственных шумов. Максимальный уровень сигналов будет определяться допустимыми искажениями полезного сигнала. Широко известным примером искажения усиленного сигнала является режим насыщения транзистора.

Линейный усилитель часто обладает недостаточным динамическим диапазоном для усиления полезного сигнала. Динамический диапазон линейного усилителя можно расширить за счет уменьшения начального $U_{\text{ВХ.min}}$ и увеличения конечного $U_{\text{ВХ.max}}$ входных воздействий с одновременным увеличением конечного выходного эффекта $U_{\text{ВЫХ.max}}$.

СПОСОБЫ РАСШИРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ЛИНЕЙНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

1. применение малошумящих активных элементов;
2. применение усилительных приборов с большим линейным участком проходной характеристики;
3. компенсация нелинейности проходной характеристики усилительных приборов;
4. применение отрицательной обратной связи, линеаризирующей проходную характеристику;
5. многократное использование линейного участка проходной характеристики – так называемые системы с переключением каналов. В таких усилителях весь динамический диапазон разделяется на участки, на каждом из которых работает свой усилительный канал.

Основным преимуществом устройств с линейными и сверхлинейными амплитудными характеристиками, являются минимальные нелинейные и спектральные искажения.

Наиболее часто сверхлинейные амплитудные характеристики реализуются в усилителях высокой частоты радиоприемных устройств с целью повышения качества приема сигналов на фоне помех, изменяющихся в большом динамическом диапазоне.

В линейных и сверхлинейных системах главной целью является расширение области линейности усилителя и уменьшение уровня шумов.

Усилительные приборы в каскадах с большим динамическим диапазоном должны обладать предельно малыми собственными шумами, большой перегрузочной способностью по мощности и работать с предельно малым допустимым усилением.

Методы получения точных функциональных амплитудных характеристик:

1. изменение коэффициента передачи;
2. многократное использование функционального элемента
3. сложение выходных эффектов.

Определение значения коэффициента усиления в электронном усилителе осуществляется по формуле

$$K = S \cdot R_H$$

Можно отметить, что изменение коэффициента передачи осуществимо четырьмя способами:

1. изменением режима работы усилительного устройства;
2. изменением эквивалентной нагрузки;
3. изменением характеристик входных и выходных цепей (например, применением делителей и аттенюаторов);
4. применением нелинейной отрицательной обратной связи.

Методы изменения (регулировки) коэффициента усиления в электронном усилителе

1. ИЗМЕНЕНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ

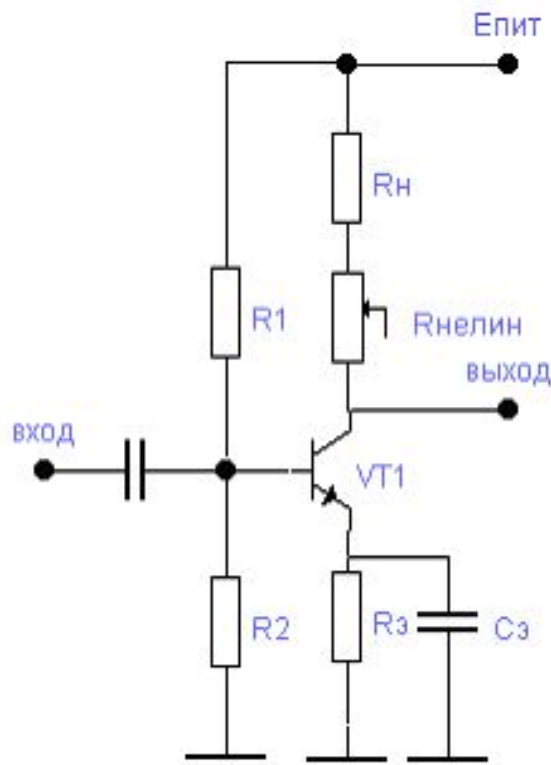
Изменение режима работы усилительного устройства возможно как по постоянному, так и по переменному токам.

Изменение режима работы по постоянному току осуществляется изменением режима работы активного элемента (транзистора).

