

## Лекция 15

### Тема лекции: Автоматическая подстройка частоты в автогенераторах

- Учебные вопросы:
- 1. Классификация и сущность методов АПЧ
- 2. Системы с частотной автоподстройкой частоты.
- 3. Системы с фазовой автоподстройкой частоты.
- 4. Направления совершенствования систем стабилизации частоты

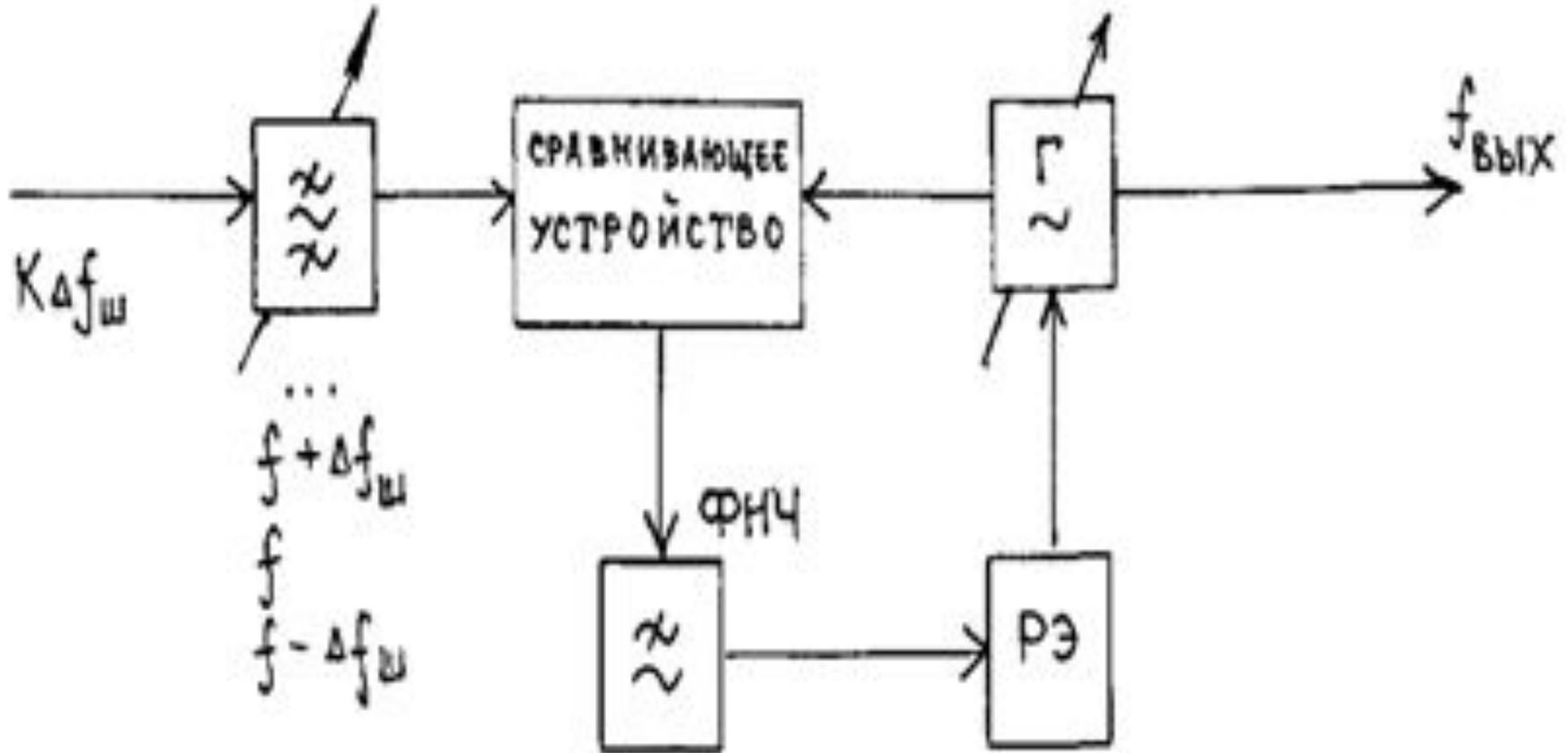
# 1-й вопрос: Классификация и сущность методов АПЧ

1. Методы АПЧ.
2. Обобщённая схема системы АПЧ.
3. Работа схемы системы АПЧ.
4. Сущность статистического метода АПЧ.
5. Сущность разностно-скоростного метода АПЧ.

