

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

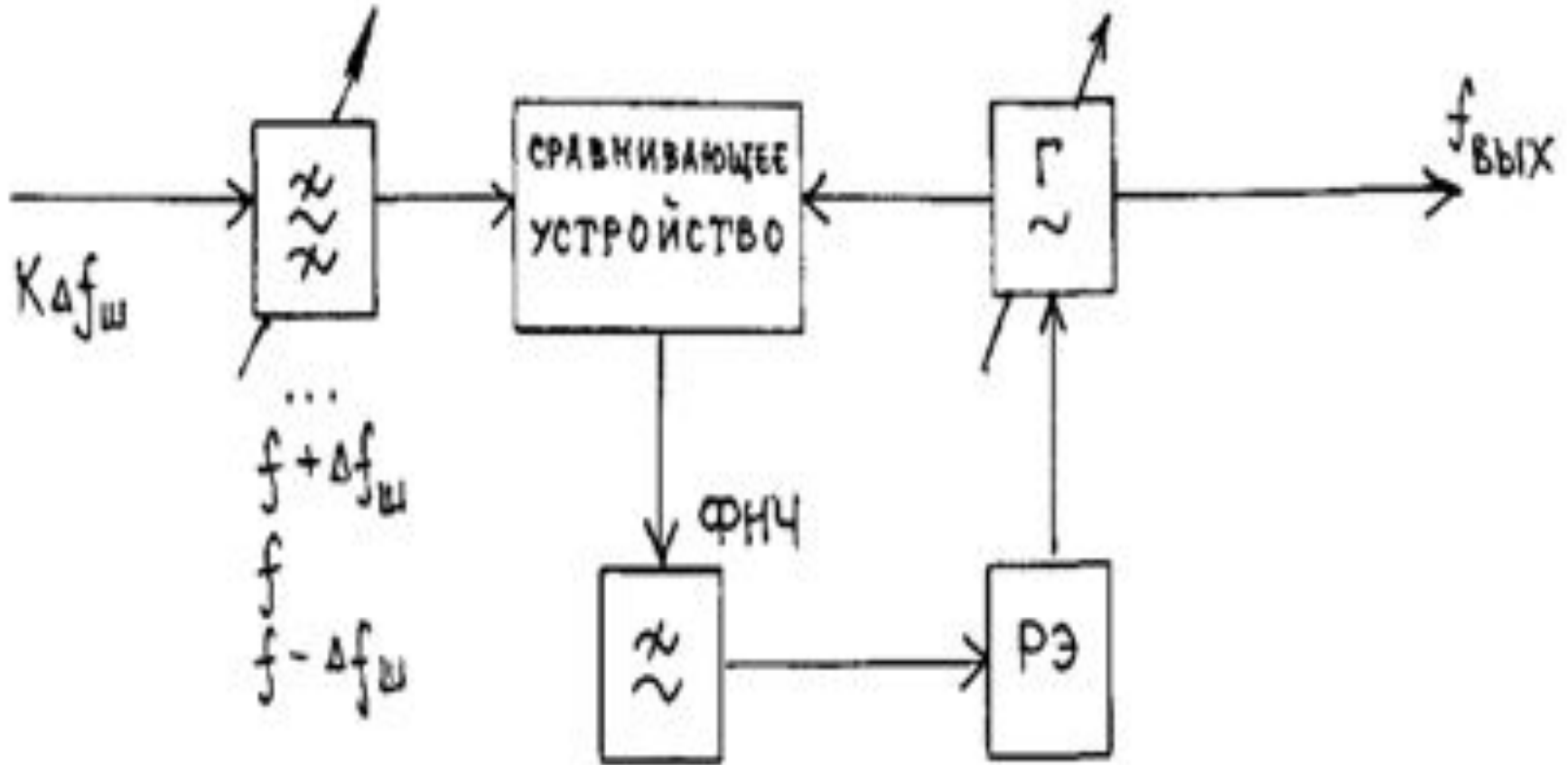
1-й вопрос: Классификация и сущность методов АПЧ

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.

