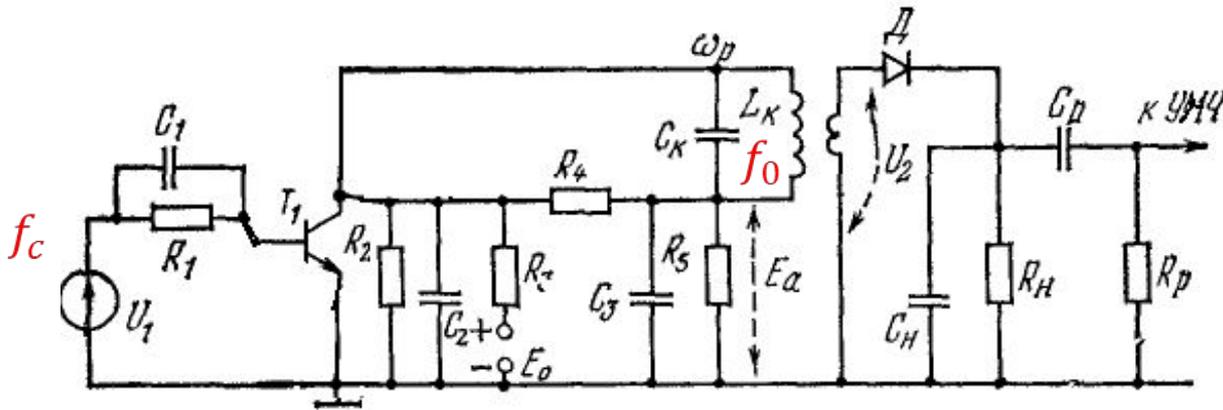


# Детекторы ЧМ сигналов (ЧМС) с преобразованием ЧМС в АЧМС с последующим детектированием АД

Частотный детектор на одном расстроенном контуре:  $f_c \neq f_0$



Максимальная крутизна преобразования достигается при расстройке  $\Delta f = \frac{\pm \Delta F}{2\sqrt{2}}$ , где  $\Delta F$  - полосы пропускания каскада, отсчитанная на уровне  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ , т.е. в 2,8 раза меньше, чем  $\Delta F$ .

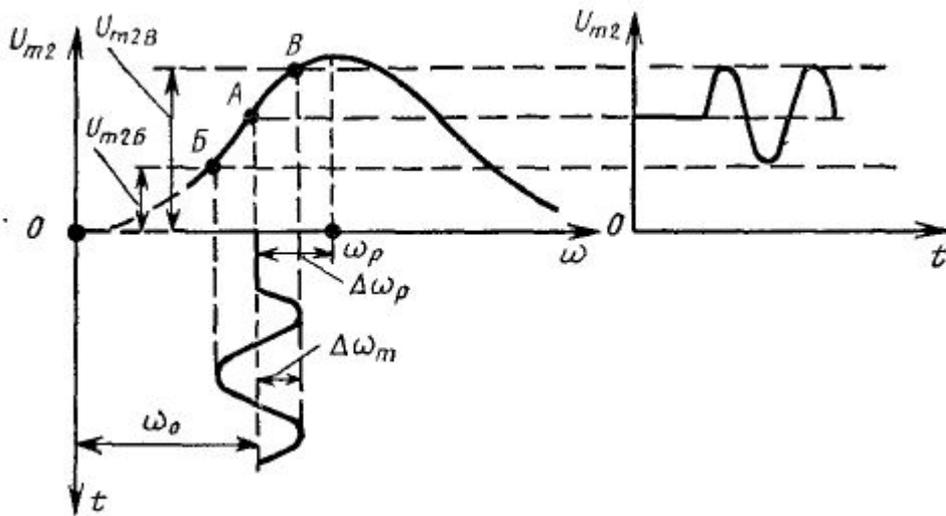
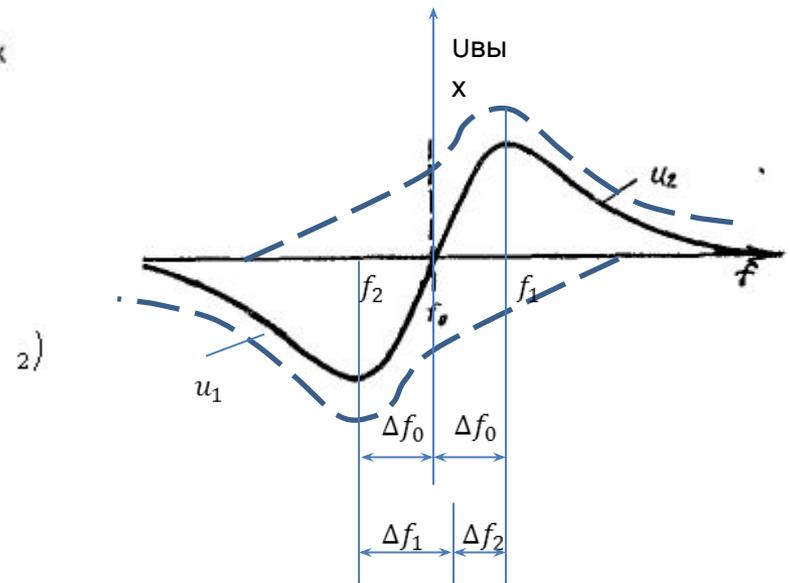
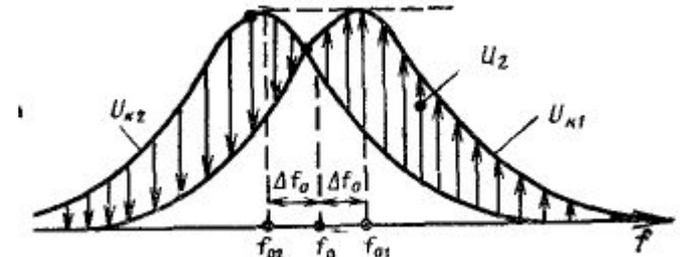
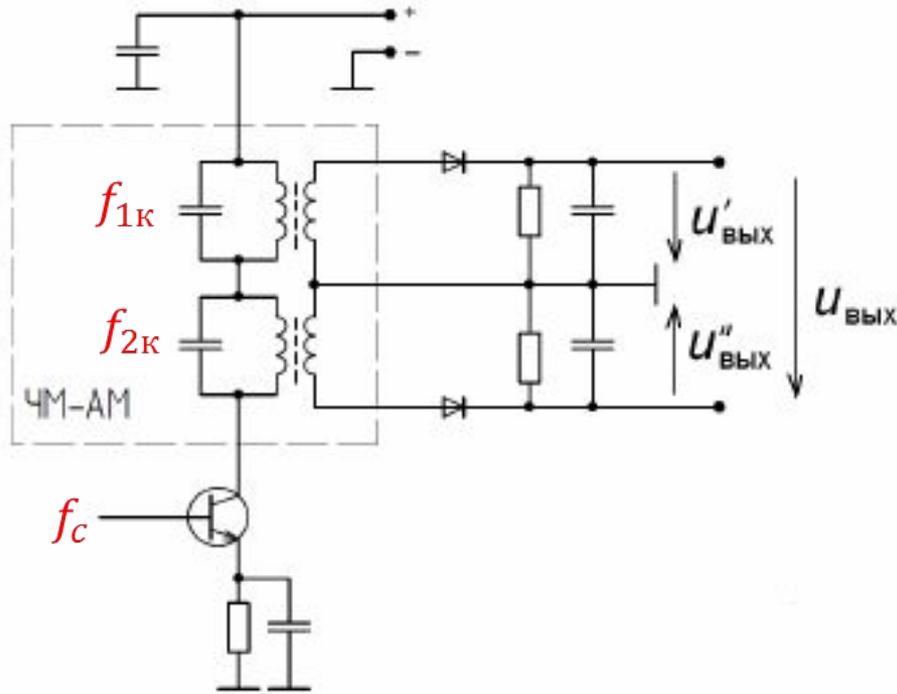


