# Детекторы

Детекторы угловой модуляции служат для получения напряжения или тока, повторяющего закон изменения частоты или фазы входного колебания.

Фазовый детектор – устройство, предназначенное для получения напряжения, пропорционального разности фаз между сигналом и опорным колебанием.

Частотным называют детектор, напряжение на выходе которого определяется отклонением мгновенной частоты входного сигнала от определенного значения.

Детекторы ЧМ сигналов (ЧМС):

с преобразованием ЧМС в АЧМС с последующим детектированием АД;
с преобразованием ЧМС в ФЧМС с последующим детектированием ФД;
с преобразованием ЧМС в ИМС с последующим детектированием ИД.

# Детекторы ЧМ сигналов (ЧМС) с преобразованием ЧМС в АЧМС с последующим детектированием АД

Один из контуров настроен на частоту $f_1 = f_0 + \Delta f_0$, т.е. несколько выше средней частоты принимаемого сигнала $f_0$ , а второй на частоту $f_2 = f_0 - \Delta f_0$ , т.е. ниже $f_0$ .

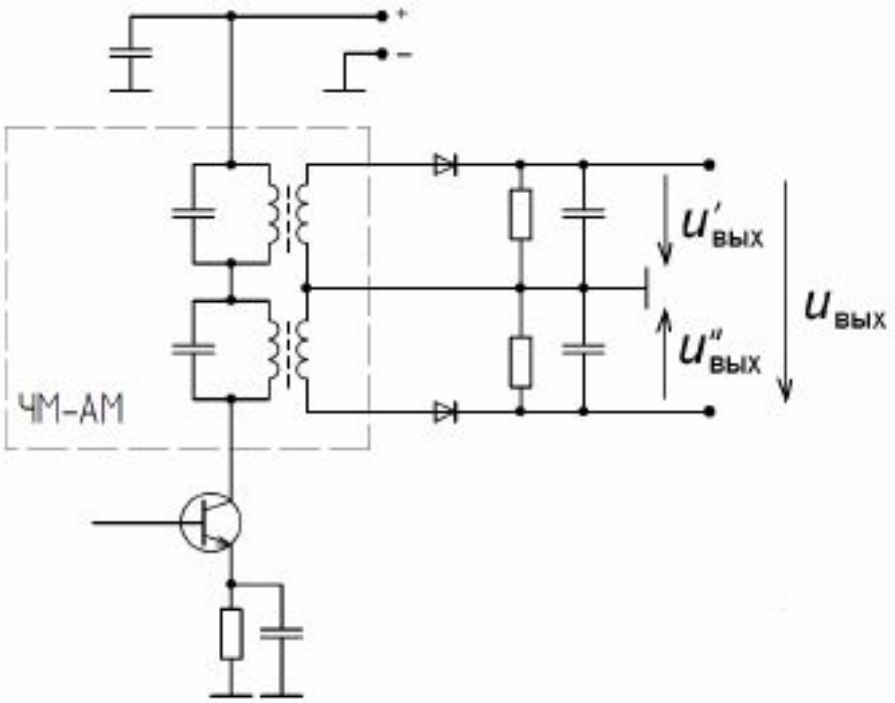
При возрастании частота сигнала приближается к резонансной частоте первого контура $f_1$ и удаляется от частоты настройки второго контура $f_2$ . Напряжение на первом контуре увеличивается, а на втором – уменьшается.

При понижении частота сигнала приближается к резонансной частоте второго контура $f_2$ и удаляется от частоты настройки первого контура $f_1$ . Напряжение на втором контуре увеличивается, а на первом – уменьшается.

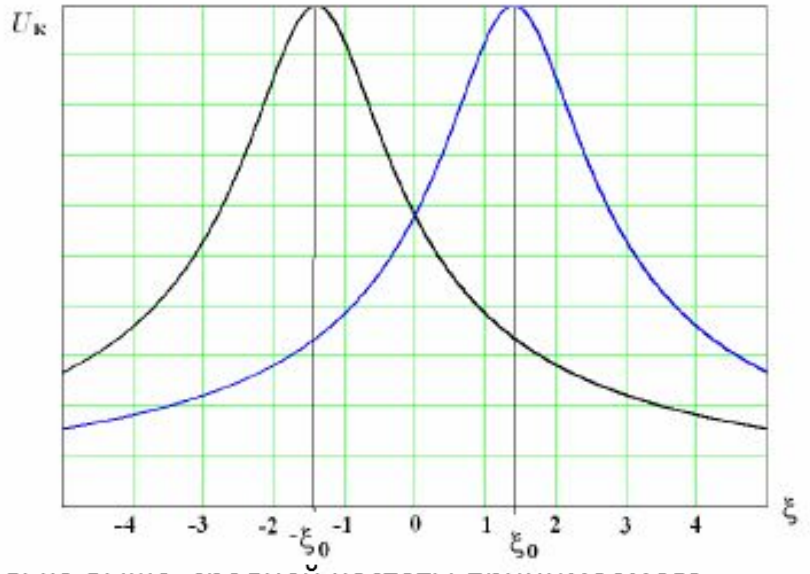
Сигнал становится амплитудно-частотно модулированным.

$$u_{\text{ВЫХ}} = u'_{\text{ВЫХ}} - u''_{\text{ВЫХ}} = K_{\text{Д}} \cdot \left(U_{m\,\text{К1}} - U_{m\,\text{К2}}\right)$$

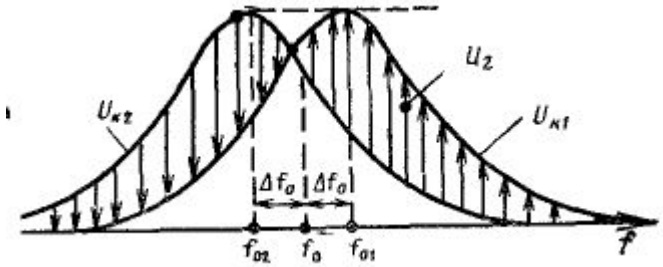
$$u_{\text{ВЫХ}} \approx U_{m\,\text{К1}} - U_{m\,\text{К2}}$$

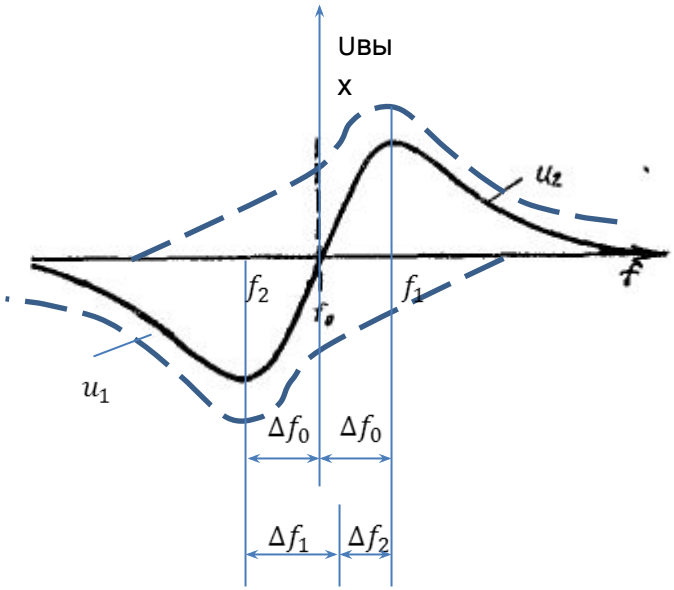



Контуры симметрично расстроены относительно центральной частоты ЧД




Один из контуров настроен на частоту $f_1 = f_0 + \Delta f_0$, т.е. несколько выше средней частоты принимаемого сигнала $f_0$ , а второй на частоту $f_2 = f_0 - \Delta f_0$ , т.е. ниже $f_0$ .