# Методы АПЧ

- АПЧ относится к группе методов стабилизации частоты путём использования систем автоматического регулирования.
- В настоящее время используются следующие методы автоматической подстройки частоты:
  - 1.Метод ЧАПЧ
  - 2.Метод ФАПЧ
  - 3.Метод ЦАПЧ.
- Примерно пятнадцать лет назад были разработаны и запатентованы ещё два метода стабилизации частоты:
  - - Статистический метод.
  - - Разностно-скоростной метод.
- Часто используются комбинированные методы АПЧ, сочетающие в себе несколько ранее указанных методов одновременно.

# Обобщённая схема системы АПЧ



# Работа схемы системы АПЧ

- Автогенератор Г подстраивается по опорной частоте и играет роль узкополосного фильтра.
- Частота стабилизируемого генератора сравнивается с одной из частот сетки, полученной прямым синтезом. Выходное напряжение сравнивающего устройства по величине и форме зависит от расхождения фаз или частот сравниваемых сигналов. Это напряжение фильтруется узкополосным фильтром нижних частот (ФНЧ) и используется для регулировки частоты генератора с помощью управителя (РЭ, входящего в колебательный контур генератора).
- В зависимости от типа сравнивающего устройства его реакция может быть на разность фаз или разности частот сравниваемых

# Сущность статистического метода АПЧ

Для реализации статистического метода стабилизации частоты необходимо использование группы генераторов, работающих на одной и той же частоте. Сигнал рассогласования формируется на основе статистической обработки измеренных значений частот этих генераторов за один и тот же временной интервал измерений. После чего с полученным средним значением частоты сигнала сравнивается значение частоты выходного сигнала отдельного стабилизируемого генератора, который подстраивается по полученному сигналу

# Сущность разностно-скоростного метода

При реализации разностно-скоростного метода стабилизации частоты статистической обработке подвергаются относительные скорости отклонений от номинальных значений частот выходных сигналов двух генераторов, измеряемых за временной интервал, формируемый третьим генератором. В качестве опорного выбираются генератор, имеющий меньшую относительную скорость ухода его рабочей частоты от номинала.