Рис. Изменение амплитуды выходного напряжения  $U_{m2}$  при синусоидальном изменении частоты входного напряжения

**Достоинство:** простота выполнения детектора и его настройки.

**Недостатки:** большой уровень нелинейных искажений из-за нелинейности скатов резонансной характеристики каскада, необходимость использования режима ограничения в АП.

Частотный детектор на двух расстроенных контурах :  $f_{1к} \neq f_{2к} \neq f_0 \neq f_c$



Для симметрии детекторной характеристики необходимо, чтобы обобщенные расстройки контуров были бы равны:

$$\text{т.е. } \xi_{01} = \xi_{02},$$

что означает, что **полосы пропускания обоих контуров должны быть одинаковыми:**

$$\Delta f_{1к} = \Delta f_{2к}.$$

**Достоинство:** простота настройки и высокая крутизна его характеристики.

**Недостатком** является сильная зависимость формы характеристики от расстройки контуров контуров из-за дестабилизирующих факторов.

Связь между  
мгновенной частотой  $\omega$   
и фазой  $\varphi$  колебания:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}; \varphi = \int_0^t \omega dt + c$$

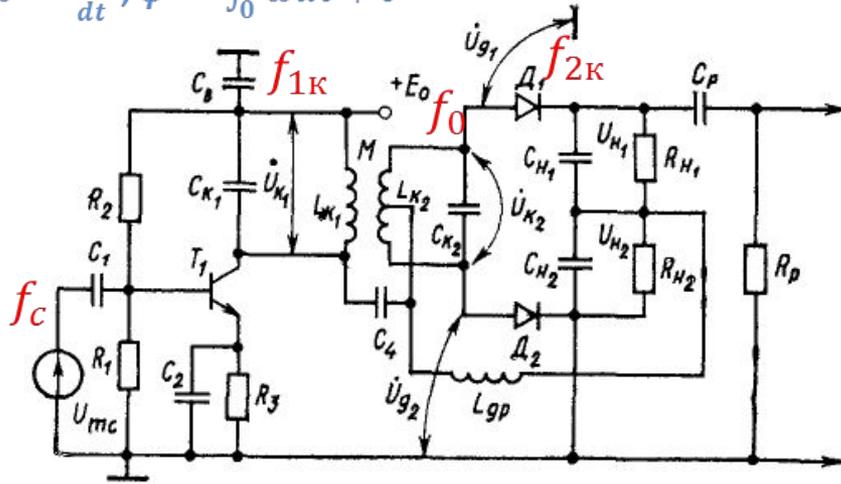
## Дробный частотный детектор

на одинаково настроенных на  $f_0$  контурах:  $f_{1к} = f_{2к} = f_0 \neq f_c$

На диоды  $D_1$  и  $D_2$  поступают напряжения:

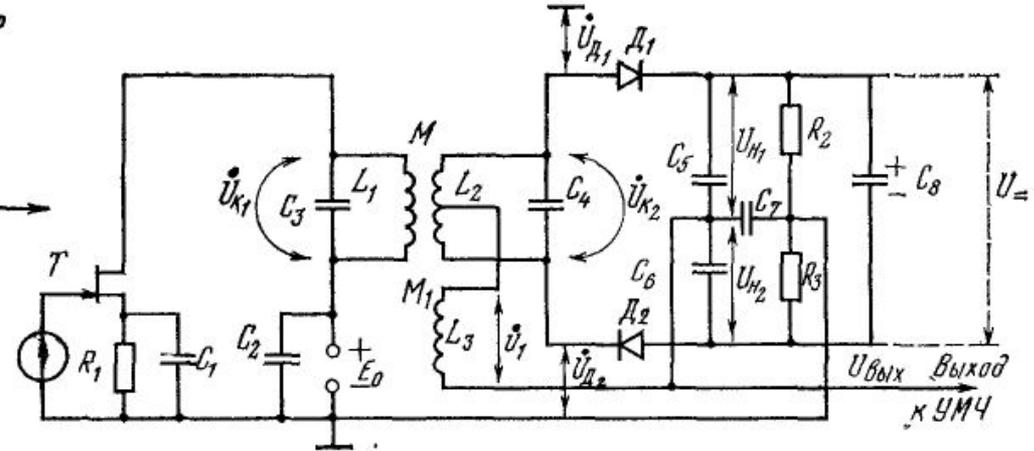
$$U_{D1} = U_{K1} + \frac{U_{K2}}{2} \text{ и } U_{D2} = U_{K1} - \frac{U_{K2}}{2}$$

На резонансной частоте напряжение  $U_{K2}$  сдвинуто относительно  $U_{K1}$  на угол  $90^\circ$ .



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

Напряжения  $U_{K2}$  и  $U_{K1}$  при  
больших расстройках  
уменьшаются, поэтому и  $U_{ВЫХ}$   
также уменьшается.

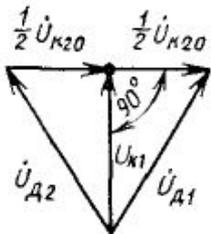


Выходное напряжение  
детектора определяется  
разностью напряжений на  
нагрузках плеч ФД:

$$u_2 = U_{H1} - U_{H2},$$

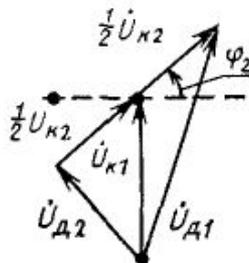
где  $K_{D1}$  и  $K_{D2}$  - коэффициенты  
передачи диодных детекторов  
1го и 2го плеч.

а)  $f = f_{02}$



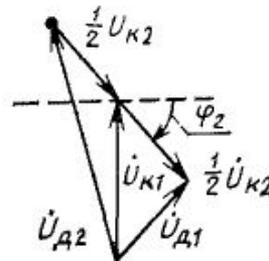
$$U_{D1} = U_{D2}$$

б)  $f > f_{02}$



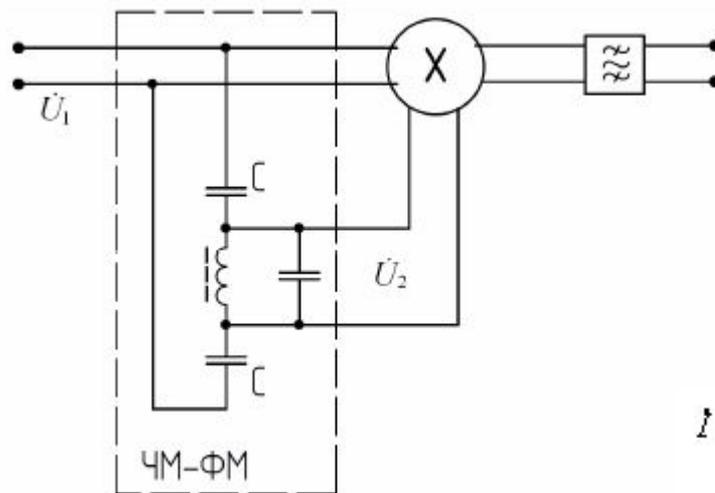
$$U_{D1} > U_{D2}$$

в)  $f < f_{02}$

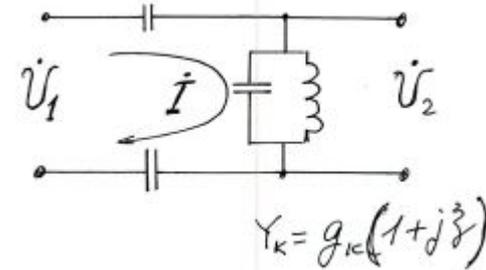


$$U_{D1} < U_{D2}$$

## Частотный детектор с преобразованием ЧМС в ФЧМС на основе аналогового умножителя



Чтобы на центральной частоте между  $U_1$  и  $U_2$  обеспечить фазовый сдвиг равный  $\pi/2$ , емкость конденсаторов  $C$  выбирают малой и  $\omega C \ll g_K$