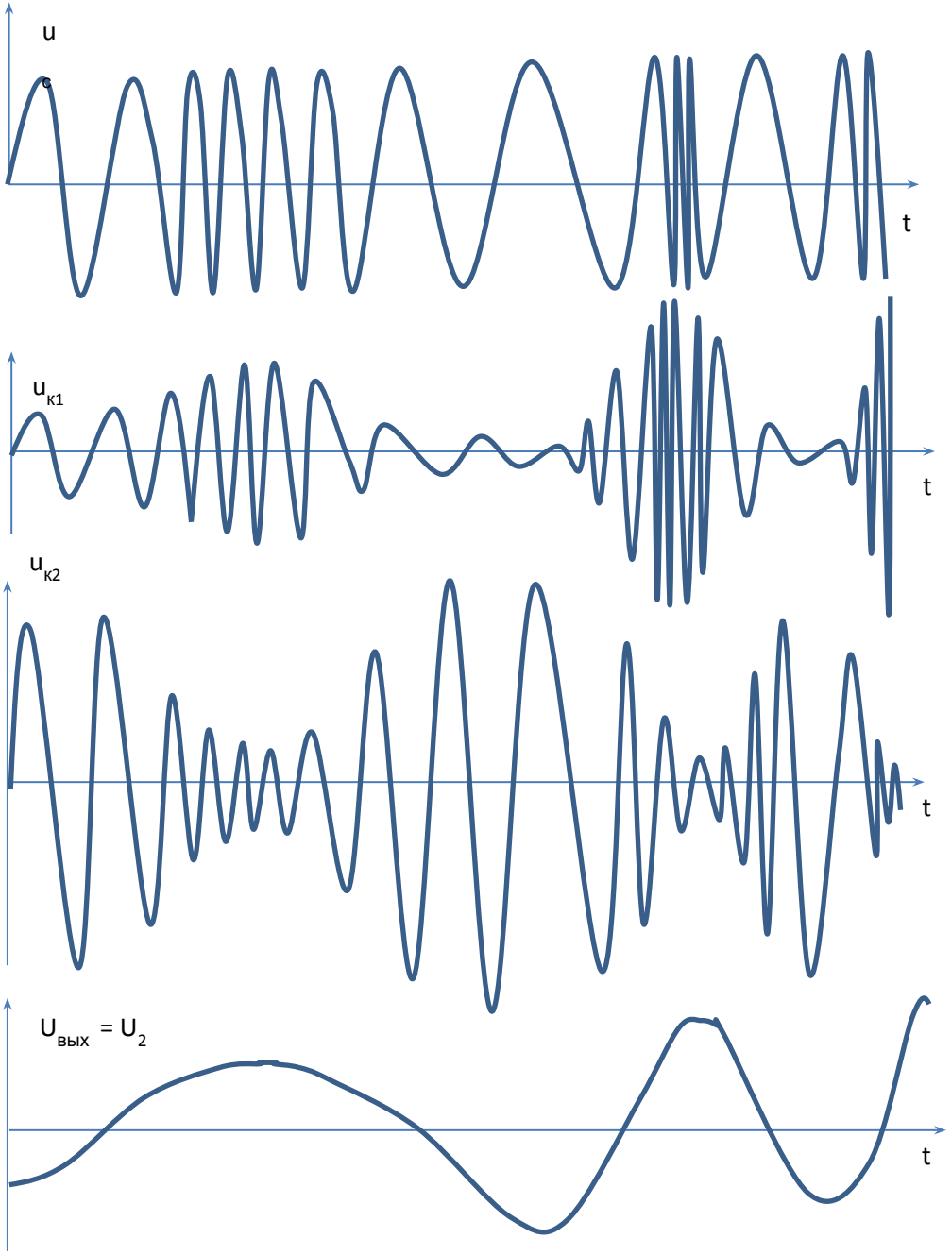


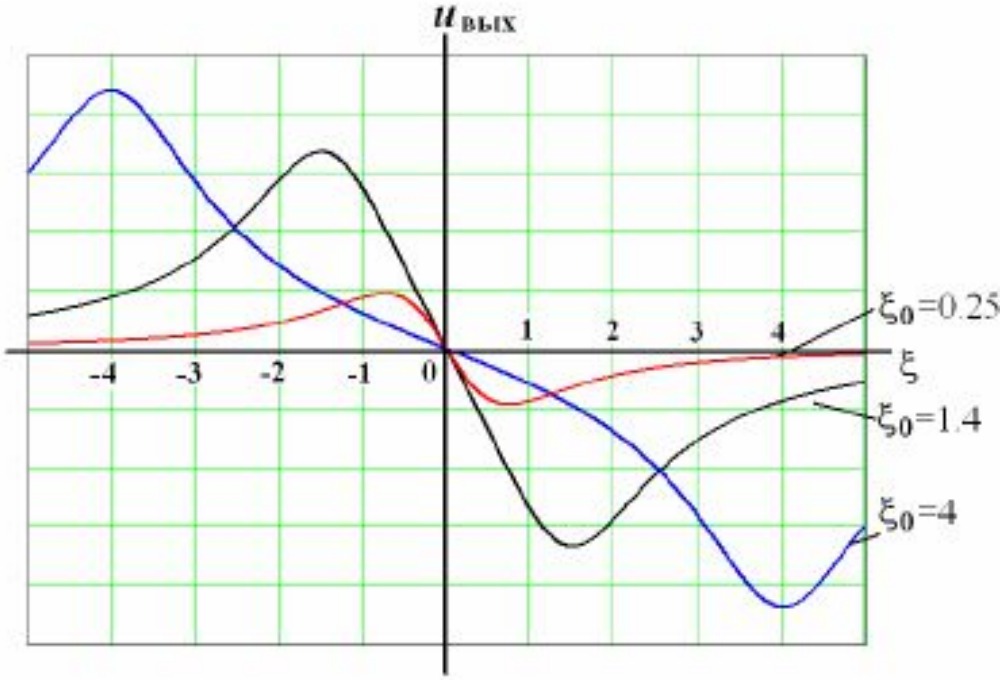




$$u_{\text{ВЫХ}} = u'_{\text{ВЫХ}} - u''_{\text{ВЫХ}} = K_{\text{Д}} \cdot \left(U_{m\,\text{К1}} - U_{m\,\text{К2}}\right)$$

$$u_{\text{ВЫХ}} \approx U_{m\,\text{К1}} - U_{m\,\text{К2}}$$

Для симметрии детекторной характеристики необходимо, чтобы обобщенные расстройки контуров были бы равны: т.е. $\xi_{01} = \xi_{02}$,
что означает, что **полосы пропускания обоих контуров должны быть одинаковыми**.






Детекторная характеристика:

$$u_{\text{ВЫХ}} = U_m \left[ \frac{1}{\sqrt{1+(\xi-\xi_0)^2}} - \frac{1}{\sqrt{1+(\xi+\xi_0)^2}} \right]$$

Необходимо так выбрать добротность контуров и их взаимную расстройку, чтобы обеспечить линейность детекторной характеристики в пределах полосы ЧМ сигнала.

Обычно выбирают $f_{01} - f_{02} = (2 \ldots 3)\Delta F_C$

Перед ЧД необходим АО

Для симметрии детекторной характеристики необходимо, чтобы обобщенные расстройки контуров были бы равны: т.е. $\xi_{01} = \xi_{02}$, что означает, что **полосы пропускания обоих контуров должны быть одинаковыми**.

Для любой девиации частоты $\Delta f$ соответствует обобщенная расстройка $\xi_1 = \xi_2 = \xi = \frac{2\Delta f}{f_0 d}$.

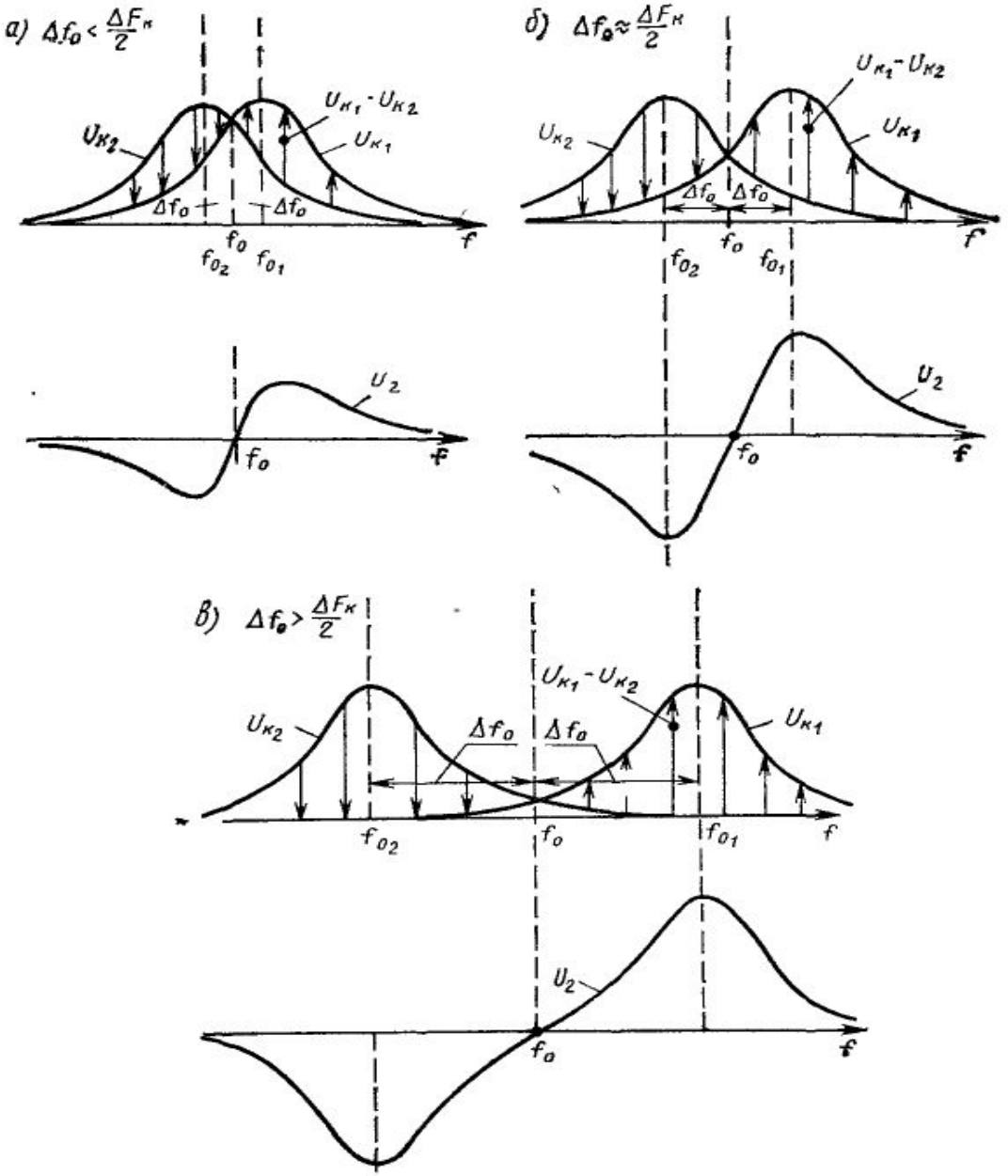
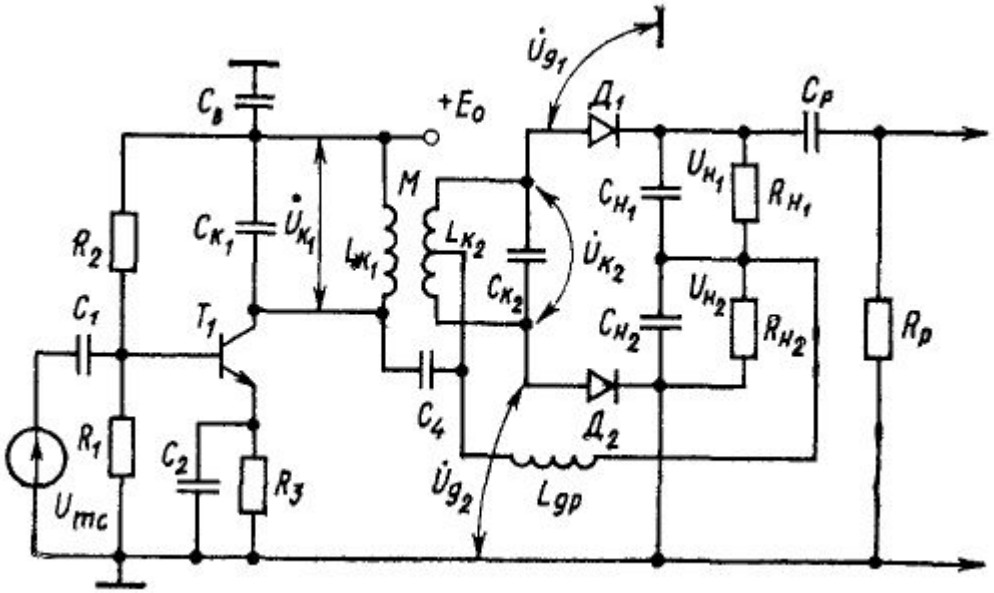
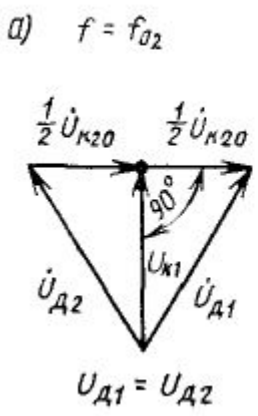
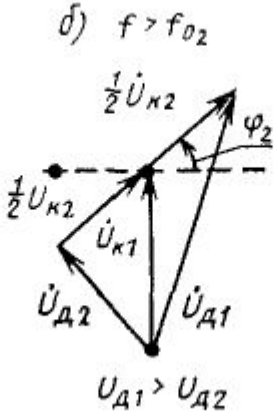


