



**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАТИКИ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

**ФАКУЛЬТЕТ РАДИОТЕХНИКИ И
ЭЛЕКТРОНИКИ**

**КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННЫХ
РАДИОТЕХНОЛОГИЙ**



Радиоприёмные устройства

Слайд-шоу для цикла лекций по дисциплине РПрУ

Доцент кафедры ИРТ , к.т.н.

КУРОЧКИН АЛЕКСАНДР ЕВДОКИМОВИЧ

kurochkin@bsuir.by

Литература

Курочкин А.Е. Теоретические основы активных магнитных антенн: Учебно-методическое пособие по дисциплине "Радиоприемные устройства" для студентов специальности "Радиотехника". В 2-х ч. Ч. 1: Шумовые параметры входных каскадов радиоприемных устройств с магнитной антенной.-Минск, БГУИР, 2002.

Курочкин А.Е. Теоретические основы активных магнитных антенн: Учебно-методическое пособие по дисциплине "Радиоприемные устройства" для студентов специальности "Радиотехника". В 2-х ч. Ч.2:Нелинейные характеристики входных каскадов радиоприемных устройств с магнитной антенной.-Минск, БГУИР, 2003.

Курочкин А.Е. Методы анализа и расчета аналоговых электронных устройств: Метод. Пособие по курсовому и дипломному проектированию.-Мн.:БГУИР, 1994.-34 с.

Курочкин А.Е. Методы проектирования линейных активных фильтров: Метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию.-Мн.:БГУИР, 1995.-46 с.

Курочкин А.Е. Диаграмма Вольперта-Смита. Расчет и анализ характеристик усилителей радиосигналов . Методическое пособие по дисциплине "Радиоприемные устройства" для студ. спец. "РТ", "РЭС", "РИ", "РЭЗИ" днев. формы обуч.– Мн.: БГУИР, 2009.-40 с.

Курочкин, А.Е. Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине Радиоприёмные устройства / А.Е.Курочкин [Электронный ресурс]. – Минск : БГУИР, 2016. – Режим доступа [http://erud.bsuir.by/files/fre/kaf%20ir/RPrU%20\(E-1275\).rar](http://erud.bsuir.by/files/fre/kaf%20ir/RPrU%20(E-1275).rar)
[http://erud.bsuir.by/files/fre/kaf%20ir/MiUPiOS%20\(E-1299\).rar](http://erud.bsuir.by/files/fre/kaf%20ir/MiUPiOS%20(E-1299).rar)