$$I = \frac{U_1}{\frac{1}{j\omega C} + \frac{1}{j\omega C} + g_K \cdot (1 + j\xi)}$$

$$U_2 = \frac{I}{Y_K} = \frac{U_1}{\frac{2}{j\omega C} + g_K \cdot (1 + j\xi)} \cdot \frac{1}{g_K \cdot (1 + j\xi)}$$

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{j\omega C}{2g_K \cdot (1 + j\xi)}$$

$$U_{m2} = U_{m1} \cdot \frac{\omega C}{2g_K \cdot \sqrt{1 + \xi^2}} \quad \varphi_2 = \varphi_1 + \frac{\pi}{2} - \arctg(\xi)$$

$$u_{\text{ВЫХ}} = \frac{A}{2} U_{m1} U_{m2} \cos(\Delta\varphi) = U_{m1}^2 \cdot \frac{A \cdot \omega C}{4g_K \sqrt{1 + \xi^2}} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \arctg(\xi)\right)$$

Преобразование ЧМ колебания в ФМ колебание можно выполнить с помощью линейной цепи, обеспечивающей линейную зависимость фазы  $U_{\text{вых}}$  от частоты:  $\varphi_{U_{\text{ВЫХ}}} = f(\omega)$ . Пусть на входе цепи, вносящей задержку  $\tau$ , есть сигнал

$$u_c(t) = U_c \sin [\omega_c(t) + \varphi(t)] \quad \text{с частотой } \omega(t) = \omega_c + \frac{d\varphi(t)}{dt}.$$

Тогда сигнал на выходе такой цепи имеет вид:

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = U_c \sin [\omega_c(t - \tau) + \varphi(t - \tau)].$$

Тогда фазовый сдвиг выходного напряжения относительно входного:

$$\Delta\varphi(t) = \omega_c\tau + \varphi(t) - \varphi(t - \tau) = \omega_c\tau + \frac{\tau[\varphi(t) - \varphi(t - \tau)]}{\tau}.$$

Учитывая, что  $\lim_{\tau \rightarrow \tau} \frac{\varphi(t) - \varphi(t - \tau)}{\tau} = \frac{d\varphi(\tau)}{dt}$ ,

Получим:  $\Delta\varphi(t) \approx \left[ \omega_c + \frac{d\varphi(\tau)}{dt} \right] \tau = \tau\omega(t).$

Таким образом, при малом значении  $\tau$  закон изменения разности фаз ЧМ сигнала совпадает с законом изменения частоты входного сигнала. Для поворота фазы входного сигнала на угол  $\frac{\pi}{2}$  используется аналоговый широкополосный фазовращатель. В этом случае детекторная характеристика будет проходить через нуль.