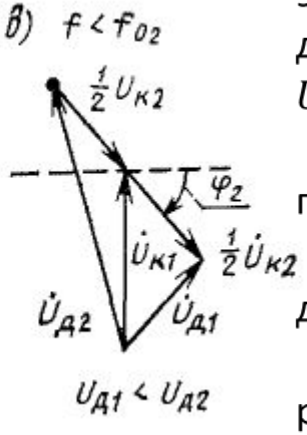

Рис. Резонансные характеристики контуров и соответствующие формы детекторных характеристик

# Детекторы ЧМ сигналов (ЧМС) с преобразованием ЧМС в ФЧМС с последующим детектированием ФД




В ЧД связанные контуры $L_{к1}C_{к1}$ и $L_{к2}C_{к2}$ настроены в резонанс на несущую частоту входного напряжения. При резонансе напряжения $U_{д1}$ и $U_{д2}$ будут равны.

Во втором контуре развивается напряжение $U_{к2}$. Конденсатор $C_4$ подводит потенциал средней точки 2го контура потенциалу коллектора $T_1$.

Тогда на диоды $Д_1$ и $Д_2$ поступают напряжения:

$$U_{д1} = U_{к1} + \frac{U_{к2}}{2} \text{ и } U_{д2} = U_{к1} - \frac{U_{к2}}{2}.$$

На *резонансной частоте* напряжение $U_{к2}$ сдвинуто относительно $U_{к1}$ на угол $90^0$, поэтому амплитуды подводимых к диодам напряжений равны, т.е. $U_{д1} = U_{д2}$ (исходя из рисунка).

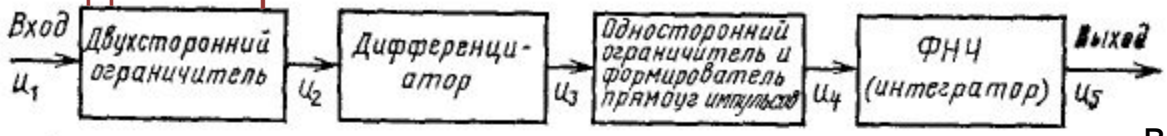
Если коэффициенты передачи двух плеч равны, то Uвых = 0.

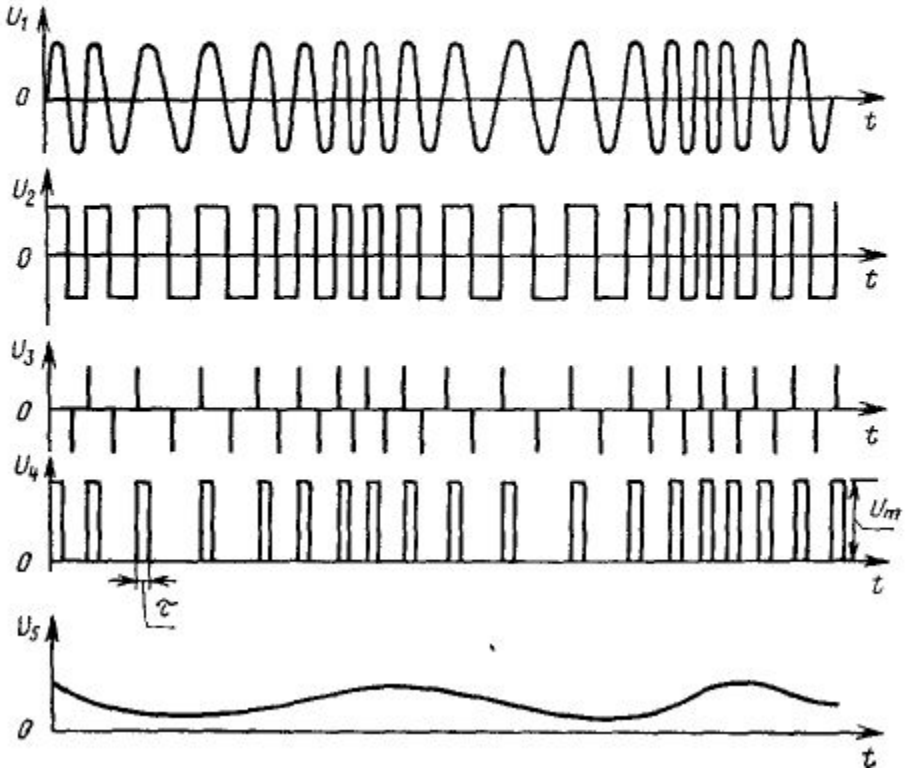
При $f_c \neq f_0$ появляется дополнительный фазовый угол $\varphi_2$.

Напряжения $U_{к2}$ и $U_{к1}$ при больших расстройках уменьшаются, поэтому и $U_{вых}$ также уменьшается.

# Детекторы ЧМ сигналов (ЧМС) с преобразованием ЧМС в ИМС с последующим детектированием ИД

## Импульсно-счетные частотные детекторы:




Постоянная составляющая выходного напряжения за один период входи

$$u_{=} = \frac{1}{T}\int_0^T u(t)\,dt$$

При формировании прямоугольных импульсов

$$u_{=} = \left(\frac{1}{T}\right)\int_0^{\tau} U_m\,dt = U_m\tau/T,$$

где Т – период входного напряжения

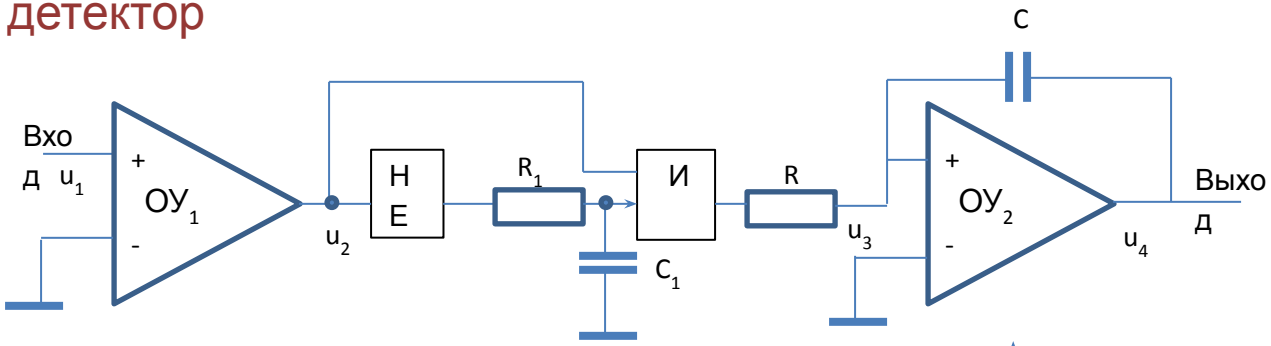
Зная, что $T = \frac{1}{f}$, получим $u_{=} = U_m\,\tau\,f.$