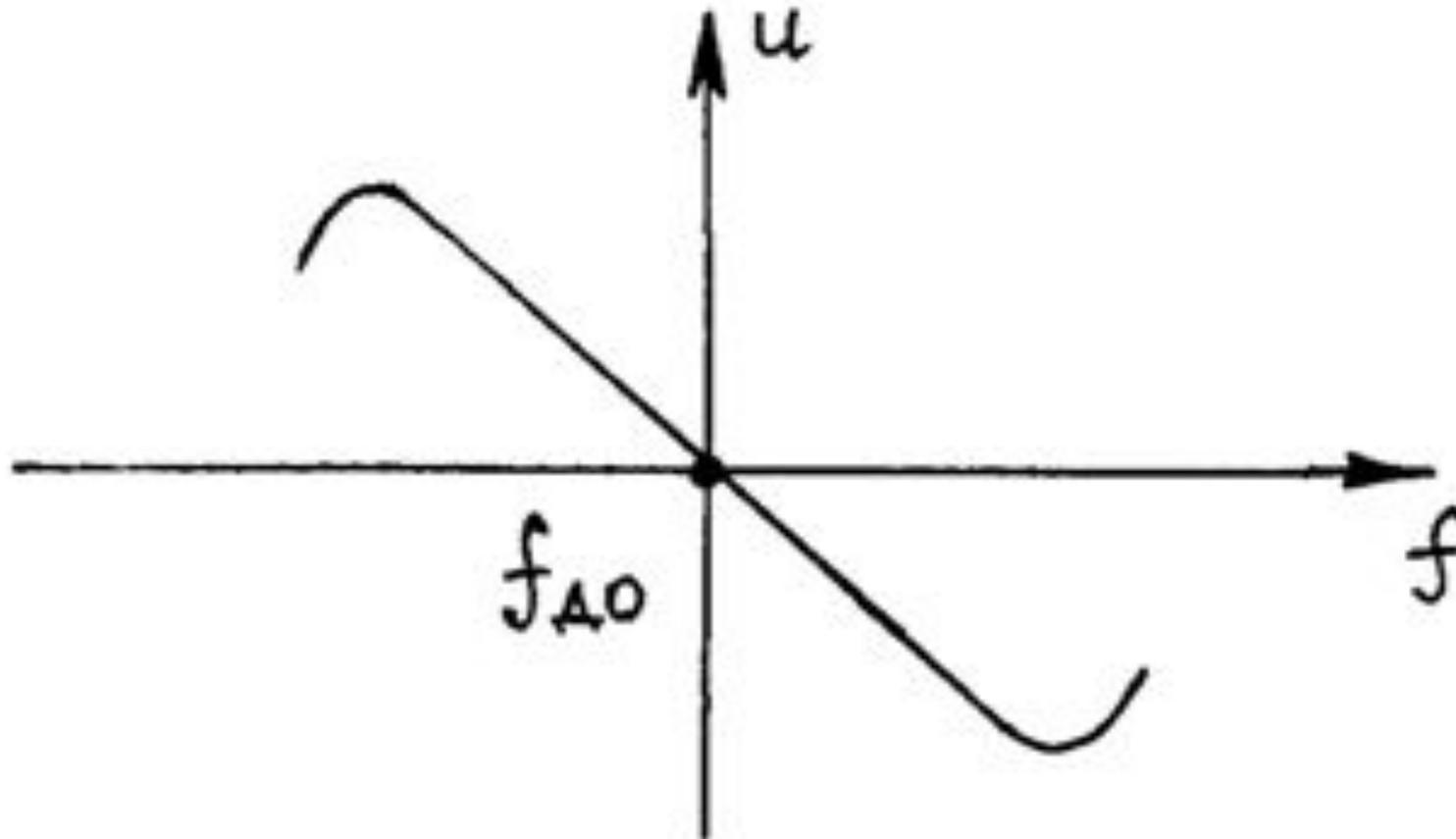
## 2-й вопрос: Системы с частотной автоподстройкой частоты

1. Сущность работы системы ЧАПЧ.
2. Характеристика частотного дискриминатора.
3. Характеристики дискриминатора и управителя.
4. Начальная и остаточная расстройка.
5. Коэффициент ЧАП.
6. Полоса схватывания и полоса удержания ЧАП.
7. Недостатки и применение системы ЧАПЧ.