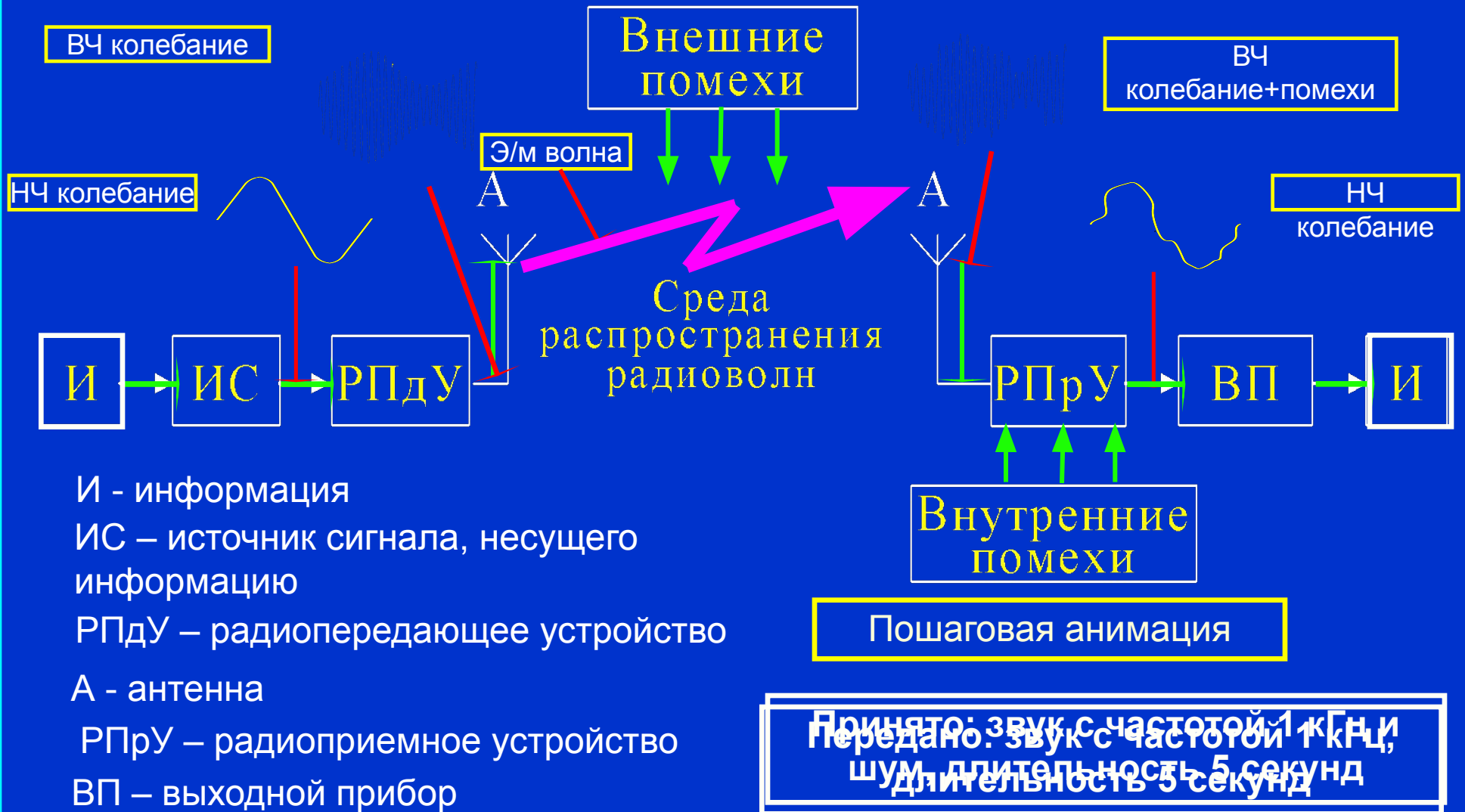
Диапазоны волн

$$\tilde{f}_{\min} = 0,3 \cdot 10^{\times} \div 3^N \cdot 10^{\times N}$$

N	Название диапазона по виду частоты	Название диапазона по рекомендации МККР	Длина волны
4	ОНЧ– очень низкие частоты	Мириаметровые (СДВ)	100÷10 км
5	НЧ – низкие частоты	Километровые (ДВ)	10÷1 км
6	СЧ – средние частоты	Гектометровые (СВ)	1000÷100 м
7	ВЧ – высокие частоты	Декаметровые (КВ)	100÷10 м
8	ОВЧ–очень высокие частоты	Метровые (УКВ)	10÷1 м
9	УВЧ–ультравысокие частоты	Дециметровые	100÷10 см
10	СВЧ–сверхвысокие частоты	Сантиметровые	10÷1 см
11	КВЧ–крайневысокие частоты	Миллиметровые	10÷1 мм
12	ГВЧ–гипервысокие частоты	Децимиллиметровые	1÷0.1 мм

Часть 1. Основные параметры и классификация

Система радиосвязи



И - информация

ИС – источник сигнала, несущего информацию

РПдУ – радиопередающее устройство

А - антенна

РПрУ – радиоприемное устройство

ВП – выходной прибор

Пошаговая анимация

Принято: звук с частотой 1 кГц и шум, длительность 5 секунд
 Передано: звук с частотой 1 кГц, длительность 5 секунд

КЛАССИФИКАЦИЯ РПрУ

1. По основному назначению:

профессиональные и радиовещательные (бытовые)

2. По рабочему диапазону частот.

3. По виду модуляции принимаемых сигналов:

АМ, ЧМ, ФМ, ИМ и т.д.

4. По месту установки:

стационарные, бортовые, автомобильные, переносные.

5. По способу управления:

с ручным управлением, автоматическим управлением, дистанционным.

6. По виду питания:

сетевые приемники, батарейные приемники, приемники с универсальным питанием.

7. По элементной базе:

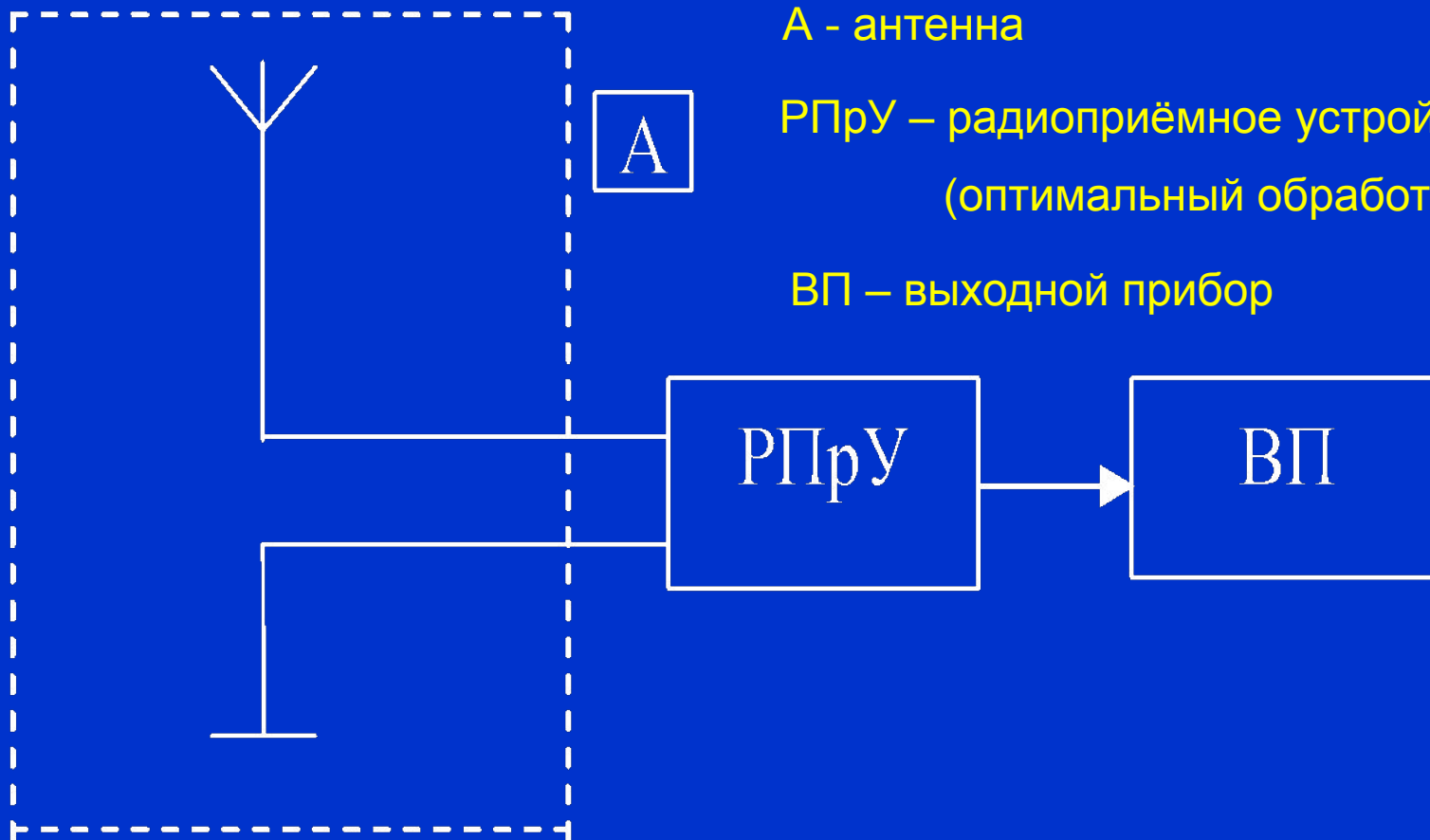
ламповые, транзисторные, на ИС, на БИС.