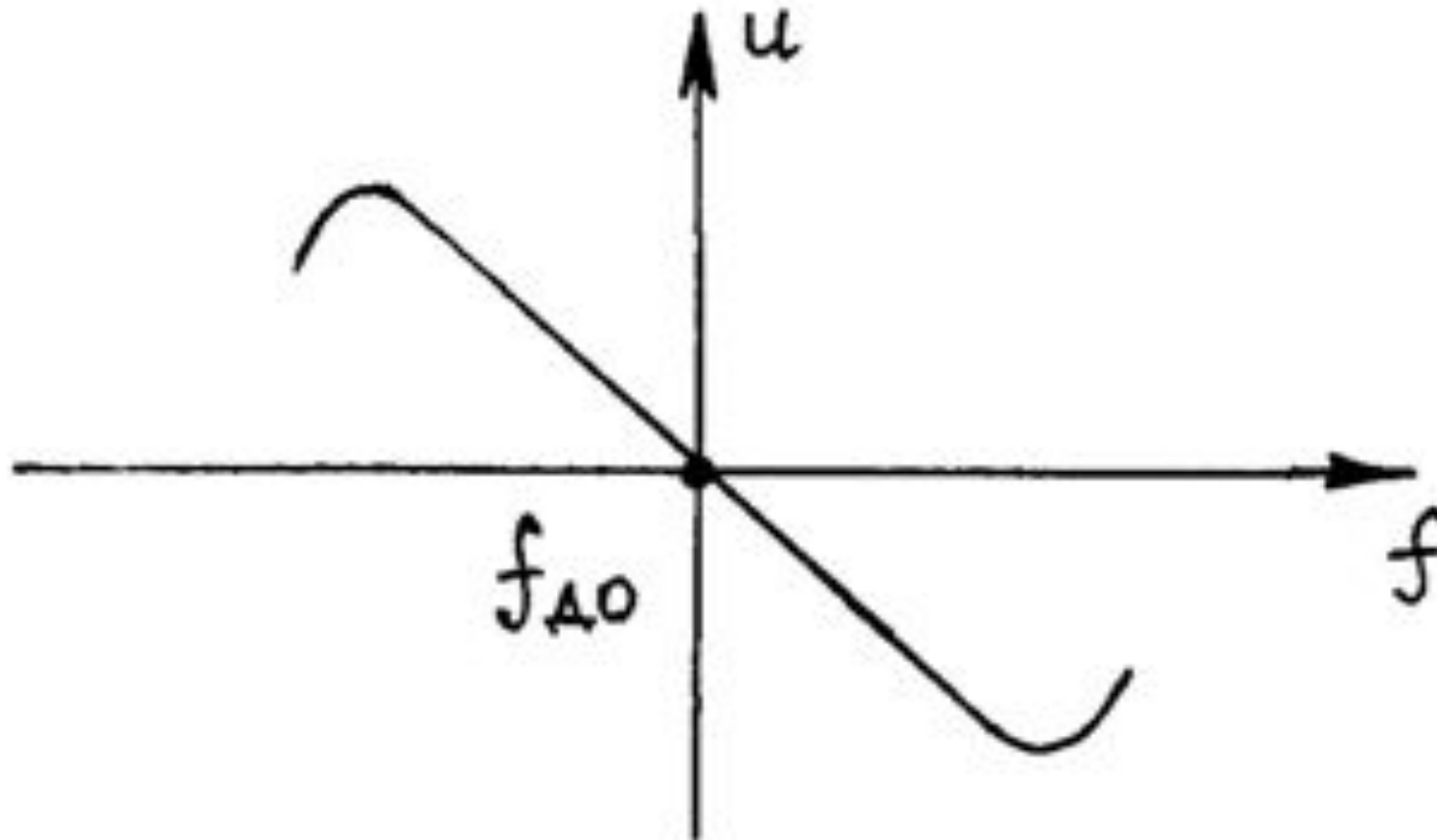
2-й вопрос: Системы с частотной автоподстройкой частоты

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.