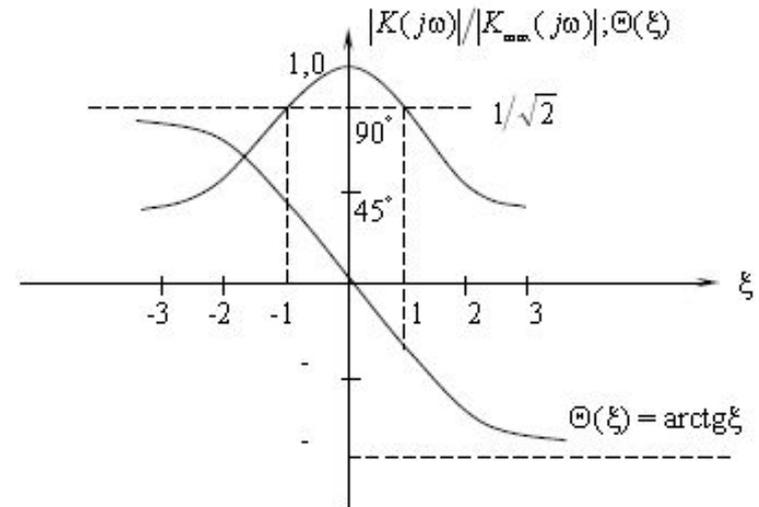
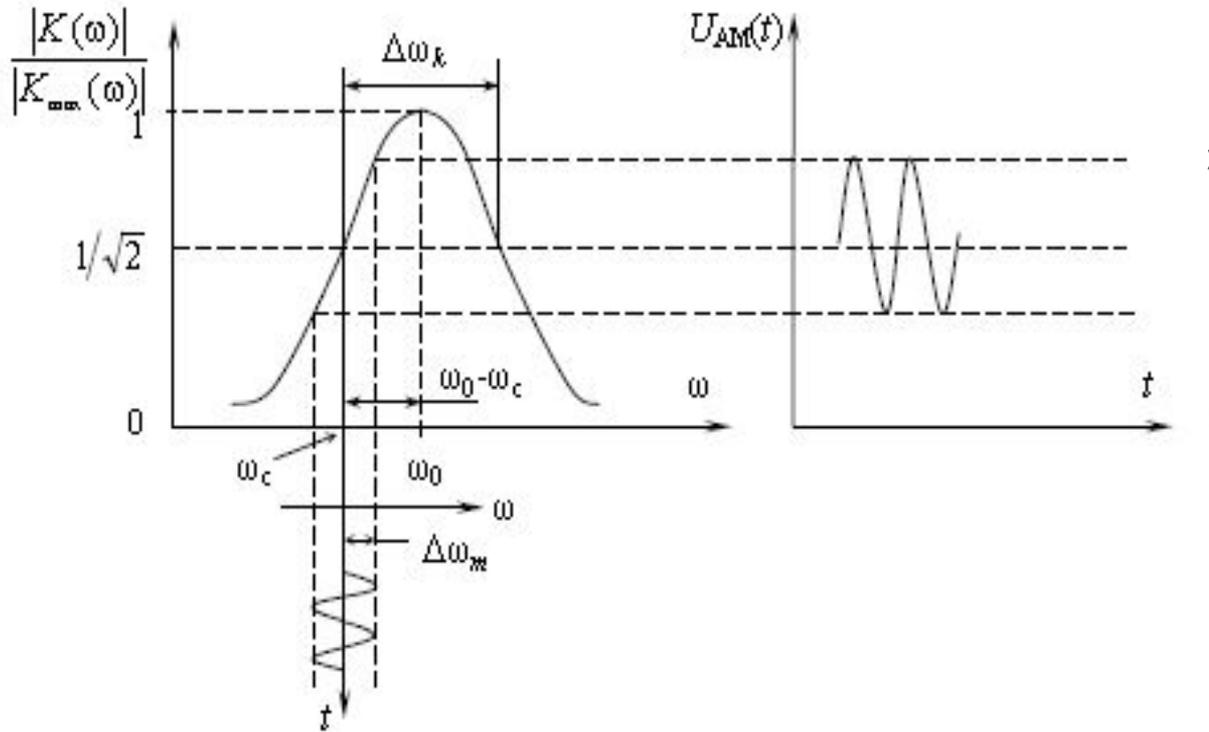


Рис. Нормированная АЧХ и ФЧХ избирательного контура



Крутизна детекторной характеристики :

$$S_{\text{чд}} = \frac{du_{\text{ВЫХ}}}{d(\Delta\omega)}$$

Коэффициент передачи ЧД :

$$K_{\Omega} = \frac{U_{\Omega}}{U_c \left( \frac{\Delta\omega_m}{\omega_c} \right)},$$

где  $U_{\Omega}$  – амплитуда низкочастотного сигнала на выходе детектора.

$$K(j\omega) = \frac{1}{1 + j\xi},$$

где  $\xi$  – расстройка,  $\xi = \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) Q$ ;  $\omega_0$  – резонансная частота контура;

$Q$  – добротность контура.

Мгновенная разность фаз на входе и выходе избирательного контура определяется по фазочастотной характеристике контура установившегося состояния:

$$\Omega(\xi) = \text{arctg}(\xi)$$

На выходе избирательной цепи будет присутствовать паразитная амплитудная модуляция. Поэтому перед ФД включают АО.

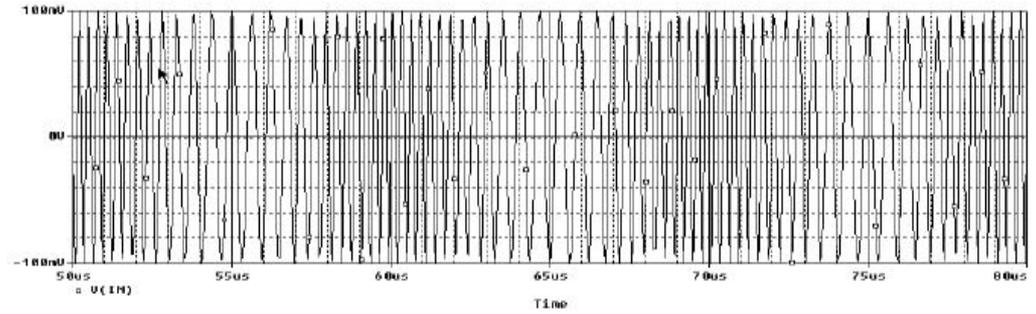
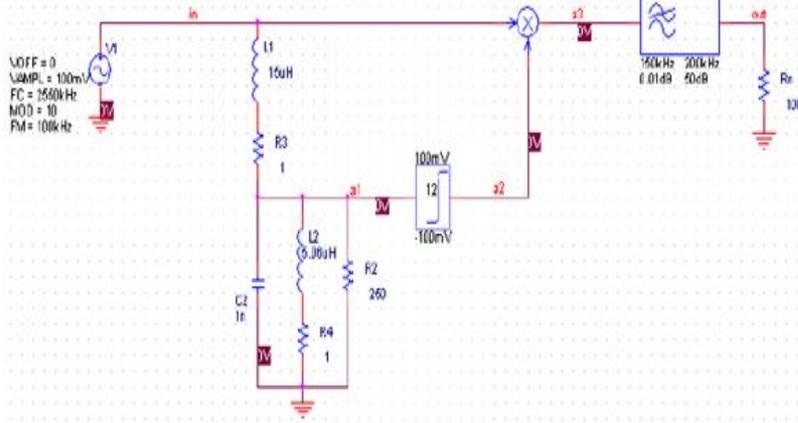