8. По структурной схеме.

ОСНОВНЫЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ

- 1. Улавливание внешних электромагнитных волн, их преобразование в высокочастотные модулированные электрические колебания и передача к входу РПрУ.**
- 2. Оптимальная обработка принятой смеси полезного сигнала и помех с целью получения низкочастотного электрического сигнала, соответствующего передаваемому сообщению.**
- 3. Преобразование низкочастотного электрического сигнала в сообщение.**

УКРУПНЁННАЯ СТРУКТУРА РПрУ



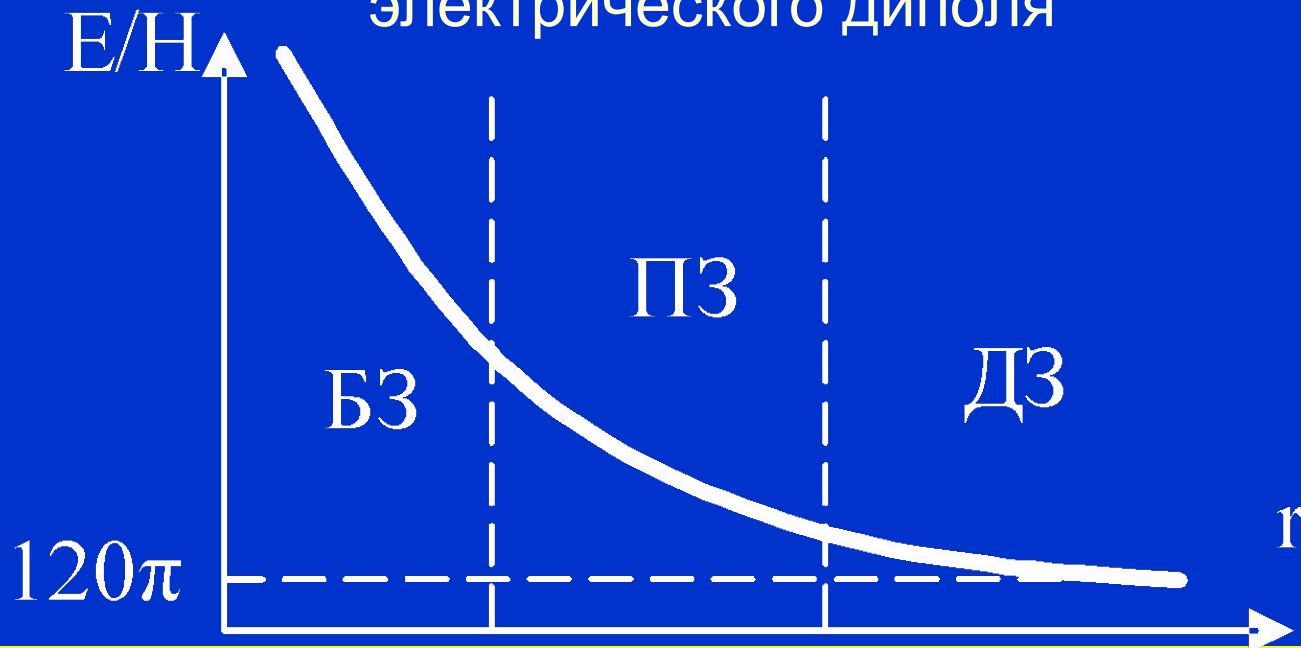
А - антенна

РПрУ – радиоприёмное устройство
(оптимальный обработчик)

ВП – выходной прибор

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Соотношение модулей векторов э/м поля
электрического диполя



1. Для снижения уровня нежелательного сигнала от передающей электрической антенны в её ближней зоне прием следует вести на магнитную антенну

2. Если передающая помеху антенна является магнитной, то в этом случае в её ближней зоне прием следует вести на электрическую антенну

ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ РПрУ

1. **Селективность (избирательность):**
пространственная (различие в пространственном размещении передающих станций);
временная (временное разделение каналов - TDMA);
частотная (частотное разделение каналов - FDMA).

2. **Усиление:**

$$K = \frac{B}{\text{мкВ}} = 1000000$$

Столько нужно для работы
выходного прибора
Столько может быть на
входе РПрУ

3. **Преобразование частоты**

4. **Детектирование:**

по виду модуляции – АМ, ЧМ, ФМ, ИМ и т.д.

5. **Декодирование:**

декодеры стереосигналов, декодеры сигналов
цветности в телевидении.

6. **Адаптация:**

АРУ, АПЧ, ФАПЧ, АРЧ и т.д.

Функция адаптации РПрУ

Адаптация – обеспечение работоспособности РПрУ в изменяющихся условиях приема с целью сохранения заданных характеристик полезного сигнала.