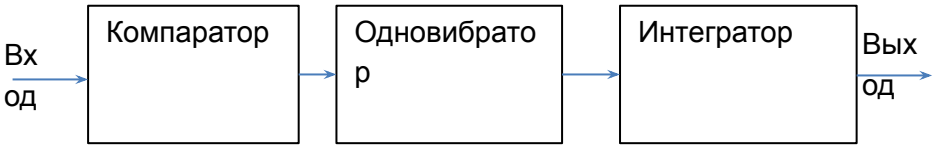
При $f = f_0 + \Delta f(t),$

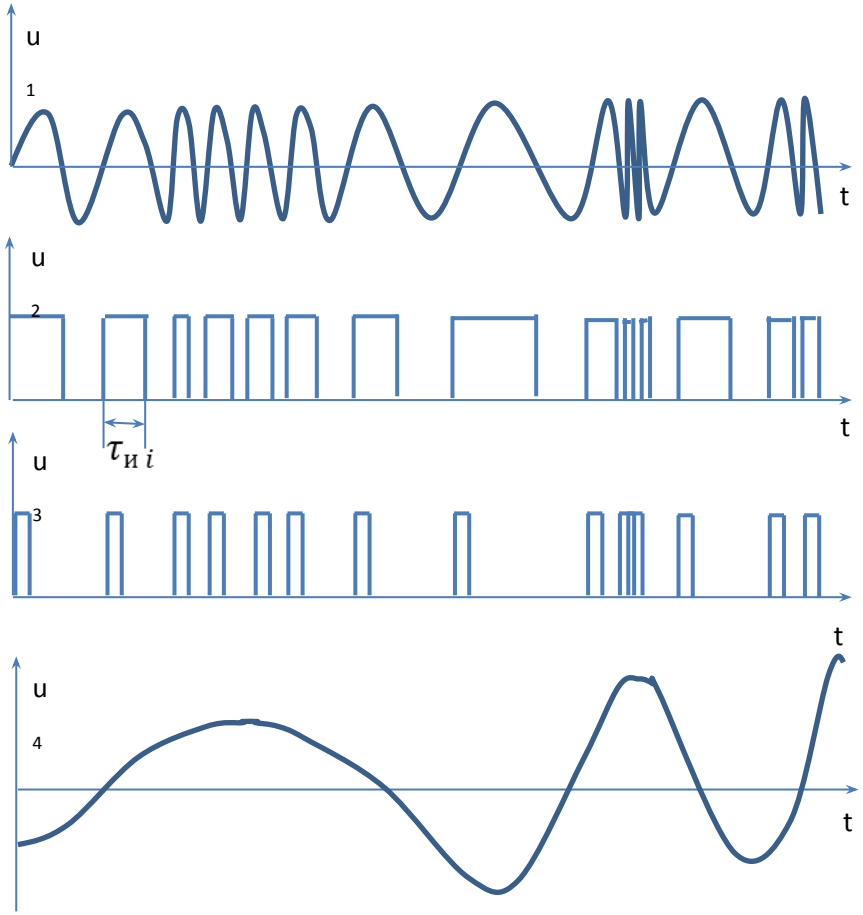
$$u_{=} = Um\tau f_0 + Um\tau\Delta f(t)$$

Составляющая выходного напряжения $Um\tau\Delta f(t)$ прямопропорциональна частотному отклонению входного напряжения $\Delta f(t)$ и воспроизводит закон частотной модуляции без искажений. Эта составляющая выделяется на выходе ФНЧ.

# Импульсно-счетный частотный детектор




Компаратор преобразует входной сигнал в последовательность импульсов $u_2$.

Длительность $\tau_и$ определяет границы перехода через ноль входного ЧМС.

Времязадающая цепь $R_1C_1$ определяет длительность импульсов частоты выходного сигнала одновибратора $u_3$.

Интегратор на ОУ2 формирует $u_{вых} = u_4$ в соответствии с частотой следования импульсов.

# Регулировки в приемниках.
# Системы управления приемниками

Цель регулировок – обеспечение наилучших условий приема сигналов.

Чаще всего регулируют такие показатели как: *частота настройки, коэффициент усиления, полоса пропускания и т.д.*

*Регулировку усиления* производят в трактах радиочастоты и промежуточной частоты, а также в последетекторной части приемника.

*Регулировку частоты настройки* производят с целью обеспечения приема сигналов в широком диапазоне частот.

*Регулировку полосы пропускания* производят в трактах радиочастоты и промежуточной частоты, а также в последетекторной части приемника.

Регулировка бывает *ручной и автоматической.*

*Ручная* для установки исходных показателей РПрУ,

*автоматическая* поддерживает выбранные показатели на требуемом уровне.

Регулировка бывает непосредственная и дистанционная.

**Регулировки усиления в приемниках**

Необходимость регулирования усиления:

- Различие в необходимом уровне сигнала на выходе РПрУ
- Различие в уровне принимаемых сигналов
- Изменение уровня принимаемого сигнала в процессе приема
- Возможные искажения при высоком уровне сигнала

Регулировки усиления выполняют как в додетекторном тракте (обычно АРУ), так и в последетекторном тракте (в приемниках звуковой информации регулятор «Громкость»)

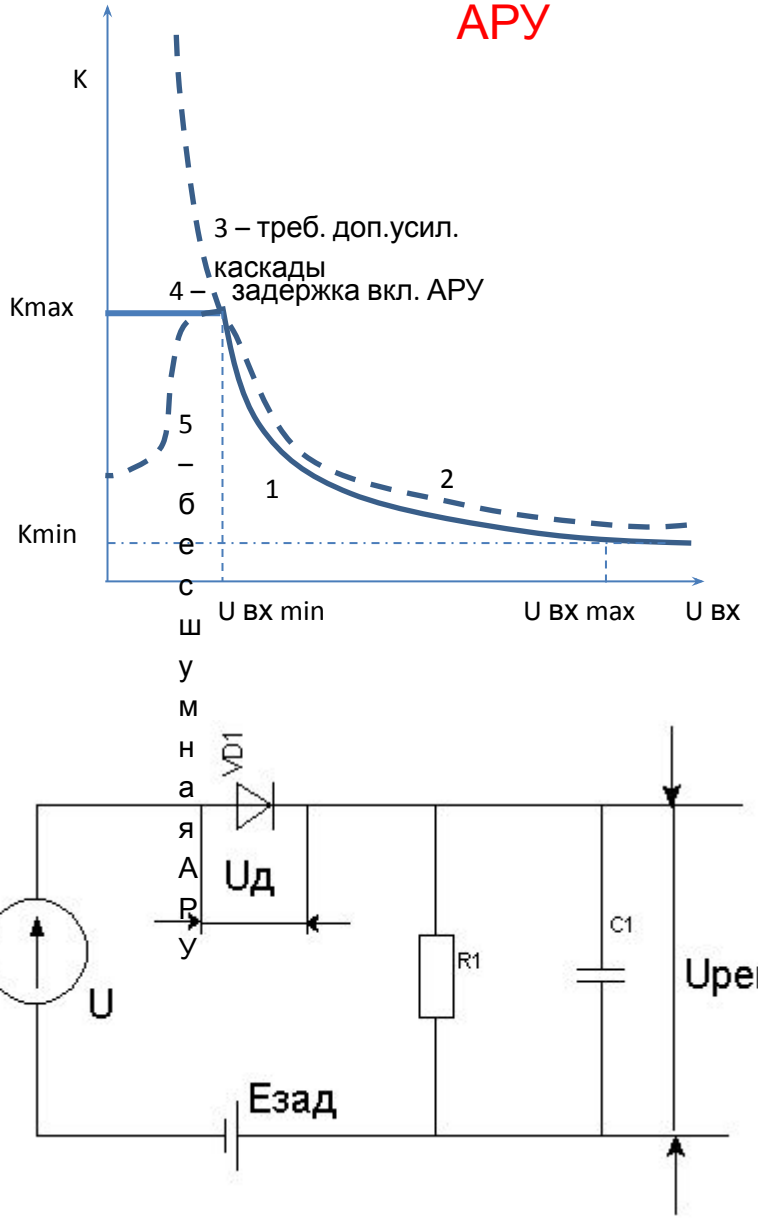
Методы осуществления регулировки усиления:

Изменением коэффициента передачи усилительного каскада:

- Изменением режима по постоянному току активного прибора
- Шунтированием нагрузки
- Изменением глубины ООС

Изменением ослабления аттенюатора

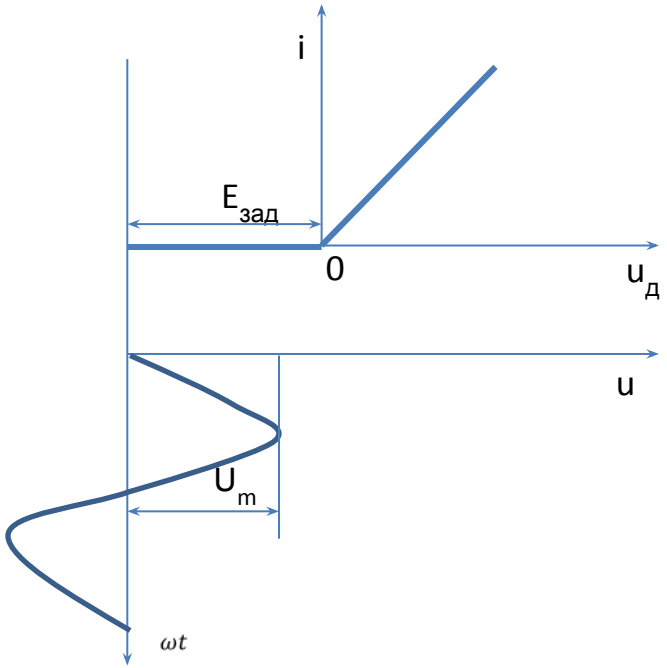
# Типы и характеристики АРУ




Выходное напряжение $U_{вых} = K_0 U_{вх}$.