Рис. П2.5. Сигнал на входе детектора

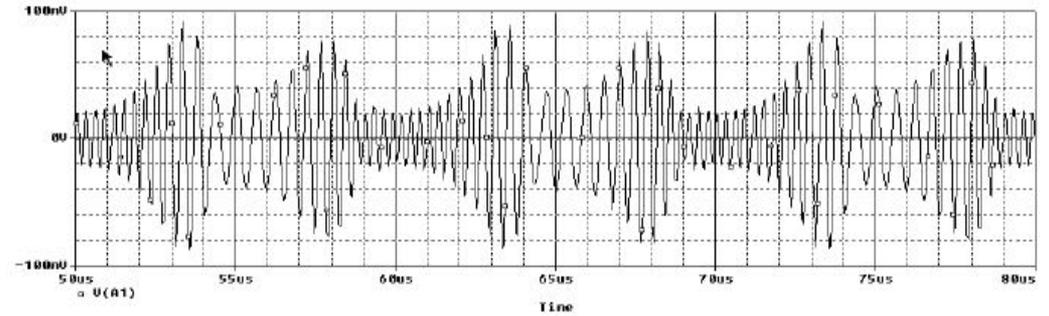


Рис. П2.6. Сигнал на входе амплитудного ограничителя

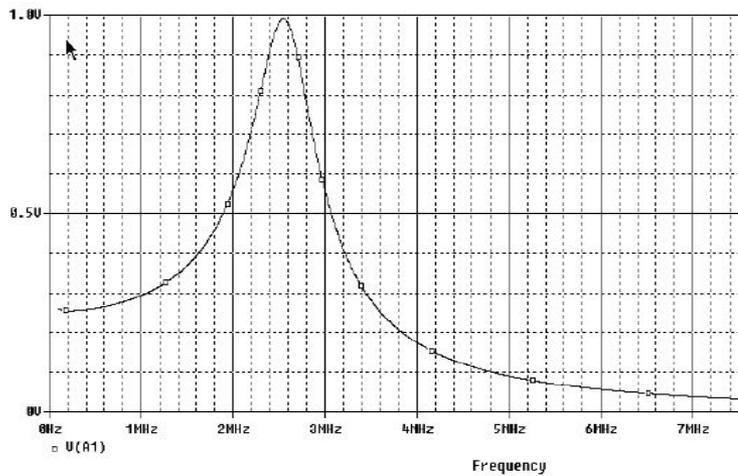


Рис. П2.4. Частотная характеристика на входе амплитудного ограничителя

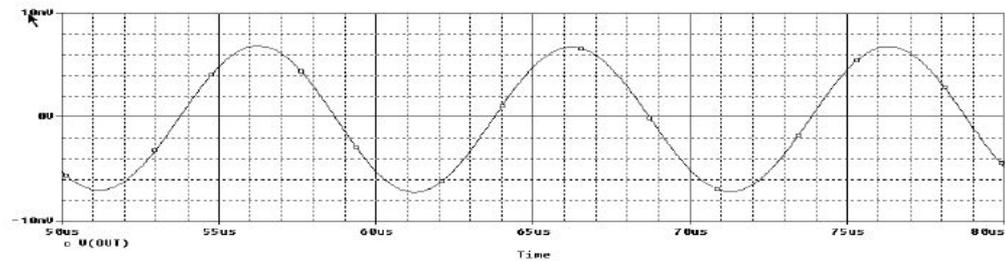
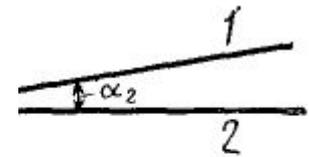
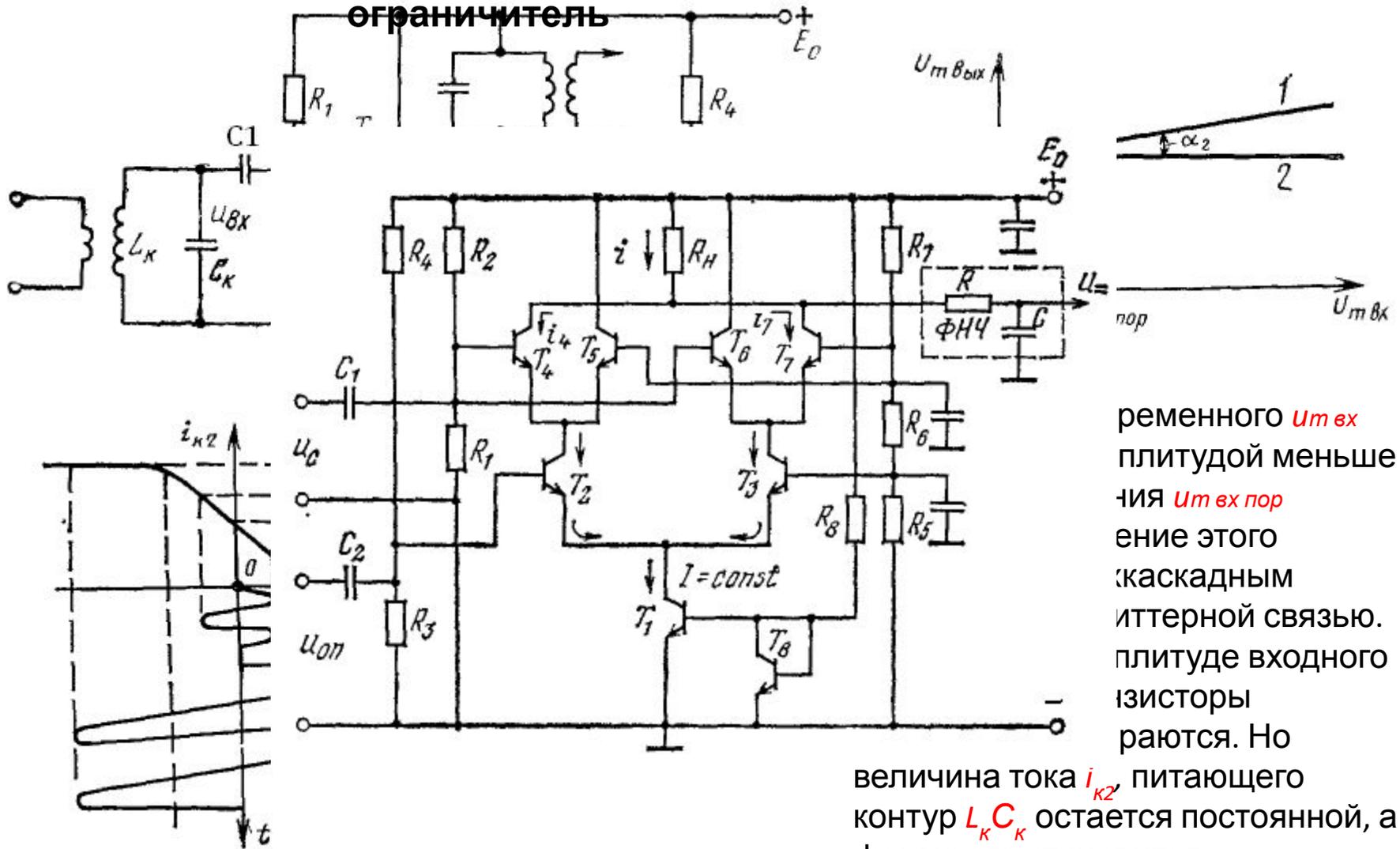


Рис. П2.7. Сигнал на выходе детектора

# Амплитудный ограничитель



ременного  $U_{m \text{ вых}}$  амплитудой меньше  $U_{m \text{ вх пор}}$ . Изменение этого тока осуществляется каскадным эмиттерной связью. Резисторы  $R_1$  и  $R_2$  имеют одинаковую амплитуду входного сигнала. Но

величина тока  $i_{k2}$ , питающего контур  $L_K C_K$  остается постоянной, а форма его становится трапецеидальной. так формируется пологая часть характеристики АО.