Системы управления и адаптации РПрУ

```
WARNING: NOTHING TO OUTPUT  
BFRAME DECODER LAG
```

РПрУ без системы АПЧ

Системы управления и адаптации РПрУ

```
WARNING: NOTHING TO OUTPUT  
BFRAME DECODER LAG
```

РПрУ РПрУ с РПрУ с
системой АПЧ

Система автоматического поиска и БШН

```
WARNING: NOTHING TO OUTPUT  
BFRAME DECODER LAG
```

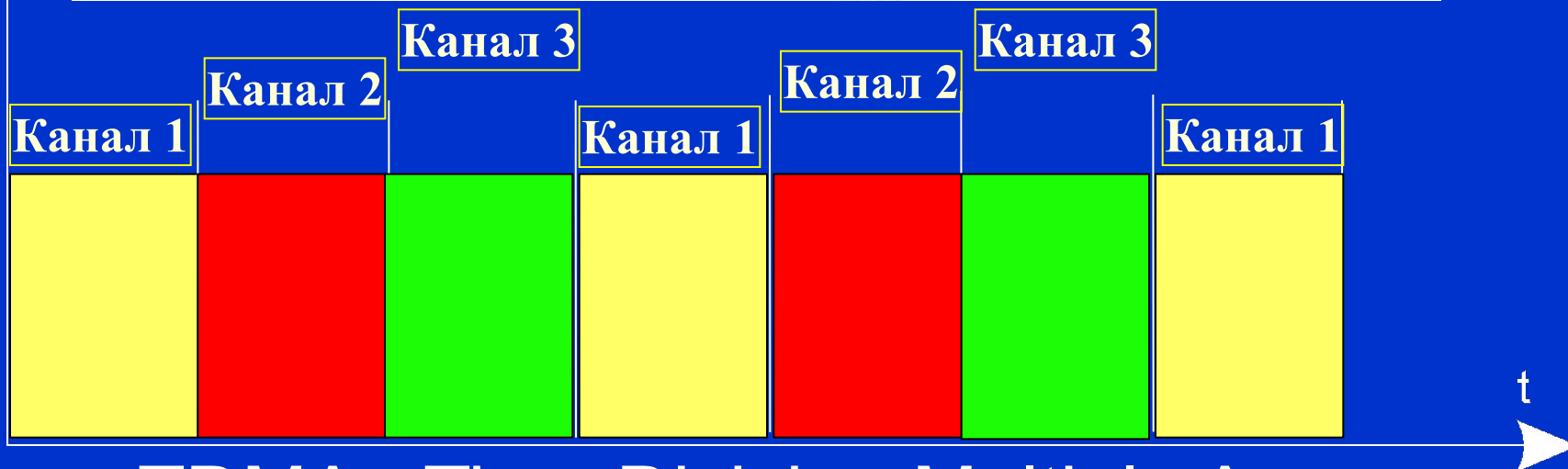
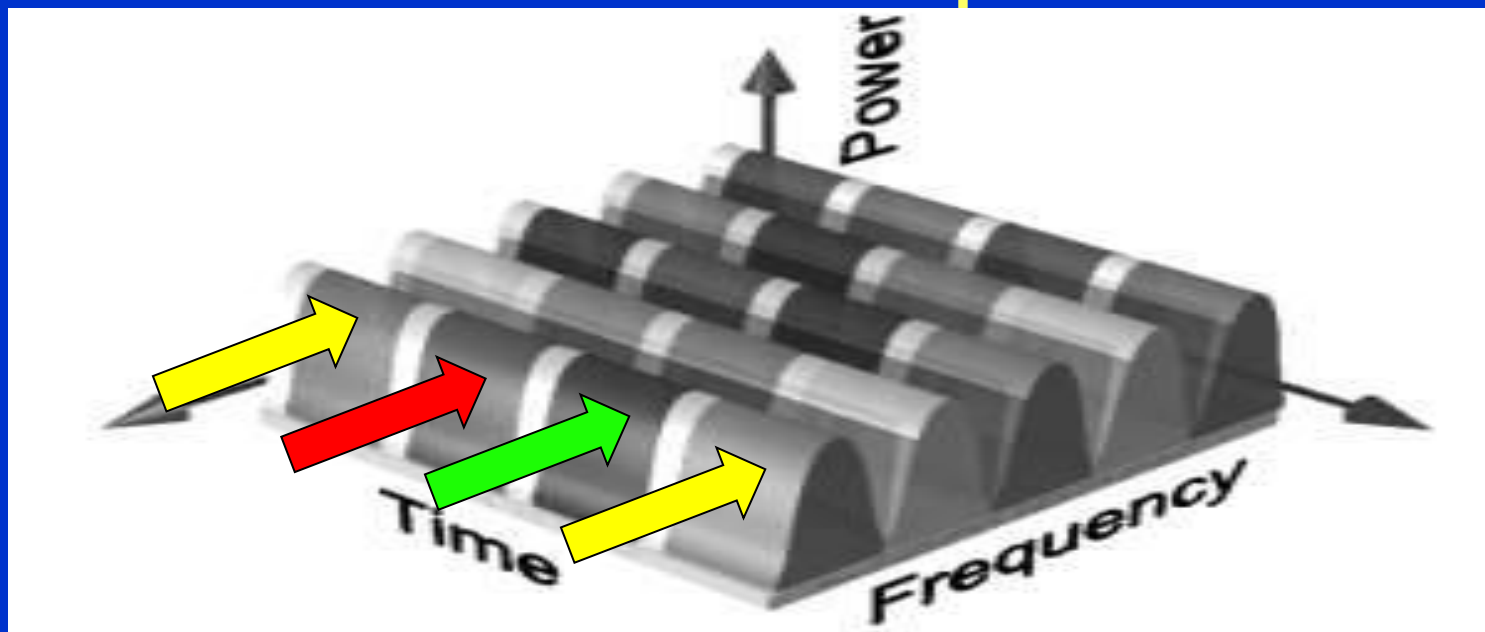
РПрУ РПрУ сРПрУ с поисковой системой АПЧ и
бесшумной настройкой