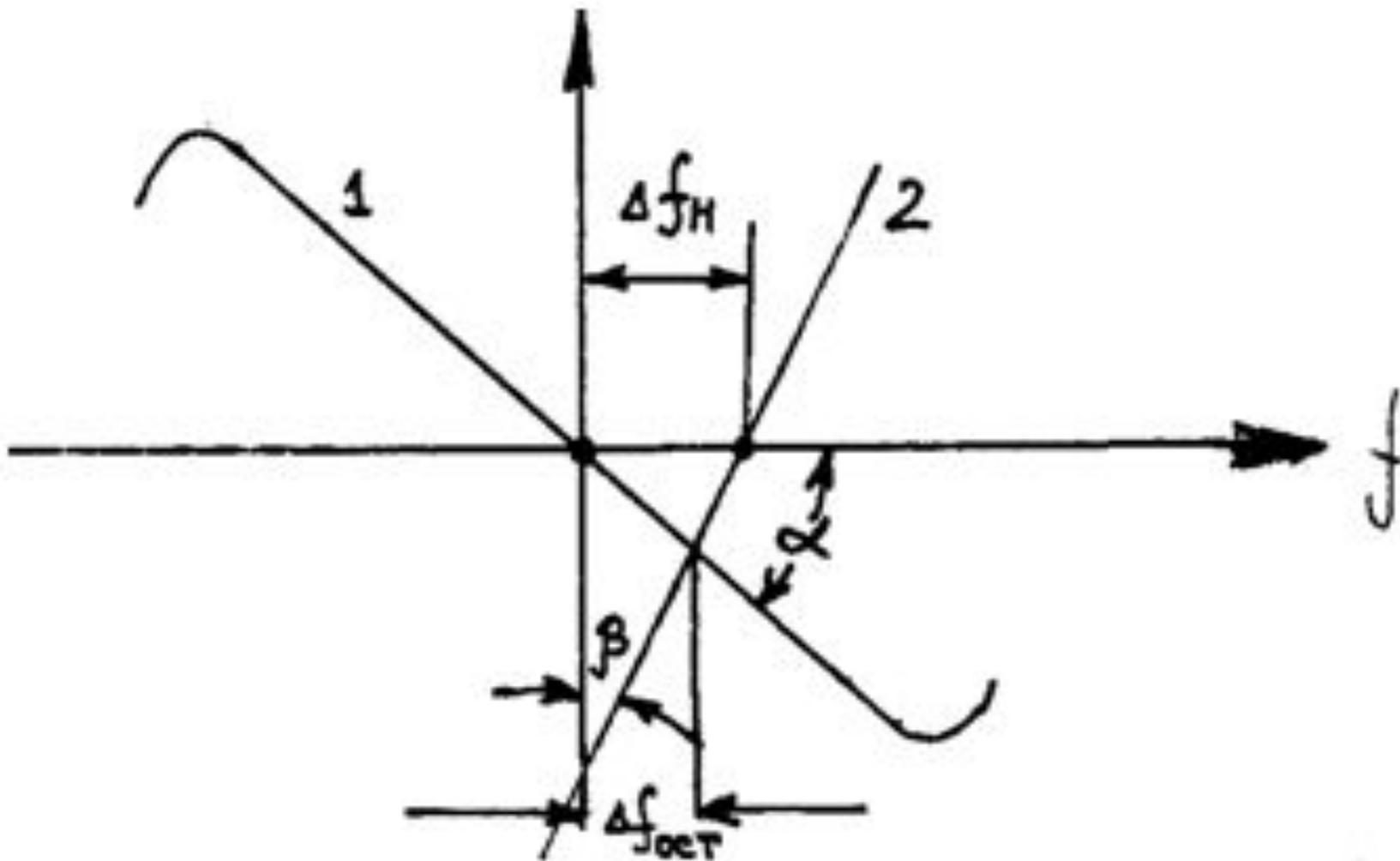
# Сущность работы системы ЧАПЧ

- Сущность работы этих систем АПЧ заключается в следующем: сигнал с выхода стабизируемого генератора  $f_{AG}$  подаётся на частотный дискриминатор, настроенный на эталонное значение частоты  $f_{ЭТ}$ .
- Сигнал на выходе частотного дискриминатора пропорционален величине рассогласования частот  $f_{AG}$  и  $f_{ЭТ}$ , с учетом знака этой разности  $(f_{AG} - f_{ЭТ})$ . Этот сигнал в виде управляющего напряжения подается на устройство управления, которое перестраивает генератор и сводит сигнал рассогласования к минимальному значению.
- В системе ЧАПЧ нет непосредственного сравнения частот. Частота генератора преобразуется в частоту дискриминатора

# Характеристика частотного дискриминатора



# Характеристики дискриминатора и управителя



# Начальная и остаточная расстройка

- Начальная расстройка в системе ЧАП уменьшается, но не сводится к нулю.
- Отношение начальной расстройки к остаточной носит название выигрыша ЧАП или коэффициента ЧАП:  $K_{\text{ЧАП}} = \frac{\Delta f_{\text{н}}}{\Delta f_{\text{ост}}}$
- Величина остаточной расстройки зависит от крутизны характеристик дискриминатора и управителя. Их величины для линейных характеристик равны  $S_{\text{Д}} = \frac{U}{\Delta f_{\text{Д}}} = \text{tg} \alpha$   $(\Delta f_{\text{Д}} = \Delta f_{\text{Г}})$   
 $S_{\text{У}} = \frac{\Delta f_{\text{Г}}}{U} = \text{tg} \beta$

# Коэффициент ЧАП

$K_{\text{ЧАП}}$  можно записать:

$$K_{\text{ЧАП}} = 1 + \frac{\Delta f_H - \Delta f_{\text{ост}}}{\Delta f_{\text{ост}}}$$