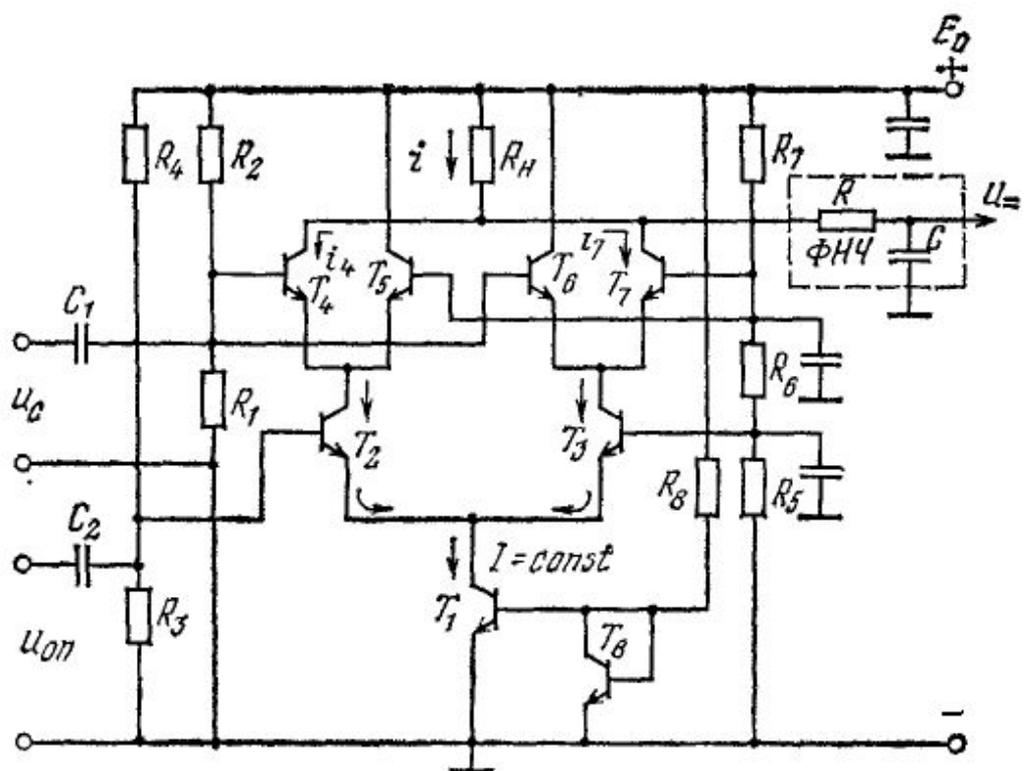


Рис. Фазовый (ключевой) детектор

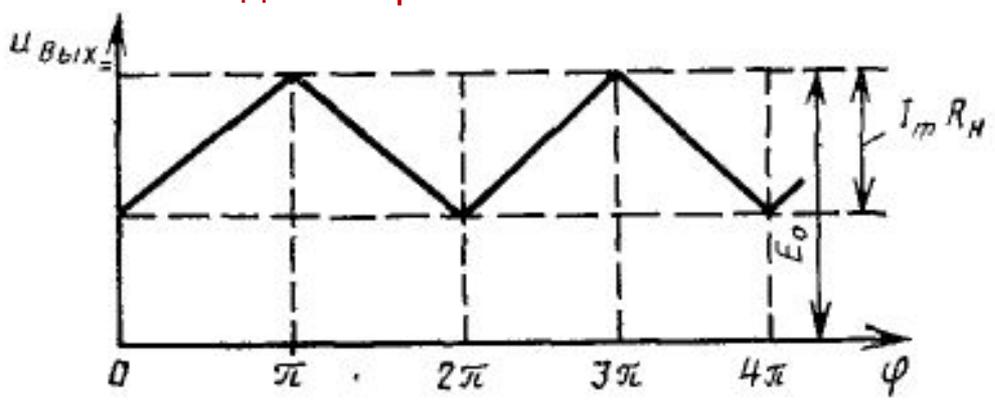


Рис. Детекторная характеристика фазового детектора

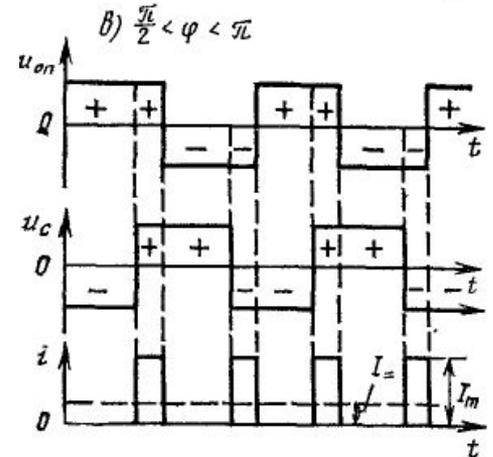
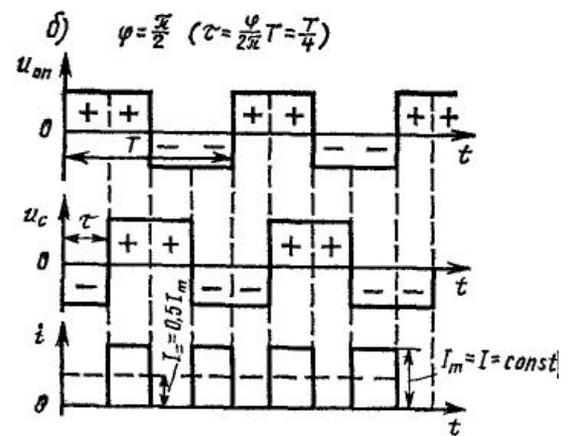
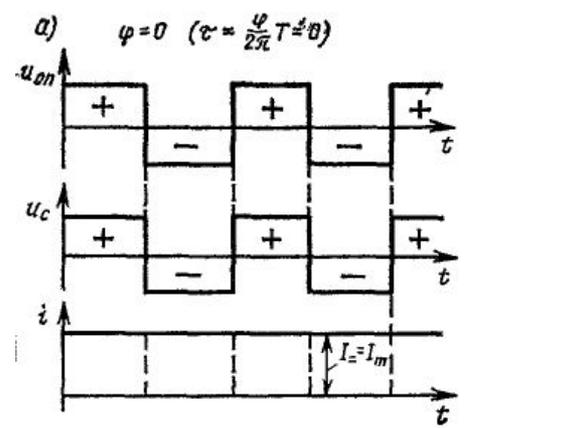


Рис. Временные диаграммы входных напряжений