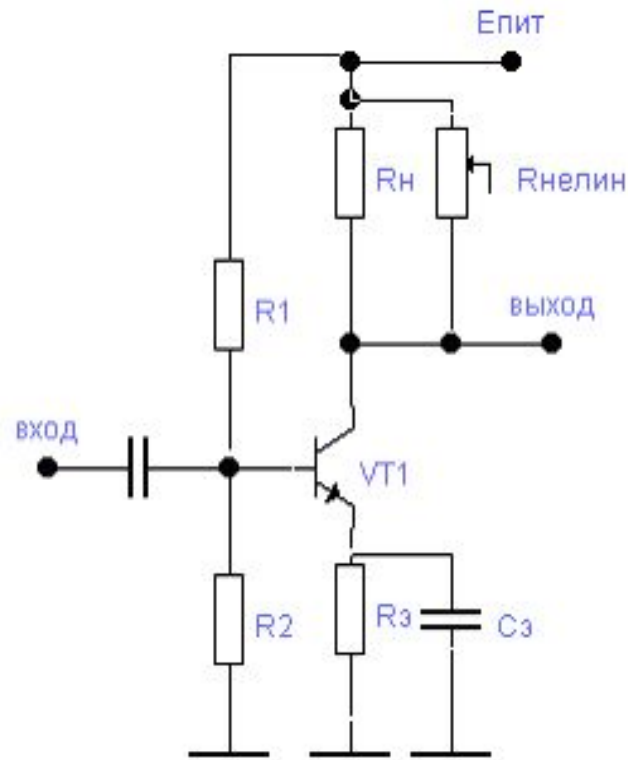
Изменение режима работы усилителя по переменному току осуществляется внесением в схему шунтирующих реактивных элементов (например, емкости). Регулировка в этом случае осуществляется либо под действием самого информационного сигнала, либо под действием управляющего воздействия (сигнала).

2. ИЗМЕНЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ НАГРУЗКИ

Реализуется, например, включением нелинейного сопротивления последовательно или параллельно эквивалентному сопротивлению нагрузки



а)



б)

2. ИЗМЕНЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ НАГРУЗКИ

В качестве нелинейных элементов можно использовать любой полупроводниковый прибор (диод, варикап, транзистор и т.д.).

Достоинством данного метода является простота осуществления регулировки.

Однако метод обладает несколькими недостатками:

1. включение нелинейного элемента приводит к изменению верхней граничной частоты сигнала $\Delta f = \frac{1}{\tau}$, $\tau = R \cdot C_{\text{параз}}$

Из представленных выражений видно появление времени задержки сигнала в каскаде, причем сильный сигнал будет проходить через каскад быстрее, и слабый медленнее;

2. ИЗМЕНЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ НАГРУЗКИ

2. включение нелинейного элемента, приводит к изменению частотных характеристик каскада, в том числе к изменению полосы пропускания.

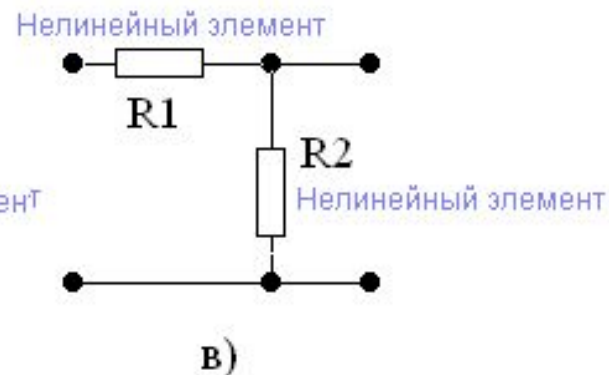
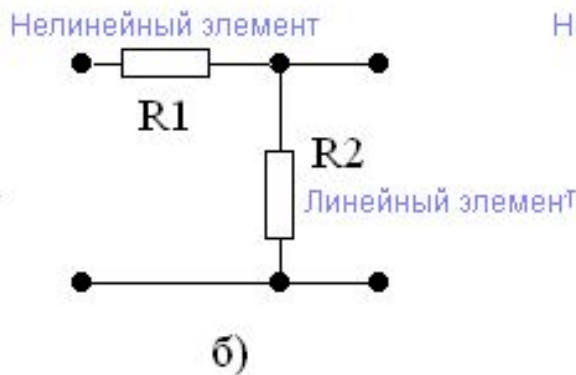
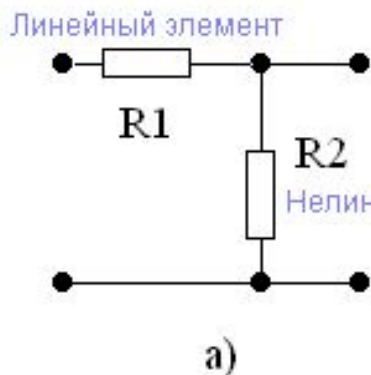
Изменение полосы пропускания усилителя при изменении амплитуды сигнала приводит к дополнительным ошибкам при измерении амплитуд, изменяющихся в большом динамическом диапазоне. Это может привести к увеличению уровня шумов пропускаемых схемой;