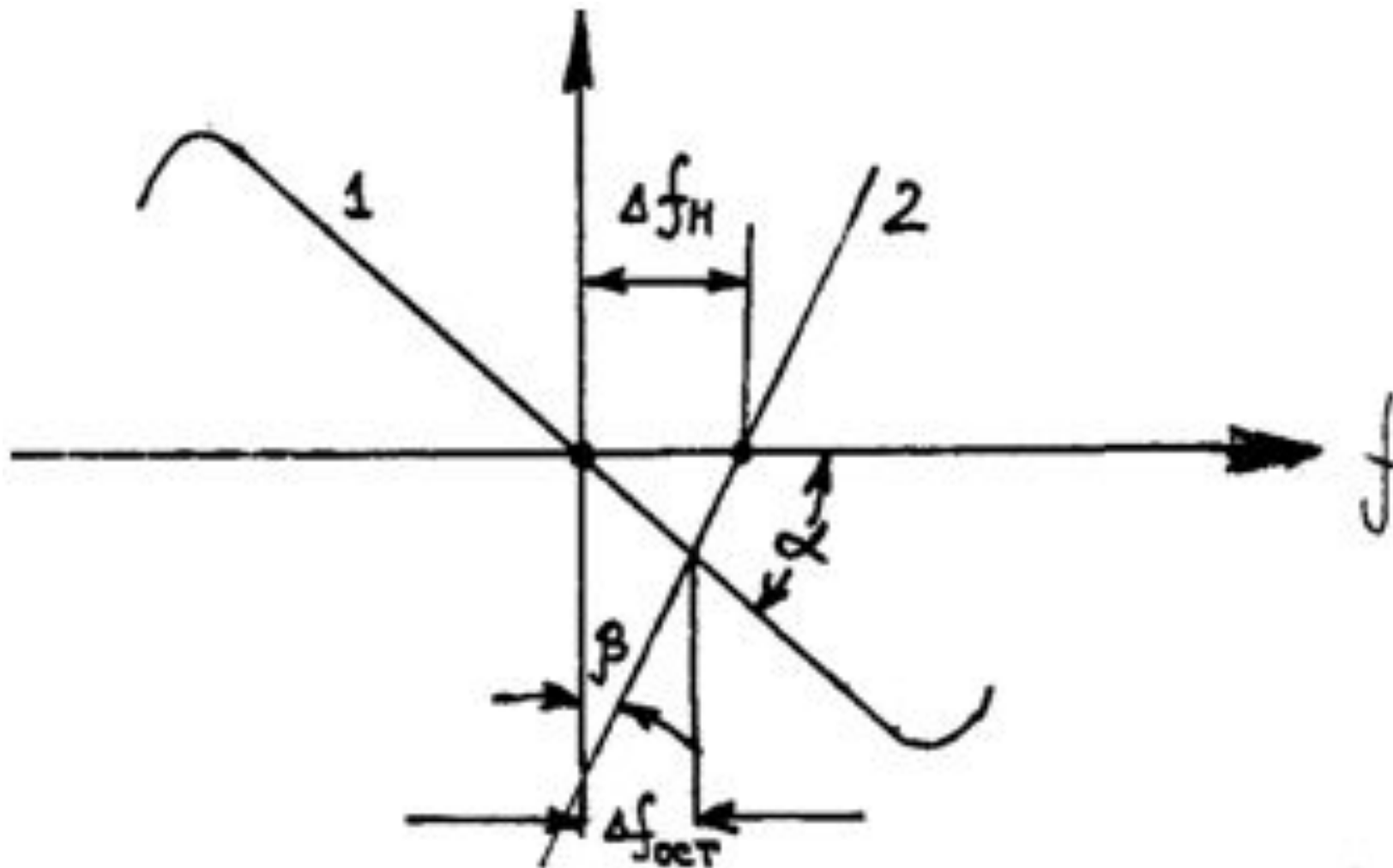
Сущность работы системы ЧАПЧ

- 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:

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

Для точки равновесия:

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

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

После подстановки получим:

$$K_{\text{ЧАП}} = 1 - S_y S_{\text{Д}}$$

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

записывают:

$$K_{\text{ЧАП}} = 1 + S_y S_{\text{Д}}$$

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

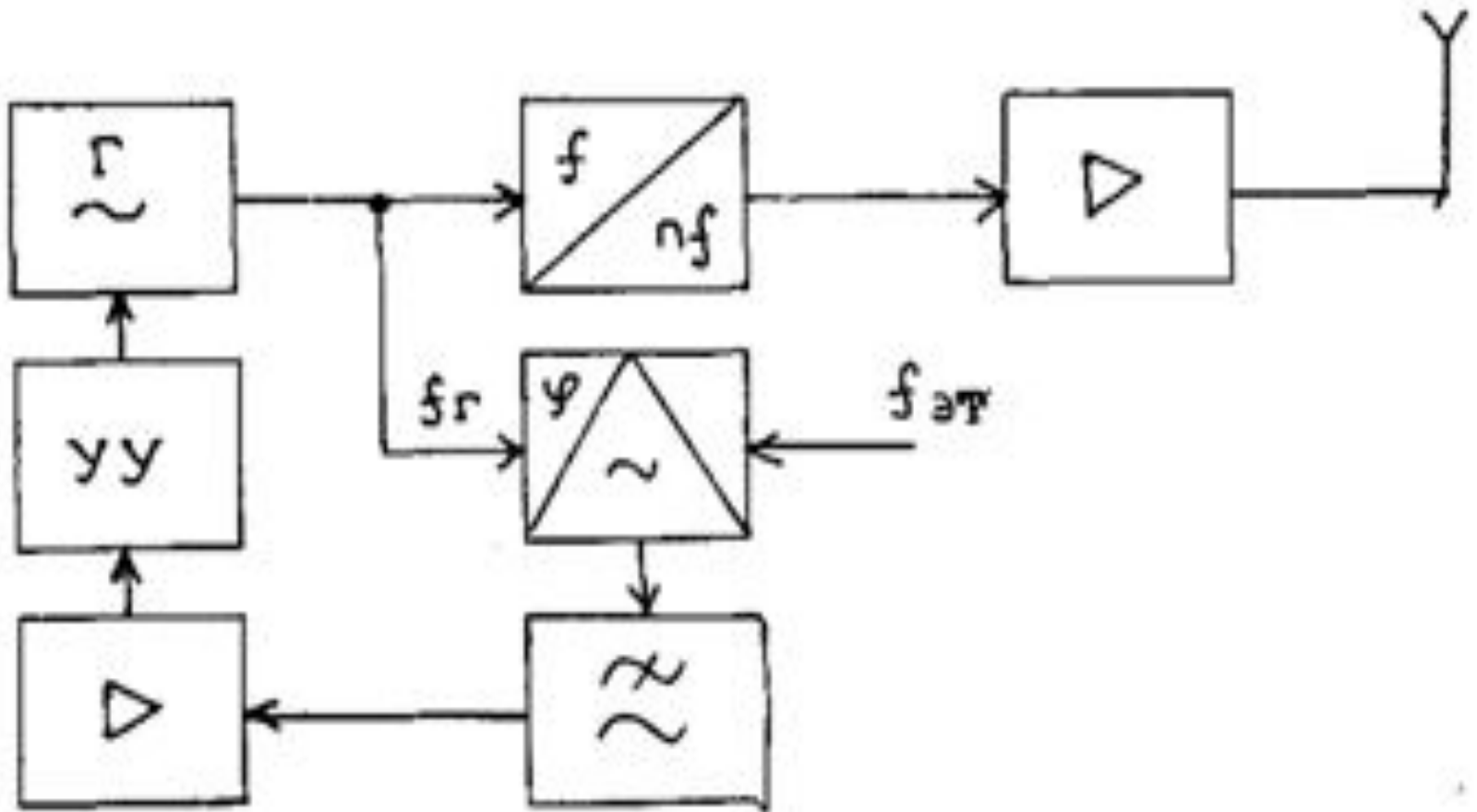
Недостатки и применение системы ЧАПЧ

- 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.