Значит, для выполнения $U_{вых} = const$ коэффициент $K_0$ должен уменьшаться с увеличением $U_{вх}$ *(кривая 1)*:

$$К_{max} = \frac{U_{\text{вых}\,min}}{U_{\text{вх}\,min}} \qquad К_{min} = \frac{U_{\text{вых}\,max}}{U_{\text{вх}\,max}}$$

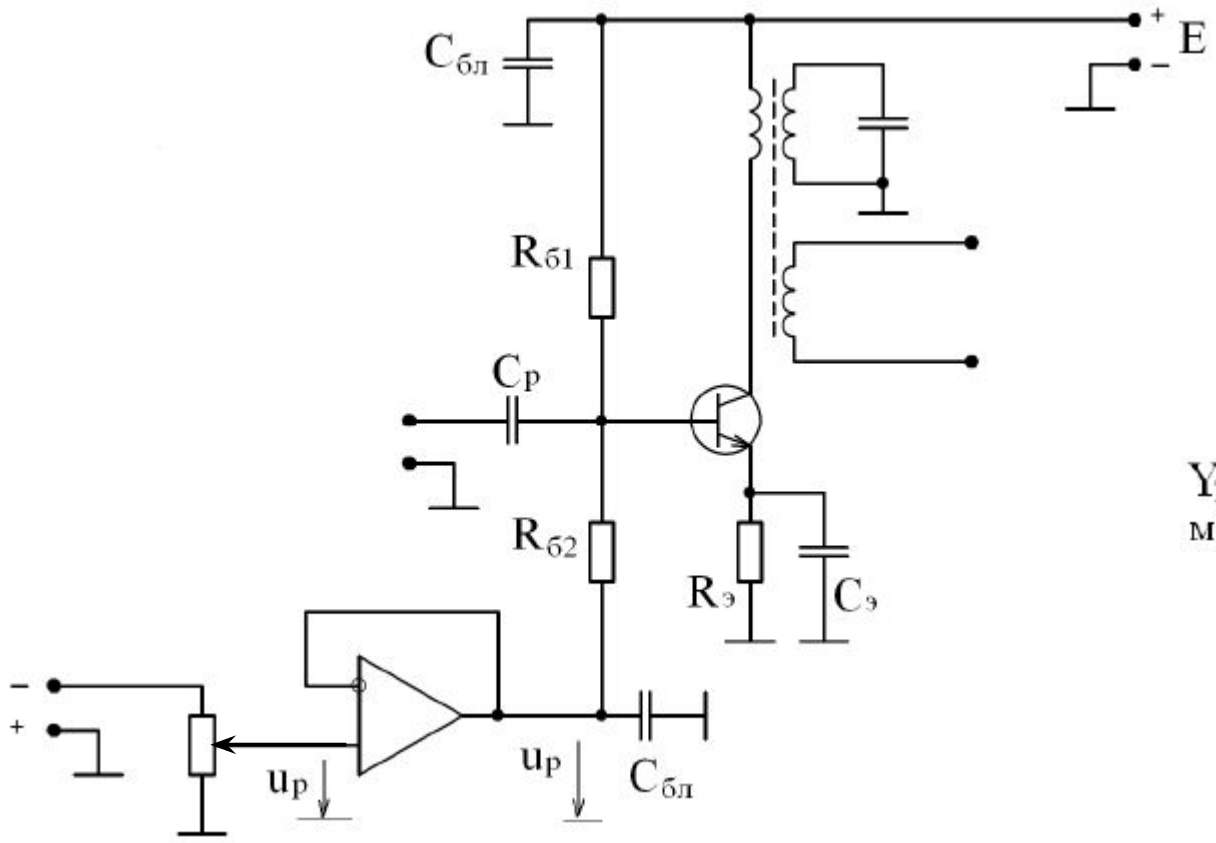


## 1. Регулировка на основе изменения режима по постоянному току активного прибора

Регулировка усиления изменением крутизны (или *режимная* регулировка , так как осуществляется изменением режима АП).

Для изменения крутизны $Y_{210}$ необходимо менять напряжение на управляющем электроде АП: $U_{бэ0}$ для БП (ОЭ) или

$$K_0 = \frac{|Y_{21}|}{g_{НЭ}} \qquad K_0 = \frac{|Y_{21}| \cdot n_1 \cdot n_2}{g_{КЭ}}$$

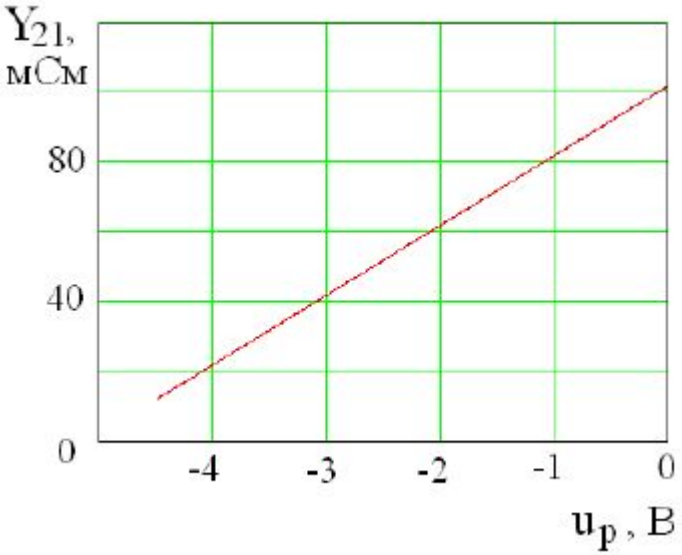



В БТ: $y_{21} \approx 30_{[1/В]} \cdot I_Э$

$$I_Д = \frac{E - u_Р}{R_{Б1} + R_{Б2}}$$

$$U_Б = I_Д \cdot R_{Б2} + u_Р = E - I_Д \cdot R_{Б1}$$

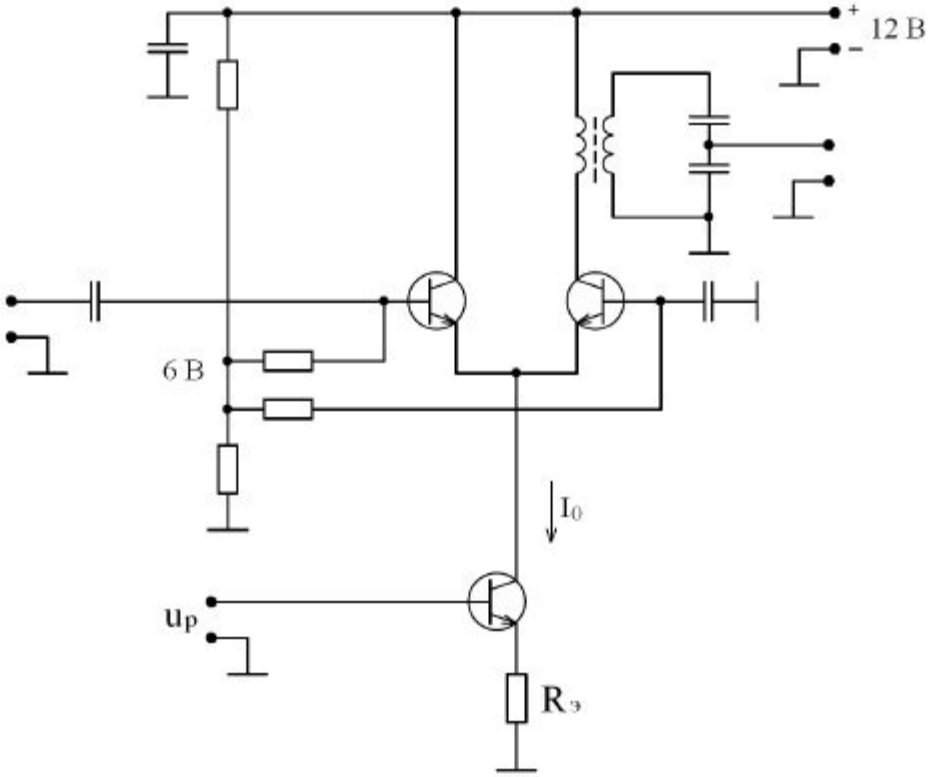
$$U_Э = U_Б - U_{БЭ} \qquad I_Э = \frac{U_Э}{R_Э}$$