3. включение нелинейных элементов приводит к чувствительности схемы к температурным колебаниям, нестабильности питающих напряжений. Для уменьшения температурной нестабильности логарифмической амплитудной характеристики нелинейные каскады или только нелинейные элементы помещают в термостаты

3. ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ЦЕПЕЙ

Применение усилителей с нелинейными делителями позволяет существенно уменьшить влияние изменения сигнала на полосу пропускания усилителя в целом. Управляемые аттенюаторы и делители напряжения устанавливаются либо на входе, либо на выходе схемы. Выбор элементов делителей и аттенюаторов осуществляется таким образом, чтобы они оказывали минимальное влияние на частотные характеристики каскада. Как правило, применяют низкоомные элементы, с минимальными нелинейностями (паразитными емкостями и индуктивностями).

В схемах применяют три основных типа делителей



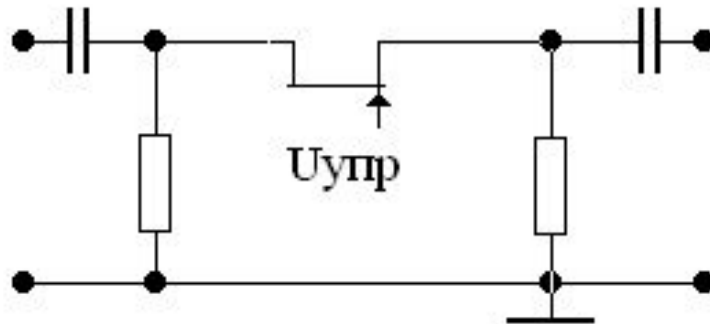
3. ПРИМЕНЕНИЕ АТТЕНЮАТОРОВ И ДЕЛИТЕЛЕЙ

Коэффициент передачи такого делителя будет определяться

выражением
$$K = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{R2}{R1 + R2}$$

В качестве нелинейных элементов в делителях, аналогично предыдущему методу, могут быть использованы полупроводниковые элементы – транзисторы, диоды.

Наиболее широкое применение на практике находят полевые транзисторы. При этом транзистор будет выполнять роль управляемого сопротивления



КЛАССИФИКАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Важным параметром такого каскада является величина изменения коэффициента ослабления. Она может достигать $10^2 \dots 10^3$.

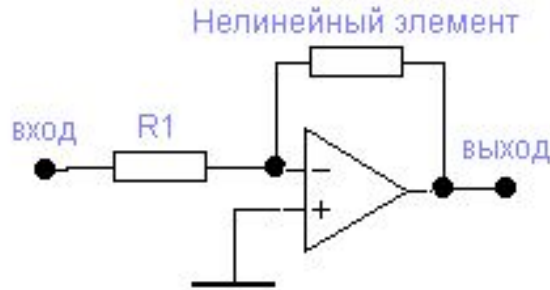
Если возникает необходимость увеличить коэффициент, вносимый одним каскадом, то приходится применять дополнительные меры по улучшению качества работы схемы – устранения влияния шумов, паразитных емкостей схемы, исключение внутренних паразитных связей, применение экранировки схемы и т.д.

Достоинство метода заключается в простоте схемной реализации и неизменных (с учетом влияния регулировочных воздействий) частотных характеристиках, в том числе полосой пропускания.