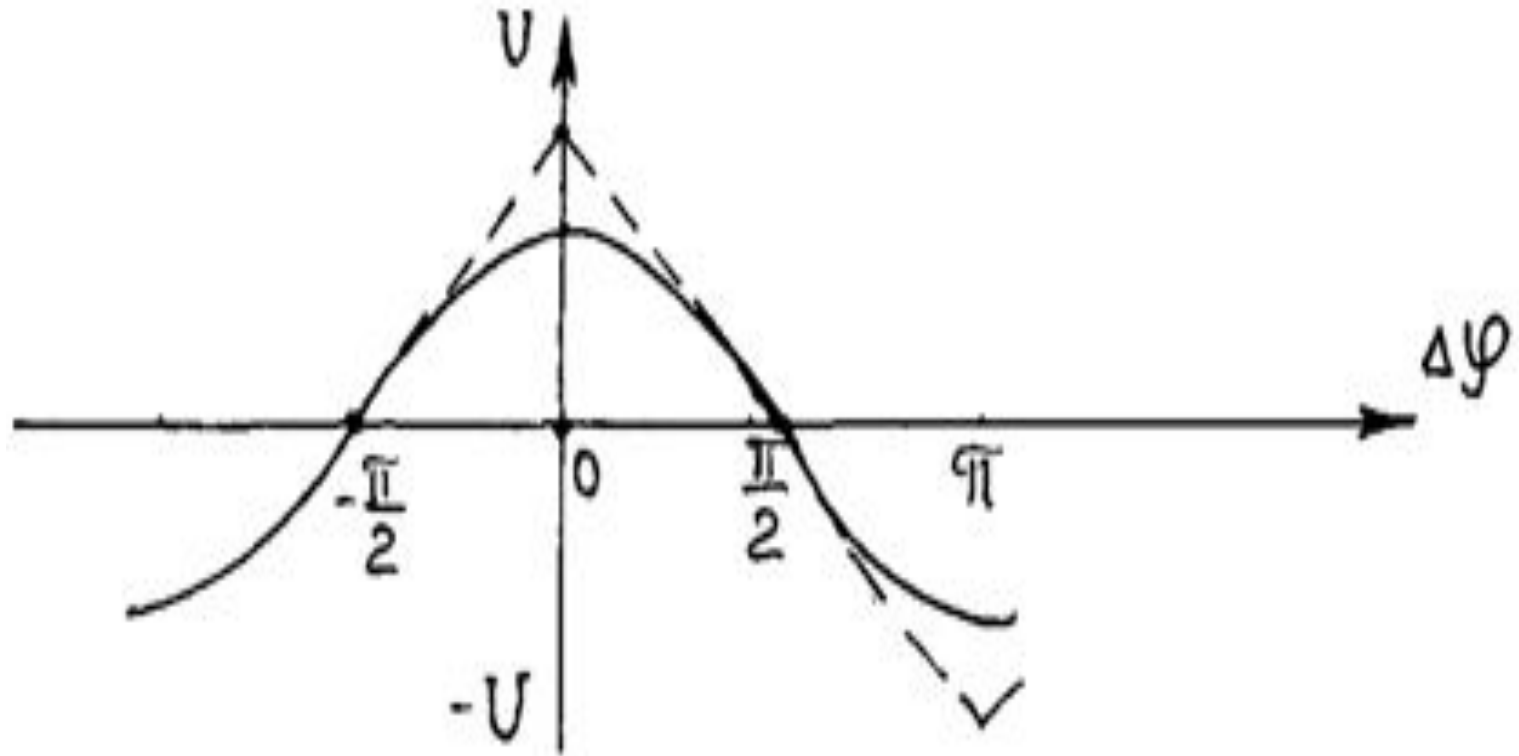
Схема системы ФАПЧ



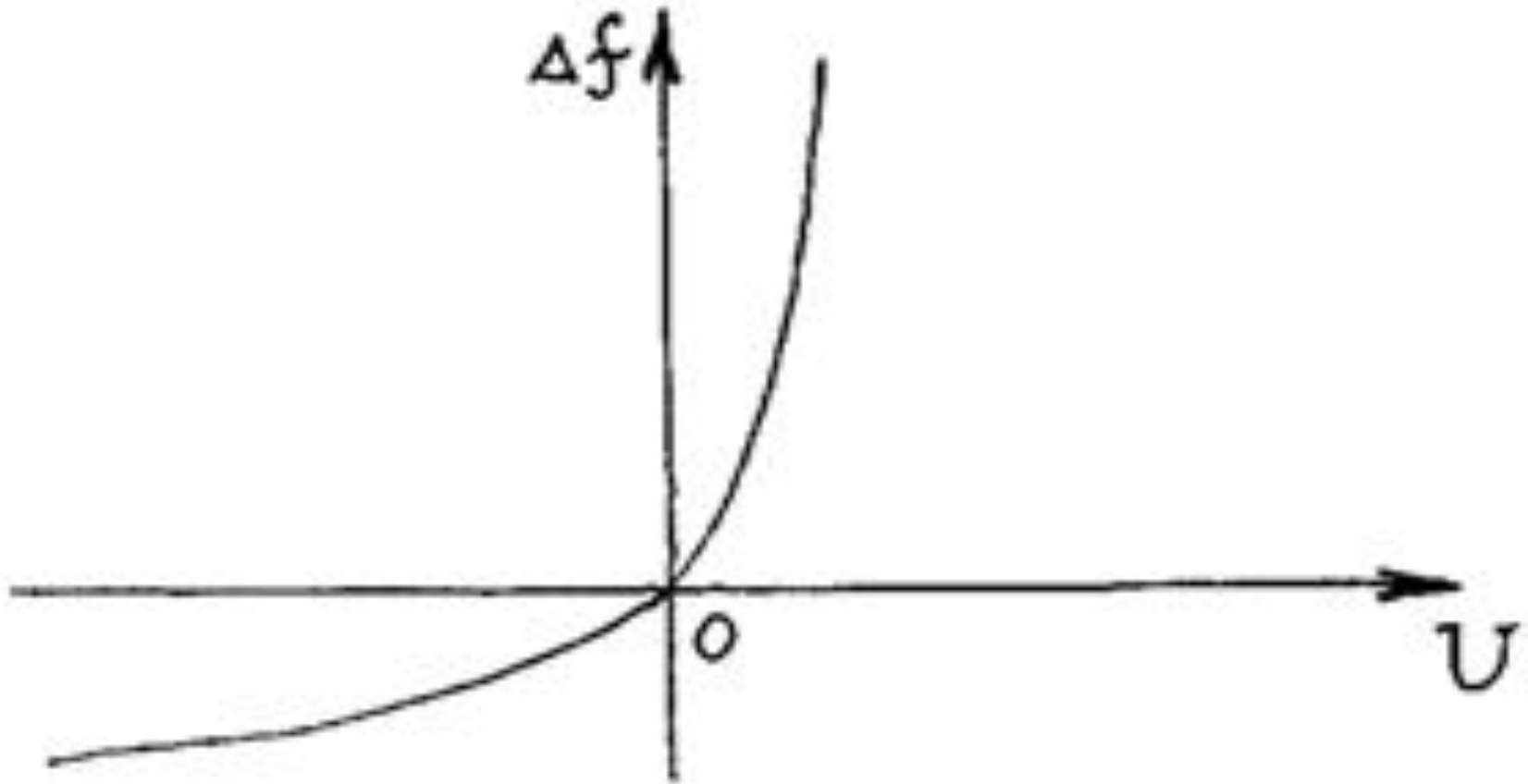
Работа системы ФАПЧ

- 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_{Γ} 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