Функция селективности РПрУ

Селективность или избирательность

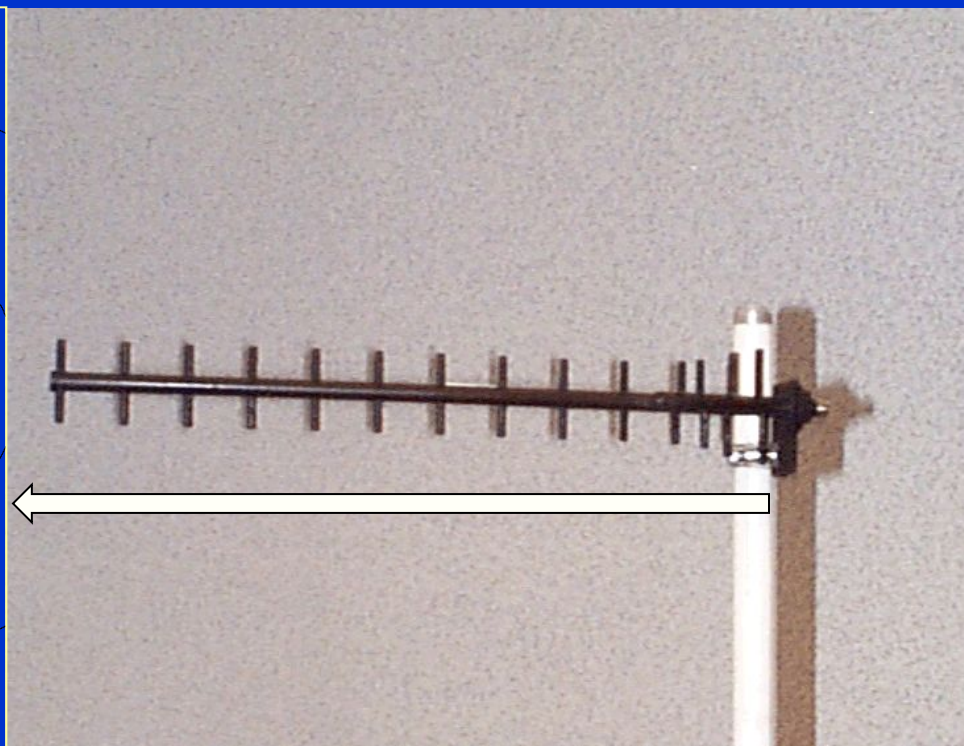
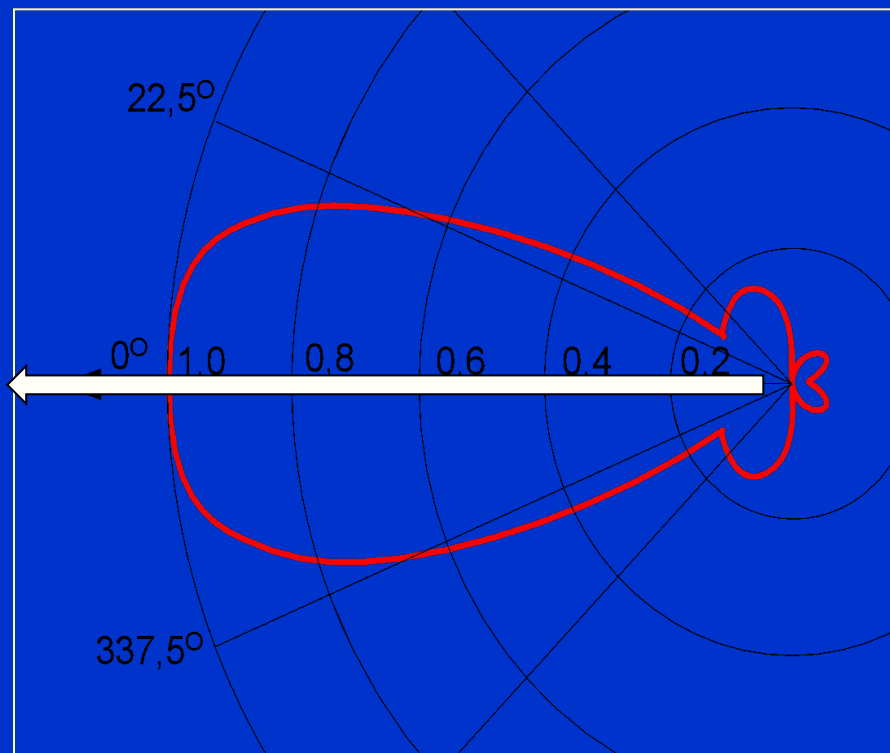
– способность РПрУ выделить полезный сигнал из множества других, присутствующих на входе сигналов, отличающихся друг от друга по какому-либо параметру, и ослаблять действие помех