Недостатки:

- необходимость учитывать влияние управляющего напряжения $U_{упр}$ на последующие и предыдущие цепи,
- необходимо учитывать влияние параметров управляемого элемента на усилительный каскад.

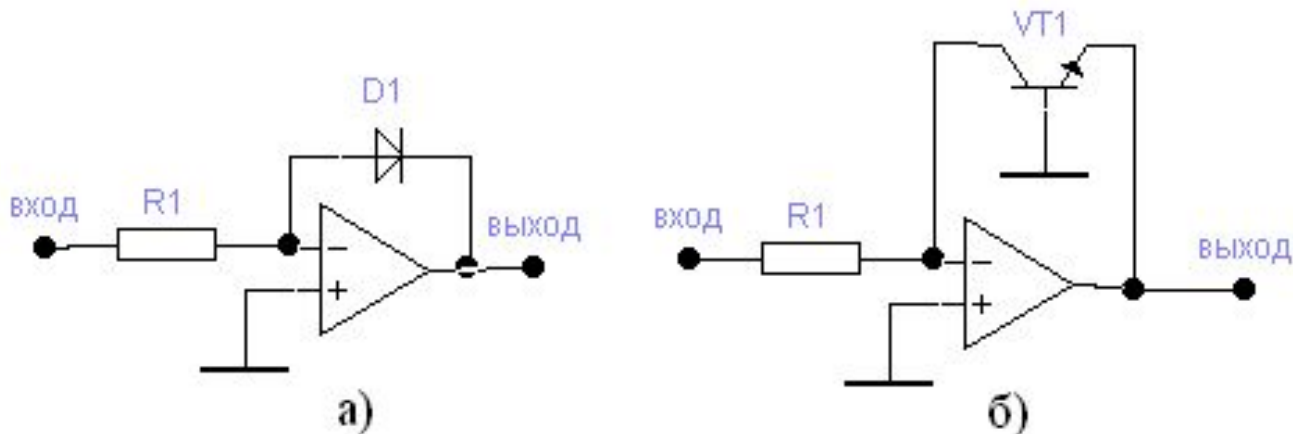
4. ВКЛЮЧЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ЭЛЕМЕНТА В ЦЕПЬ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ



Коэффициент усиления такого каскада определяется выражением

$$K = \frac{R_{\text{нелин}}}{R_1}$$

Обычно в качестве нелинейного элемента используется р-п переход в прямом направлении, например диод. Могут использоваться транзисторы.



4. ВКЛЮЧЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ЭЛЕМЕНТА В ЦЕПЬ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Вольтамперная характеристика р-п перехода описывается выражением

$$I_{\text{пр}} = I_{\text{обр}} \left(e^{mU_{\text{пр}}} - 1 \right)$$

Если решить данное уравнение относительно прямого напряжения смещения, то получим:

$$U_{\text{пр}} = \frac{1}{m} \left(\ln \frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{обр}}} + 1 \right)$$

где $I_{\text{пр}}$ -- прямой ток диода (или транзистора); $U_{\text{пр}}$ -- прямое напряжение на р-п переходе; $I_{\text{обр}}$ -- обратный ток насыщения р-п перехода; m -- коэффициент, зависящий от типа диода: $m = \frac{1}{2}$ -- для точечных диодов, $m = \frac{1}{3}$ -- для сплавных диодов. При выполнении условия $I_{\text{обр}} \ll I_{\text{пр}}$ амплитудная характеристика усилителя описывается

следующим выражением

$$U_{\text{вых}} = \frac{1}{m} \left(\ln U_{\text{вх}} - \ln I_{\text{пр}} \cdot R_1 \right)$$

4. ВКЛЮЧЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ЭЛЕМЕНТА В ЦЕПЬ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Недостаток метода:

Из-за наличия емкости р-п перехода частотные характеристики таких усилителей недостаточно высоки. Поэтому все рассмотренные усилители с точной логарифмической амплитудной характеристикой применяются в тех случаях, когда основным параметром системы является динамический диапазон, а второстепенным параметром – разрешающее время системы, что имеет место при измерении достаточно медленно изменяющихся процессов.

Спасибо за внимание