Резонансный усилительный каскад с ручной регулировкой усиления

$u_р$ должно быть отрицательным

$u_р$ может быть сформировано системой АРУ

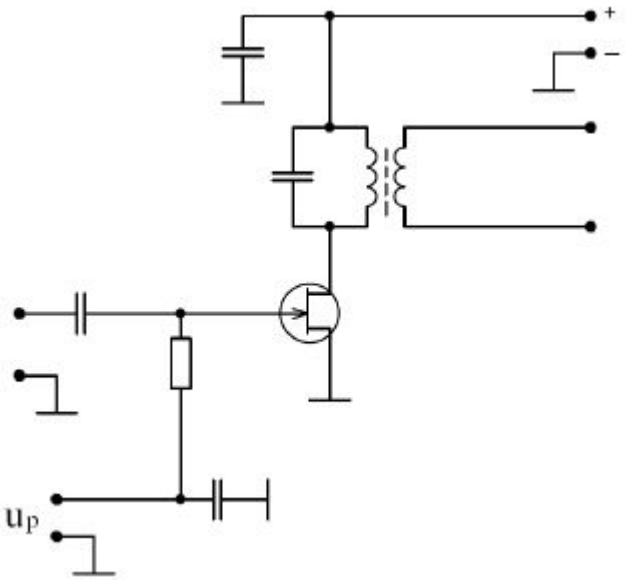



Резонансный дифференциальный усилительный каскад с регулировкой усиления

$u_р$ может быть сформировано системой АРУ или подано от потенциометра

$$I_0 = \frac{u_Р - 0.6}{R_Э}$$

$u_р$=0… +4 В

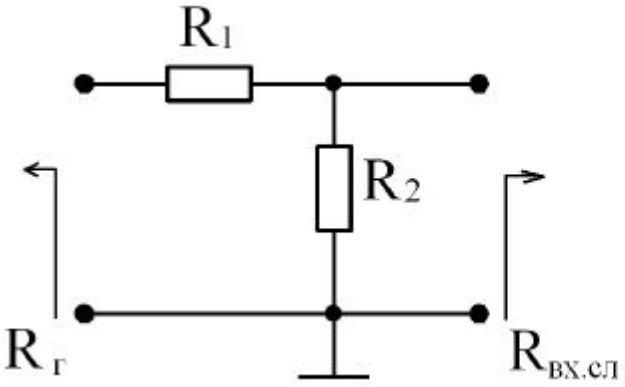


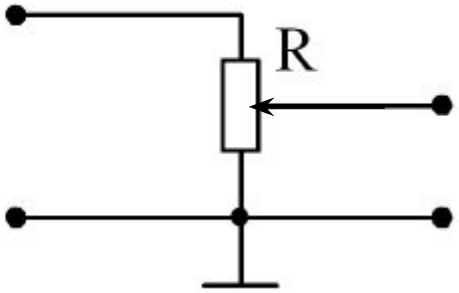

Резонансный усилительный каскад на ПТ с регулировкой усиления

$u_р$ может быть сформировано системой АРУ или подано от потенциометра

$u_р$ = –5… 0 В

## 2. Регулировка на основе изменения ослабления аттенюатора



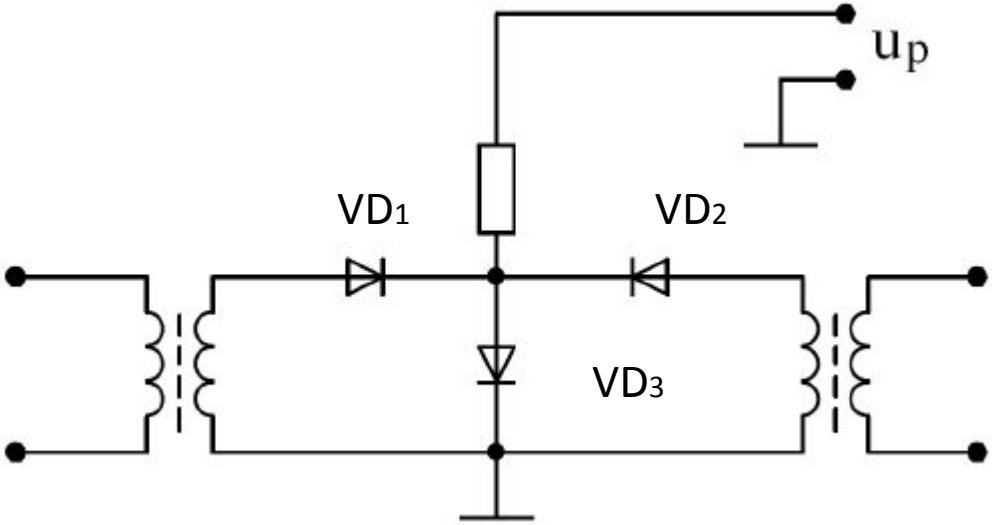




$$K = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \qquad 0 \le K \le 1$$

Должно быть:

$$R_Г << R_1 + R_2 \qquad R_{ВХ.СЛ} >> R_2$$

Потенциометрический регулятор используют в тракте звуковой частоты для регулировки громкости



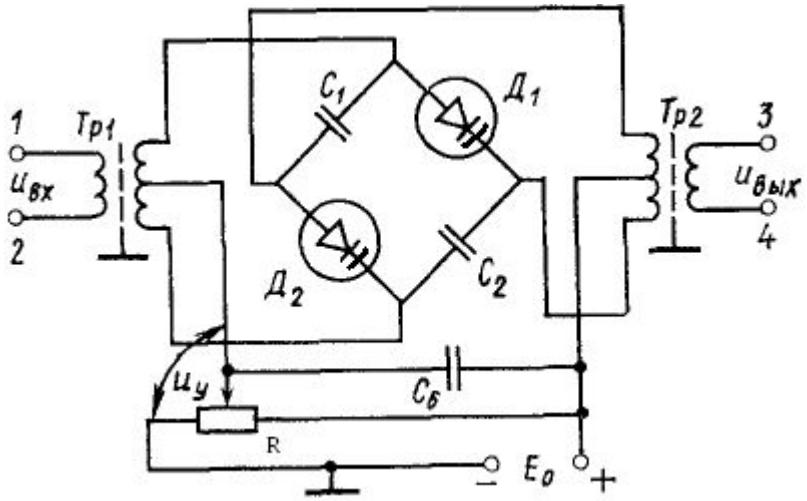

$$u_P < 0 \quad \rightarrow \quad K \approx 1$$

$$u_P > 0 \quad \rightarrow \quad K \approx 0$$

При Up < 0 диоды VD1 и VD2 открыты, а VD3 закрыт, а коэффициент передачи К максимален;

по мере увеличения Up диоды VD1 и VD2 закрываются, а VD3 открывается, при этом коэффициент передачи К уменьшается.

# 3. Устройство регулировки усиления , в основе - мост на варикапах




Входное напряжение $u_{вх}$ подается на зажимы 1 – 2, выходное $u_{вых}$ снимается с зажимов 3 – 4.

В отсутствие управляющего напряжения $U_{упр}$ мост разбалансирован и коэффициент передачи $К_П \approx 1$.

Кроме того, на диоды подведено большое запирающее напряжение $E_0$

и $C_{д1}, C_{д2} << C_1, C_2$.

При подаче $U_{упр}$, снимаемого с потенциометра R, емкость диодов увеличивается и при некотором значении $U_{упр}$, может быть

$C_{д1}, C_{д2} = C_1, C_2$.

Тогда $К_П \approx 0$. Мостовой РУ регулирует усиление в пределах 40-50 дБ.

## Автоматическая регулировка усиления (АРУ)

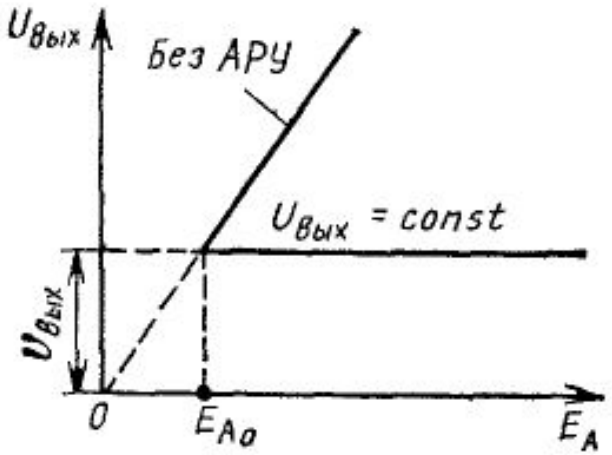
АРУ предназначена для поддержания оптимального уровня выходного напряжения независимо от уровня входного сигнала без изменения закона модуляции этого сигнала.

Зависимость $U_{вых} = f(E_A)$ – это регулировочная характеристика АРУ.

Выходное напряжение $U_{вых} = K_0 m_н E_A$.

Значит, для выполнения $U_{вых} = const$ коэффициент передачи $K_0$ должен уменьшаться с увеличением $E_A$.

Тогда $К_0 = \frac{U_{вых}}{m_н E_A} = \frac{c}{E_A}$, где с – постоянная величина.

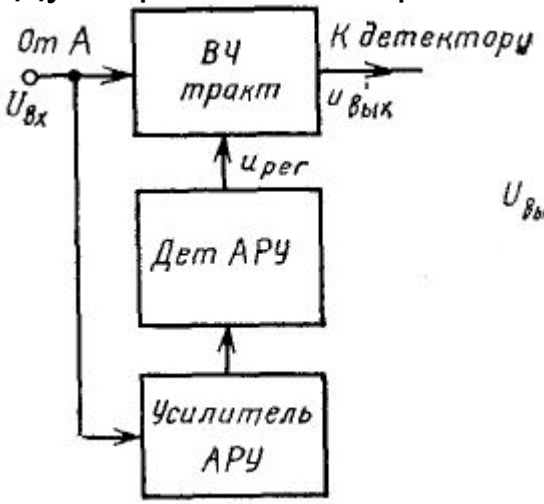


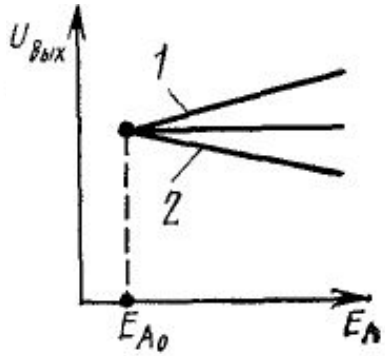

Системы АРУ: прямое,
обратное,
комбинированное регулирование.

Идеальная регулировочная характеристика АРУ для значений $E_A > EA_0$ приемника – это прямая линия ($U_{вых} = const$), параллельная оси абсцисс.

Прямое регулирование АРУ: $K_0$ регулируемого тракта не зависит от $U_{вых.}$
Существенное изменение усиления тракта можно получить при $U_{рег}$ порядка десятых долей или единиц Вольт.

Дублирование ВЧ тракта для целей АРУ нецелессообразно.



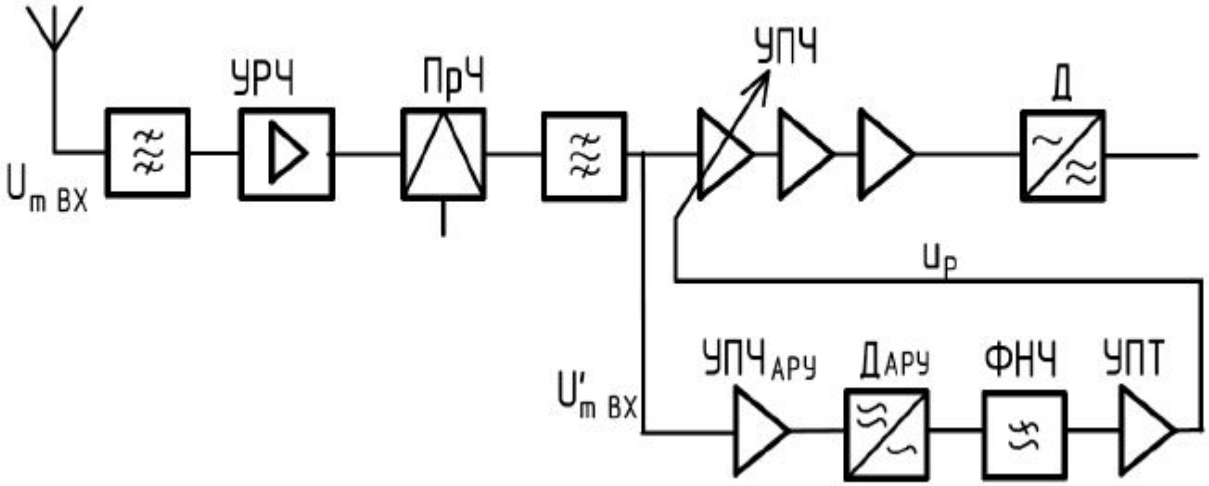

$U_{m\,ВХ}\uparrow \quad u_Р\uparrow \quad K\downarrow \quad U_{m\,ВЫХ}\downarrow$