Для точки равновесия:

$$\Delta f_H - \Delta f_{\text{ост}} = -US_y$$

$$\Delta f_{\text{ост}} = -\frac{U}{\text{tg}\alpha} = -\frac{U}{S_D}$$

После подстановки получим:

$$K_{\text{ЧАП}} = 1 - S_y S_D$$

Т.к. должно выполняться неравенство  $K_{\text{ЧАП}} > 1$ , то  $S_y$  и  $S_D$  должны иметь противоположные знаки. С учетом этого

записывают:

$$K_{\text{ЧАП}} = 1 + S_y S_D$$

# Полоса схватывания и полоса удержания

## ЧАП

- Т.к. система ЧАП является замкнутой системой с обратной связью, то предел возможного увеличения  $S_y S_d$  определяется началом ее самовозбуждения.
- Для ЧАП существует понятие «полосы схватывания» и «полосы удержания».
- «Полоса схватывания» ЧАП определяется максимальной начальной расстройкой подстраиваемого генератора, при которой обеспечивается подстраивающее действие системы ЧАП (при любых начальных условиях).
- «Полоса удержания» ЧАП определяется максимальной расстройкой подстраиваемого генератора, для которой сохраняется подстраивающее действие в процессе

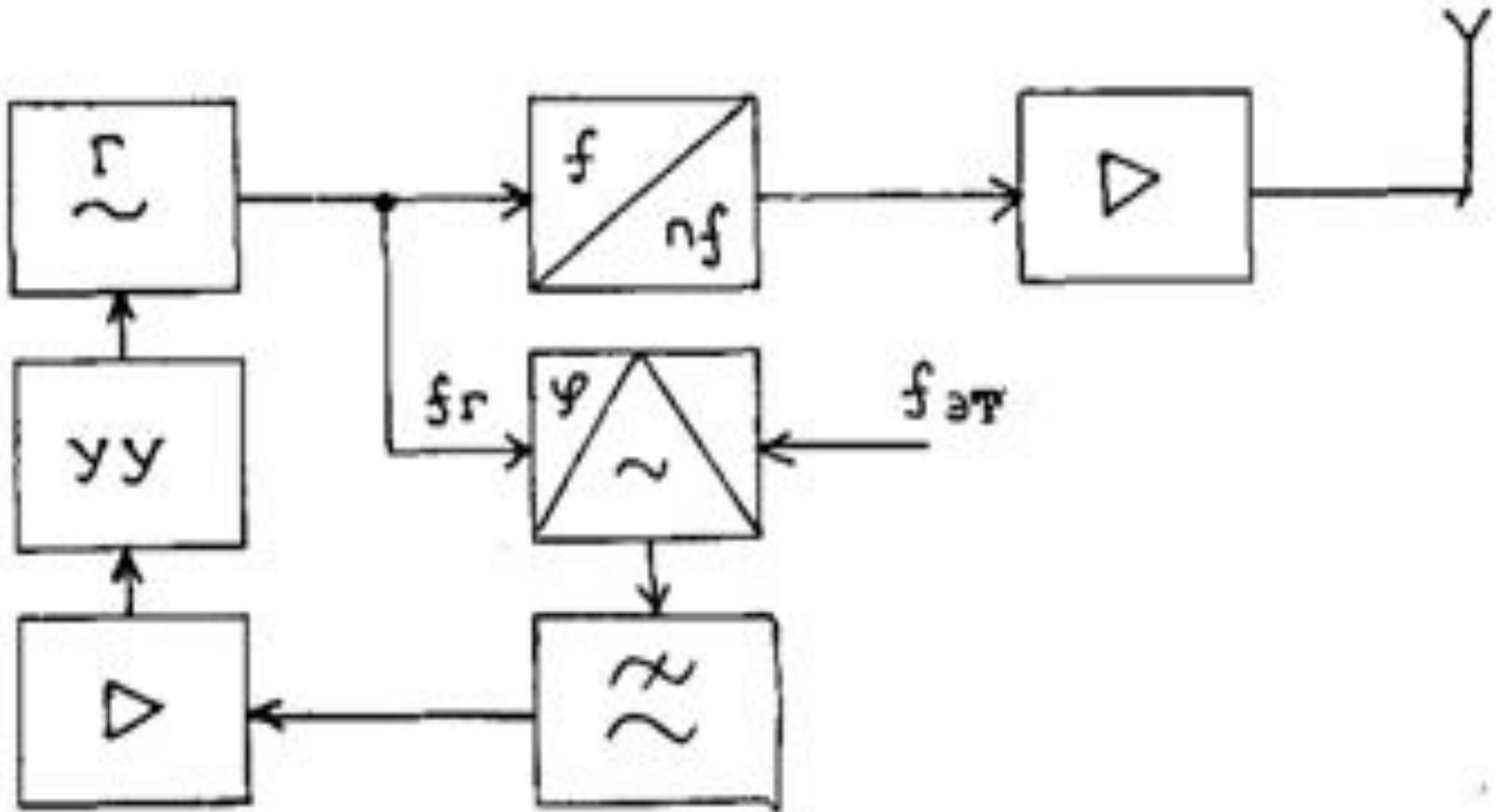
# Недостатки и применение системы ЧАПЧ

- Между опорной составляющей сетки  $f$  и комбинационными колебаниями  $f + F$  возникают биения. Амплитудные биения ограничиваются амплитудным ограничителем, а частотные – детектируются дискриминатором, поэтому колебания с частотой  $F$  накладываются на управляющее напряжение. Если эта частота выше частоты среза ФНЧ, то она отфильтруется, а если ниже, то промодулирует колебания подстраиваемого генератора.
- В случае возникновения паразитной частотной модуляции колебаний подстраиваемого генератора и соблюдения условий, что частота модуляции лежит ниже частоты среза ФНЧ, девиация частоты уменьшается (произойдет демодуляция).
- Система ЧАП обладает хорошими фильтрующими свойствами, но её недостаток, заключающийся в наличии остаточной расстройки, делает её неприменимой в синтезаторах частот.
- Чаще всего ЧАП играет вспомогательную роль.

## **2-й вопрос: Системы с фазовой автоподстройкой частоты**

- 1. Схема системы ФАПЧ.**
- 2. Работа системы ФАПЧ.**
- 3. Характеристика фазового детектора.**
- 4. Характеристика управителя.**
- 5. Полоса схватывания и полоса удержания ФАПЧ.**