Селективность временная



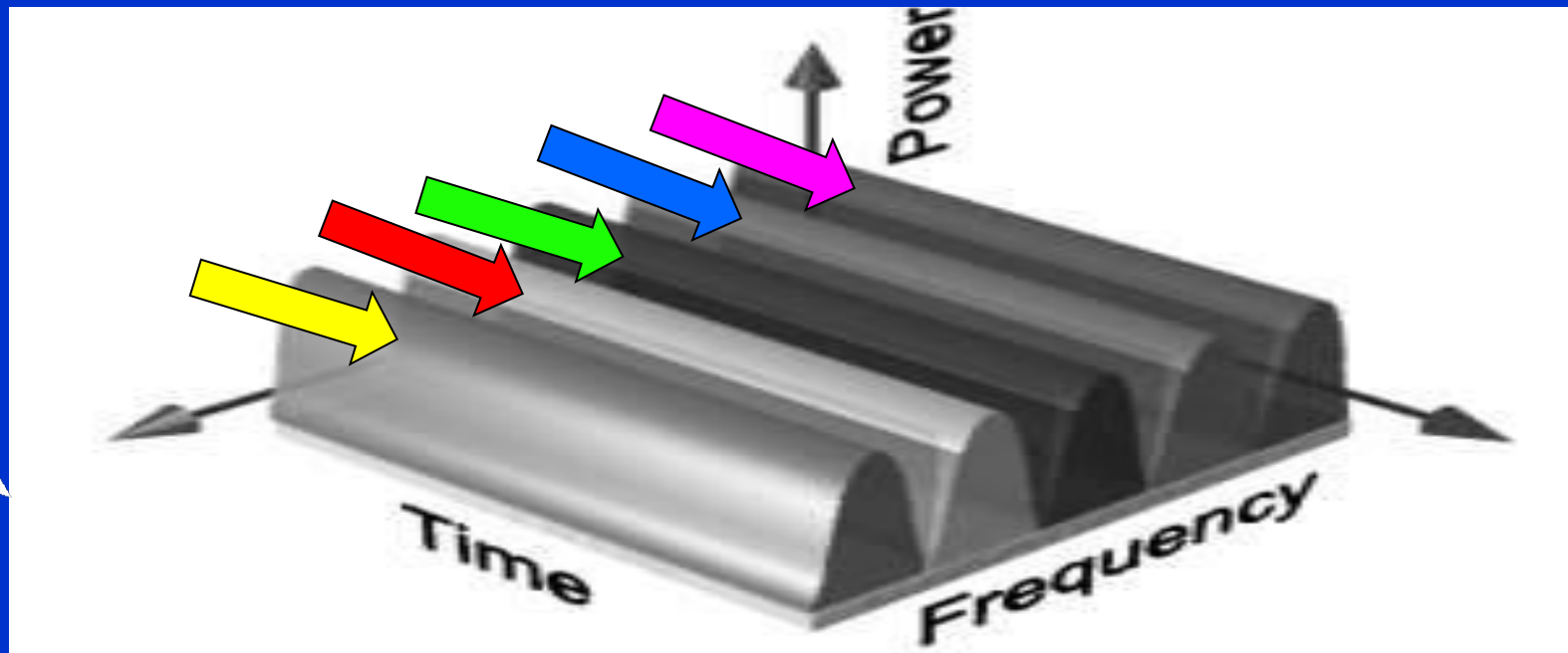
TDMA - Time Division Multiple Access

Селективность пространственная



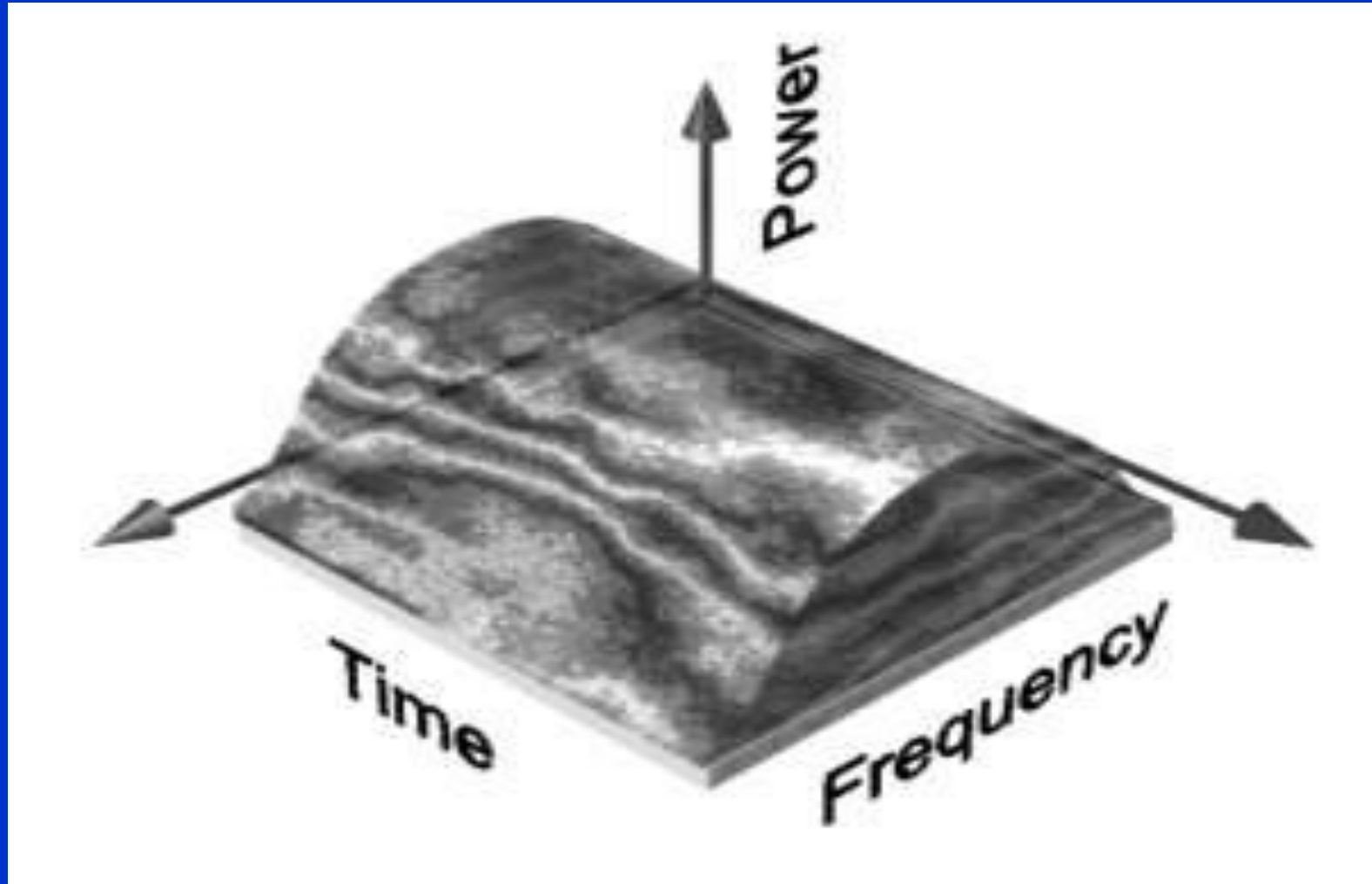
Направление приема

Селективность частотная



FDMA - Frequency Division Multiple Access

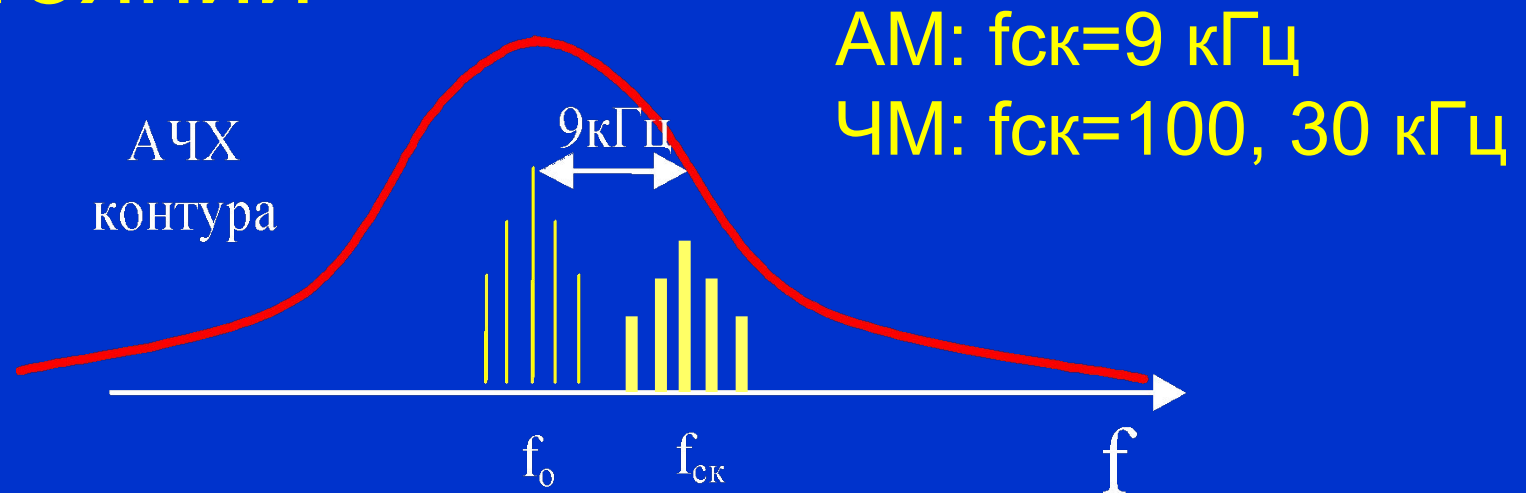
Селективность кодовая



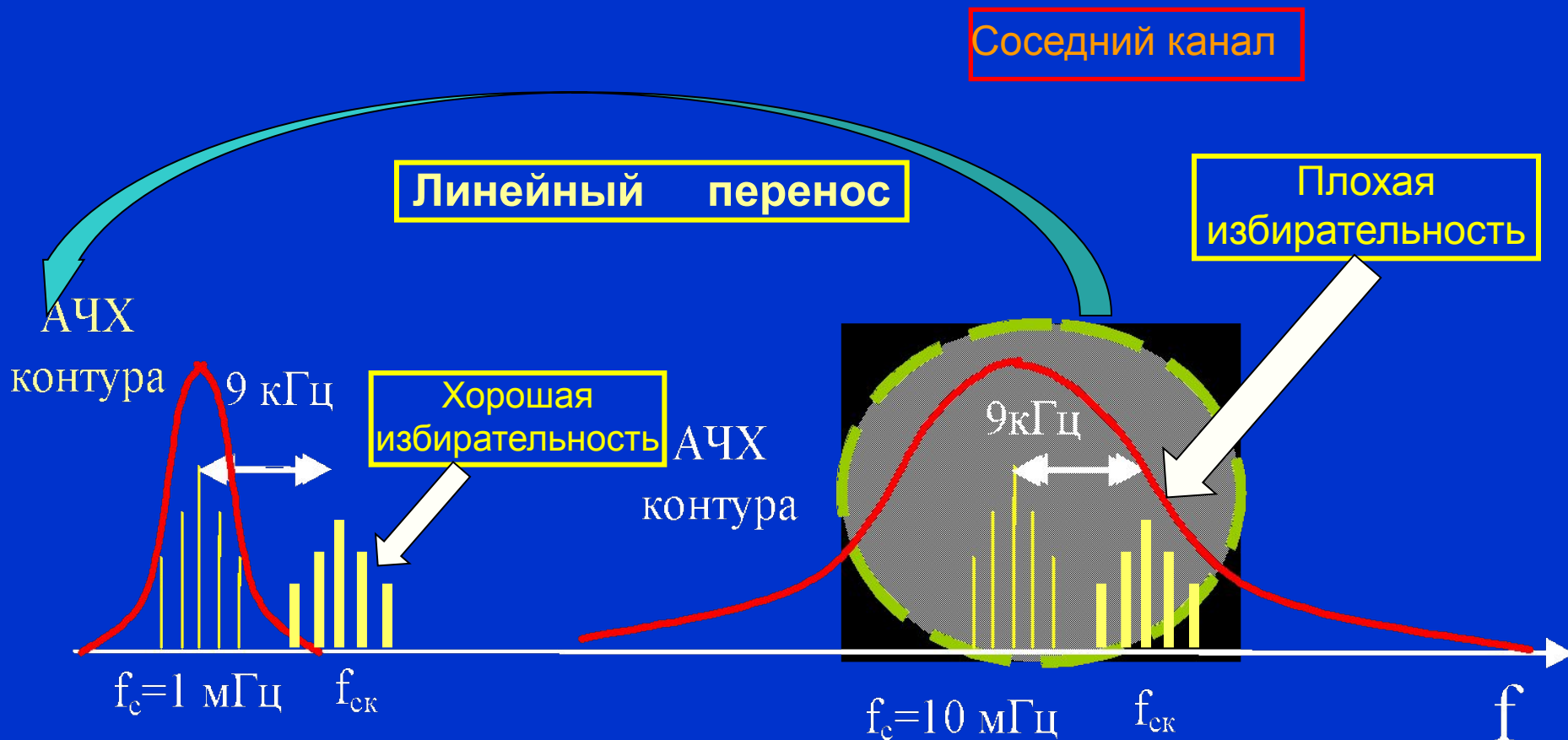
CDMA -Code Division Multiple Access

Соседний канал