**Регулирующее напряжение $u_Р$ пропорционально амплитуде сигнала на входе $U_{m\,ВХ}$ – система АРУ с прямой регулировкой**

Система позволяет получить нулевой наклон амплитудной характеристики

Прямая АРУ обладает низкой долговременной стабильностью, т.к не имеет информации о результате своей работы

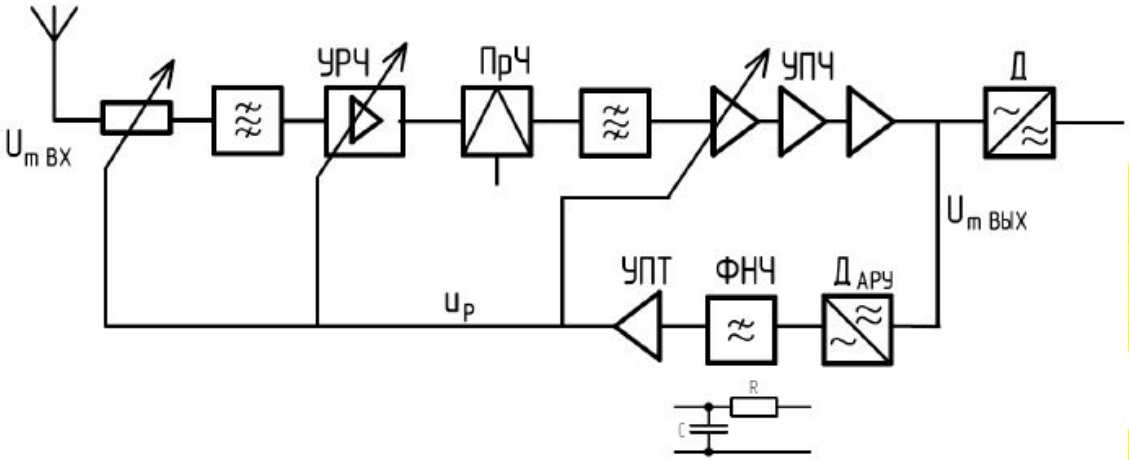
В чистом виде не применяется.
Используют в сочетании с обратной АРУ – АРУ с комбинированной регулировкой




**Система инерционной АРУ с прямой регулировкой**

При увеличении $U_{вх}$ детектор АРУ обеспечивает напряжение $U_{рег}$ на его выходе, что вызывает уменьшение $K_0$.

## Инерционная система АРУ с обратной регулировкой

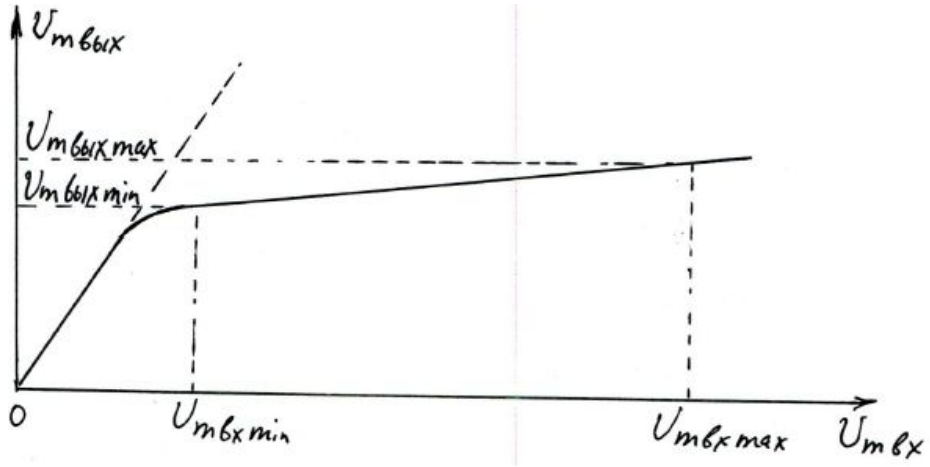



$U_{m\,вх}\uparrow \quad U_{m\,вых}\uparrow \quad u_Р\uparrow \quad K\downarrow \quad U_{m\,вых}\downarrow$

Регулирующее напряжение $u_Р$ пропорционально амплитуде сигнала на выходе $U_{m\,вых}$ – система АРУ с обратной регулировкой

Система реагирует на медленные изменения амплитуды – система АРУ инерционная. Инерционность определяется, в основном, постоянной времени ФНЧ

Амплитудная характеристика приемника с АРУ




Эффективность работы АРУ оценивают парой чисел

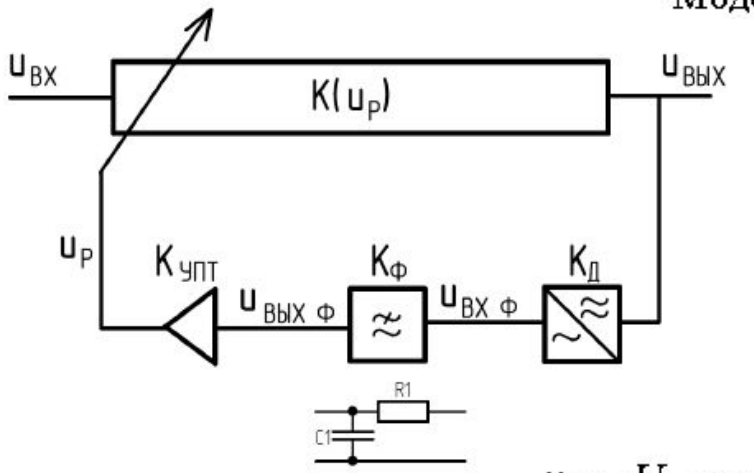
$$m = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_{m\,вх\,max}}{U_{m\,вх\,min}}\right) \qquad p = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_{m\,вых\,max}}{U_{m\,вых\,min}}\right)$$

Пример: Амплитуда сигнала на выходе приемника изменяется не более чем на 2 дБ ($p$) при изменении амплитуды входного сигнала на 80 дБ ($m$)

При увеличении $U_{вых}$ детектор АРУ обеспечивает напряжение $U_{рег}$ на его выходе $U_{рег} = К_д U_{вых}$.

**Анализ инерционной системы АРУ с обратной регулировкой в статическом режиме**

Модель регулятора:

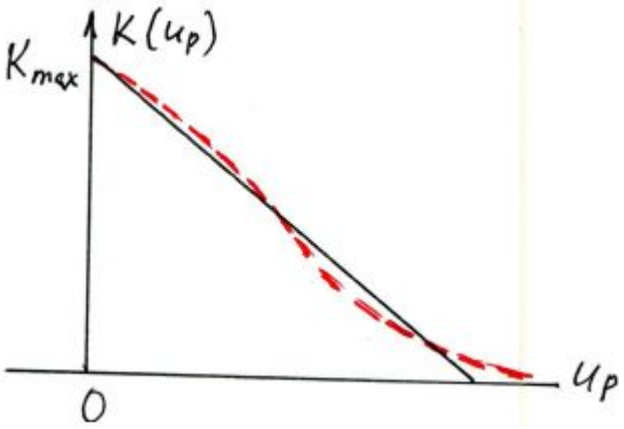



$$K(u_\text{Р}) = K_\text{max} - S_\text{Р} \cdot u_\text{Р} \qquad S_\text{Р} = \frac{\Delta K}{\Delta u_\text{Р}}$$

$$U_\text{m ВЫХ} = K(u_\text{Р}) \cdot U_\text{m ВХ}$$

$$U_\text{m ВЫХ} = \left(K_\text{max} - S_\text{Р} \cdot u_\text{Р}\right) \cdot U_\text{m ВХ}$$