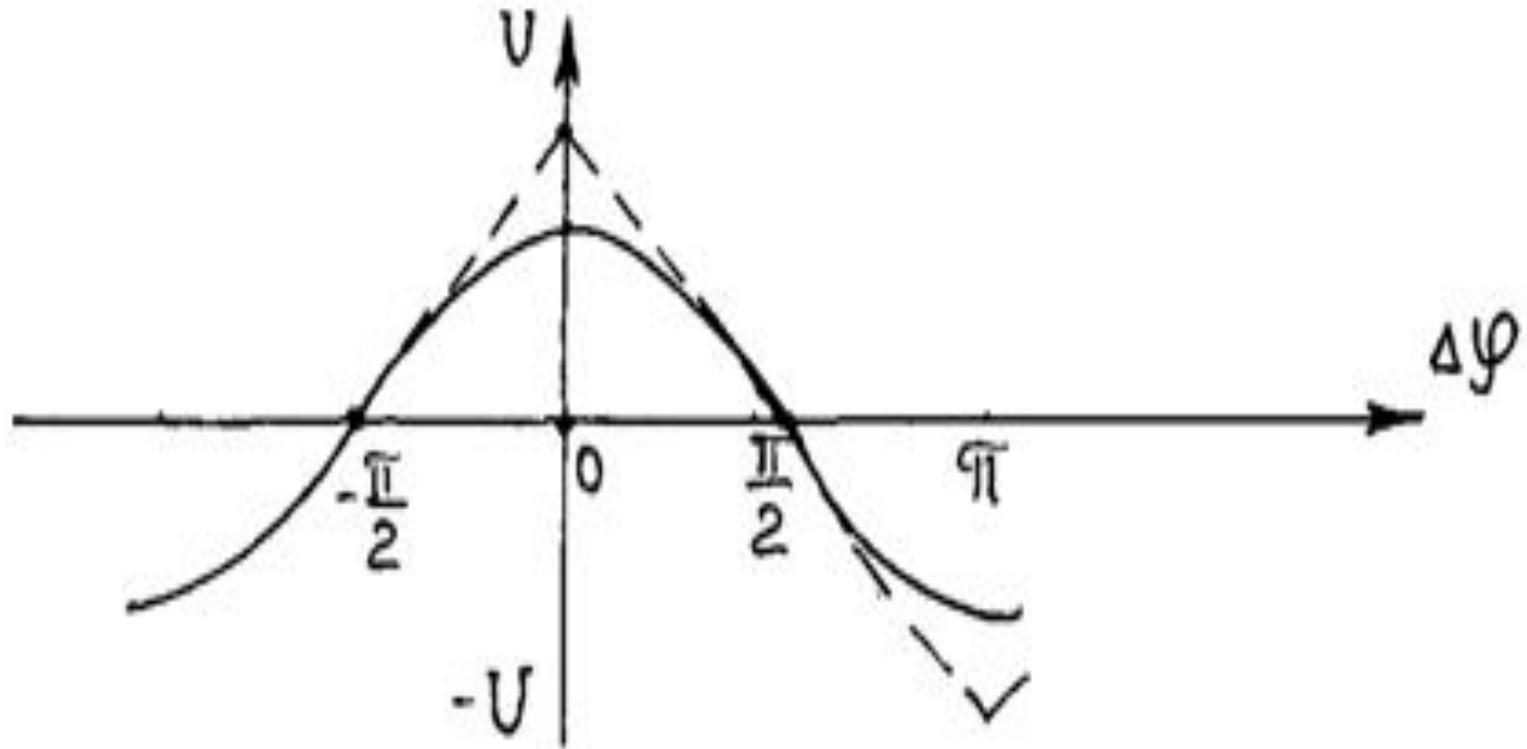
# Схема системы ФАПЧ



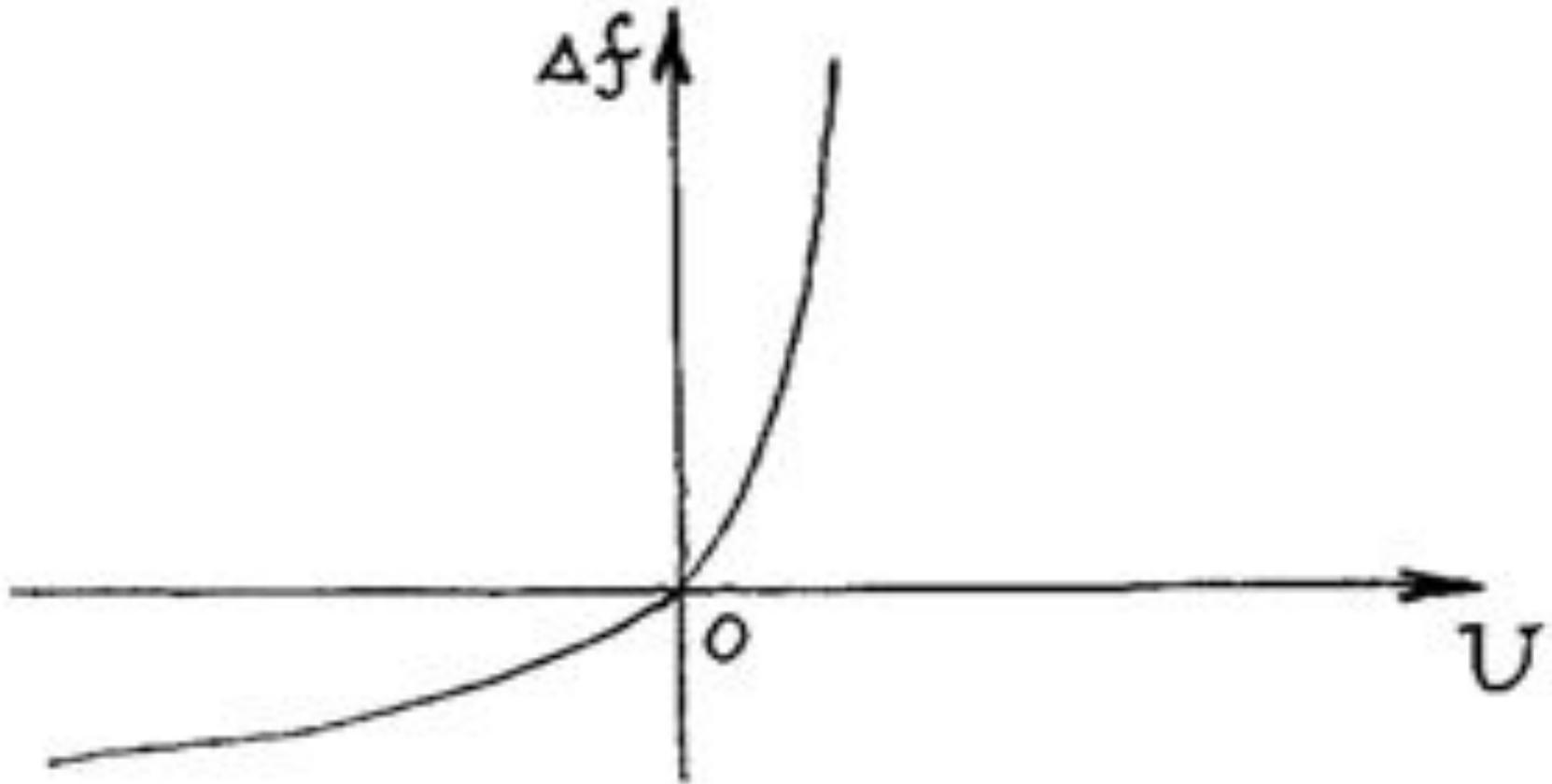
# Работа системы ФАПЧ

- Для нормальной работы ФАПЧ на фазовый детектор подаются 2 сигнала: с выхода генератора и от опорного (эталонного) генератора. На выходе ФД сигнал по величине и знаку разности фаз, подаваемых на его вход колебаний. Этот сигнал фильтруется, усиливается и подаётся на УУ, которое управляет фазой генератора и компенсирует имеющийся фазовый сдвиг.
- Схема ФАПЧ может быть выполнена с предварительным преобразованием частоты  $f$ .
- Закон изменения выходного напряжения детектора от разности фаз подводимых колебаний может быть различным. Чаще всего используют ФД с косинусоидальной

# Характеристика фазового детектора



# Характеристика управителя



# Полоса схватывания и полоса

## удержания

- Удвоенное значение разности  $/ f_{\Gamma} - f /$ , при которой происходит схватывание, если изменение её шло от большей величины к меньшей, называется полосой схватывания или захвата ФАПЧ (удвоенное значение потому, что подводить  $f_{\Gamma}$  к  $f$  можно с двух сторон).
- Удвоенное значение разности  $/ f_{\Gamma} - f /$ , при которой происходит срыв подстройки частоты, если изменение её шло от меньшей величины к большей, называется полосой удержания ФАПЧ.
- Полоса удержания ФАПЧ значительно превосходит полосу захвата.
- Расширению полосы удержания есть предел, который определяется устойчивостью