$$u_\text{Р} = U_\text{m ВЫХ} K_\text{Д} K_\Phi K_\text{УПТ}$$



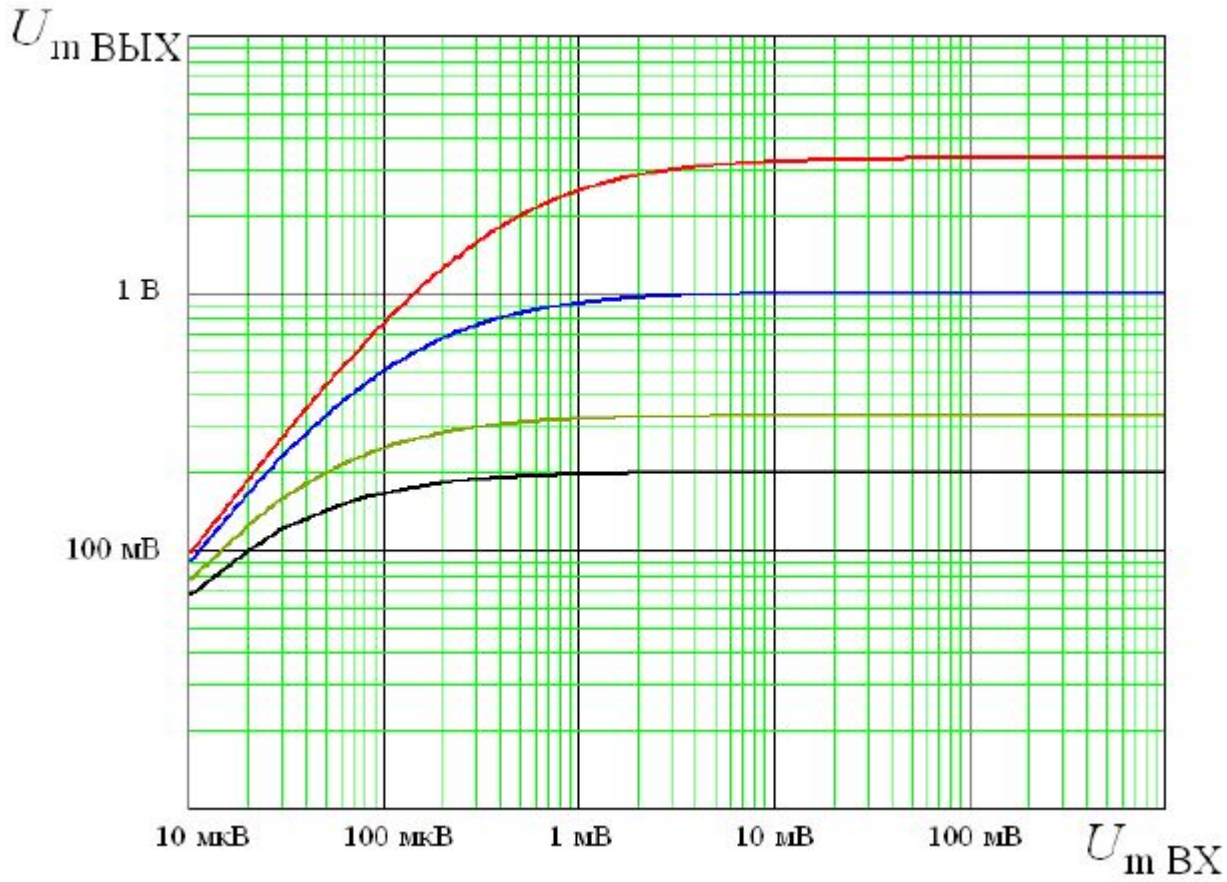

$$U_\text{m ВЫХ} = \left(K_\text{max} - S_\text{Р} \cdot U_\text{m ВЫХ} K_\text{Д} K_\Phi K_\text{УПТ}\right) \cdot U_\text{m ВХ}$$

$$U_\text{m ВЫХ}\left(1 + S_\text{Р} K_\text{Д} K_\Phi K_\text{УПТ} \cdot U_\text{m ВХ}\right) = K_\text{max} \cdot U_\text{m ВХ}$$

$$U_\text{m ВЫХ} = \frac{K_\text{max} \cdot U_\text{m ВХ}}{1 + S_\text{Р} K_\text{Д} K_\Phi K_\text{УПТ} \cdot U_\text{m ВХ}}$$

При малых $U_{m\,\text{ВХ}}$: $U_\text{m ВЫХ} = K_\text{max} \cdot U_\text{m ВХ}$

При очень больших $U_{m\,\text{ВХ}}$: $U_\text{m ВЫХ} = \frac{K_\text{max}}{S_\text{Р} K_\text{Д} K_\Phi K_\text{УПТ}}$

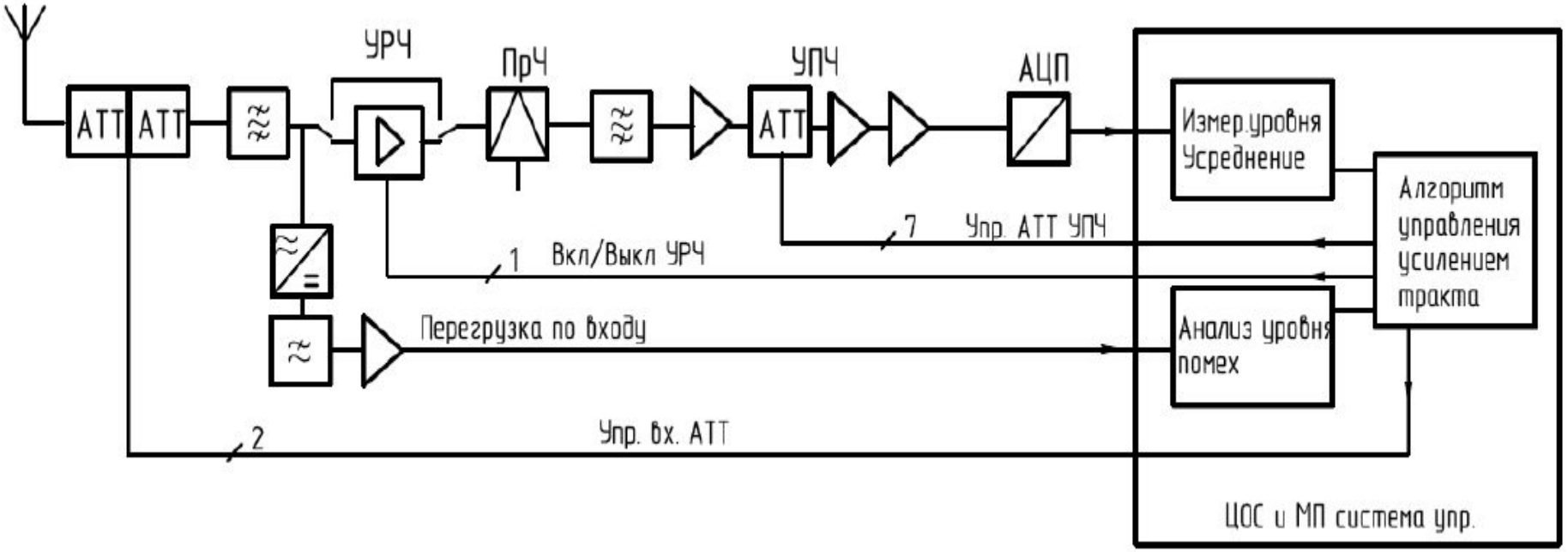



Для повышения эффективности системы АРУ следует использовать регулятор с большей крутизной $S_{\text{Р}}$ и усилитель постоянного тока с высоким $K_{\text{УПТ}}$.

Однако при высоком значении $S_{\text{Р}} K_{\text{Д}} K_{\text{Ф}} K_{\text{УПТ}}$ :

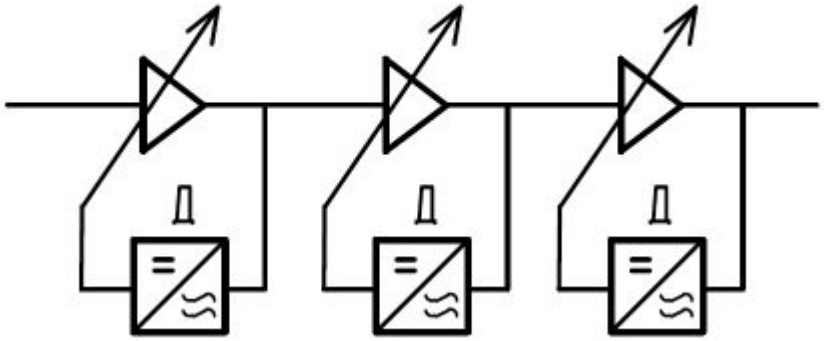
- Возрастает опасность самовозбуждения системы АРУ
- Снижается $U_{m\,\text{ВЫХ}}$ – детектор АРУ переходит в режим слабого сигнала

# Пример инерционной системы АРУ с обратной регулировкой. Приемник с цифровой обработкой сигналов и микропроцессорной системой управления




Глубина регулировки усиления: 60 дБ (вх.АТТ) + 14 дБ (УРЧ) + 31.5 дБ (АТТ УПЧ) = 105.5 дБ

**Быстродействующая АРУ (БАРУ)**

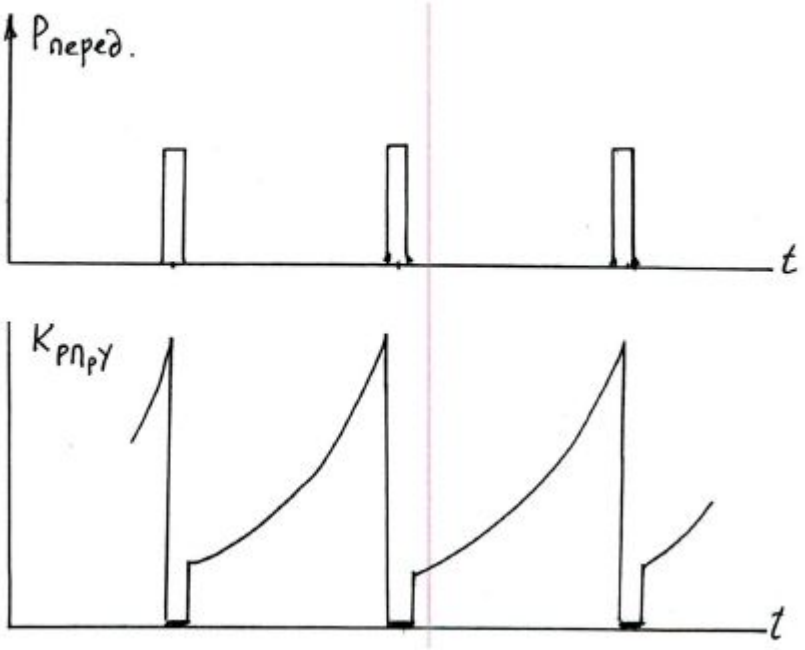



Быстродействие находится в противоречии с глубиной регулировки

В БАРУ отдельные каскады охватывают собственной системой АРУ с высоким быстродействием

Применяют, а частности, в приемных устройствах импульсной радиолокации

**Программируемая (временная) АРУ**




Регулировку усиления проводят по заранее заданному закону

Применяют в приемных устройствах радиолокационных систем

## Ключевая (стробирующая) АРУ

Детектор оценивает уровень сигнала в моменты действия короткого стробирующего импульса
Между стробирующими импульсами коэффициент усиления приемного тракта сохраняется неизменным

Применяют, в частности, в телевизионных приемниках

В наземном ТВ используют ОМ с частично подавленной несущей. Уровень радиосигнала зависит от характера передаваемой информации. Обычная инерционная система АРУ при этом работает плохо, изменяя коэффициент усиления тракта в зависимости от сюжета

Оценку уровня система ключевой АРУ проводит в момент действия строчных синхроимпульсов, когда уровень радиосигнала не зависит от передаваемого изображения

The End