**4-й вопрос: Направления совершенствования систем стабилизации частоты**

- 1. Направления совершенствования систем АПЧ.**
- 2. Актуальное направление работы по совершенствованию систем АПЧ.**

# Направления совершенствования систем АПЧ

- -снижения габаритов, массы, энергопотребления;
- -обеспечение высокой устойчивости к воздействию внешних факторов;
- -применение микроминиатюрной элементной базы;
- -применение новых материалов;
- -применение цифровых систем преобразования частоты и микропроцессоров;
- -использование новых физических явлений и эффектов;
- -использование комбинированных систем стабилизации частоты, сочетающих например атомные генераторы, обеспечивающие высокую долговременную стабильность частоты и кварцевые генераторы, обеспечивающие высокую кратковременную стабильность;
- -одним из важных направлений стабилизации частоты генераторов является использование спутниковых систем синхронизации.

# Актуальное направление работы по совершенствованию систем АПЧ

Актуальной является задача стабилизации частоты генераторов до уровня, соответствующего атомным стандартам частоты при сравнительно малых массо-габаритных характеристиках, энергопотреблении и стоимости генераторов. Одним из интересных и перспективных направлений совершенствования систем стабилизации частоты является использование методов статистической обработки выходных сигналов генераторов из группы генераторов, при измерении параметров их выходных сигналов за один и тот же временной интервал измерений. Математическое моделирование показывает