Соседний канал – канал, располагающийся на частотной оси на минимальном допустимом по отношению к основному каналу расстоянии



Частотная селективность и преобразование частоты



$$\Delta f_{\text{ш}} = \frac{f_o}{Q} = \frac{10^6}{100} = 10^4 = 10$$

$$\Delta f_{\text{ш}} = \frac{f_o}{Q} = \frac{10^7}{100} = 10^5 = 100$$

Преобразование частоты

– это линейный перенос суммарного входного сигнала из одной частотной области в другую, где условия для оптимальной обработки полезного сигнала наиболее благоприятны

Промежуточная частота

– это частота преобразованного сигнала, на которой реализуются основная селекция и усиление полезного колебания в усилительно-преобразовательном тракте супергетеродинного приёмника

$$f_{\text{ПЧ}} = |f_c \pm f_{\Gamma}|$$

Попов Александр Степанович

1859 - 1906 г.г.



Приемник А.С. Попова

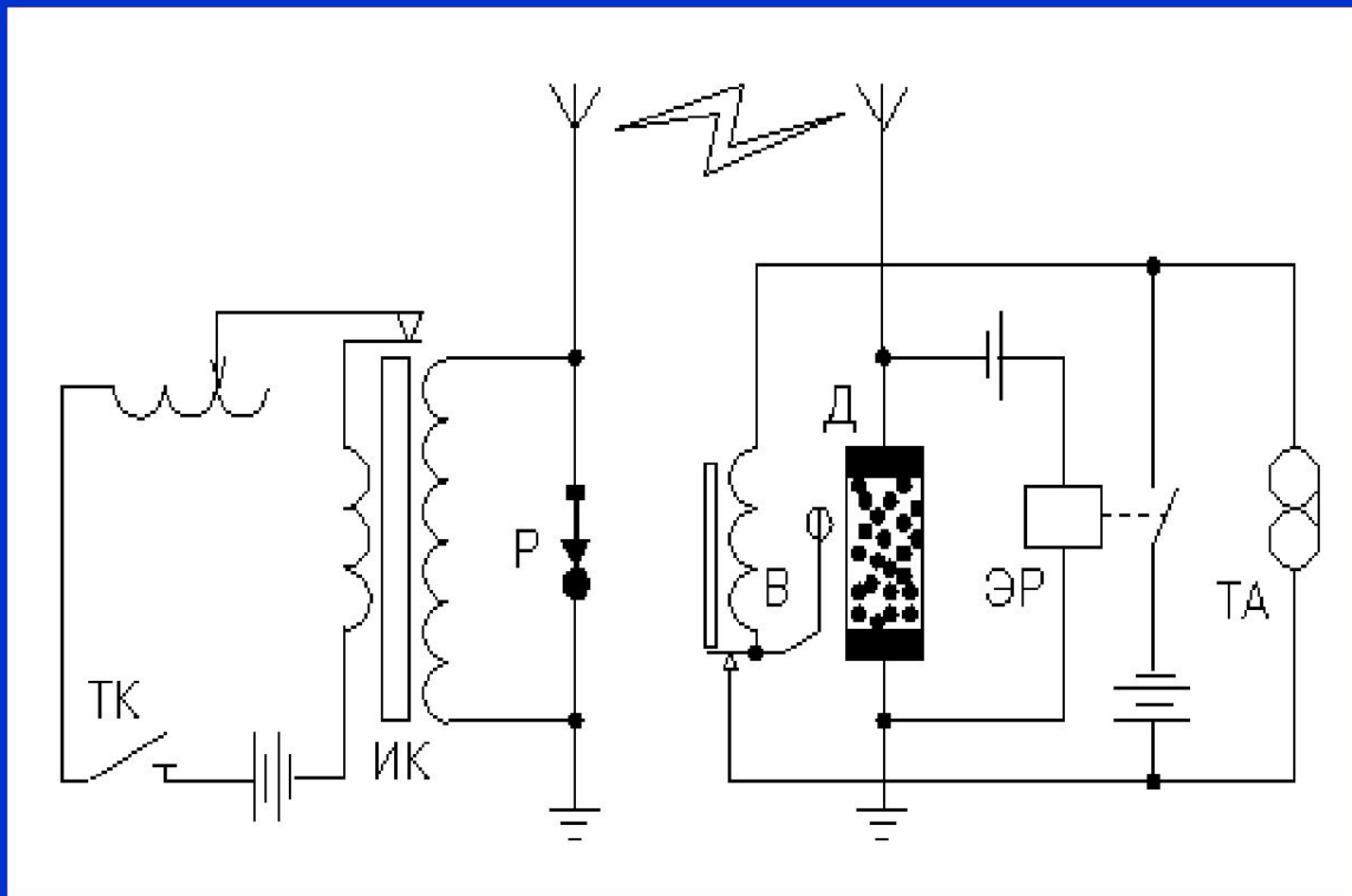


Слуховой детекторный
когерерный приемник. 1899 г.

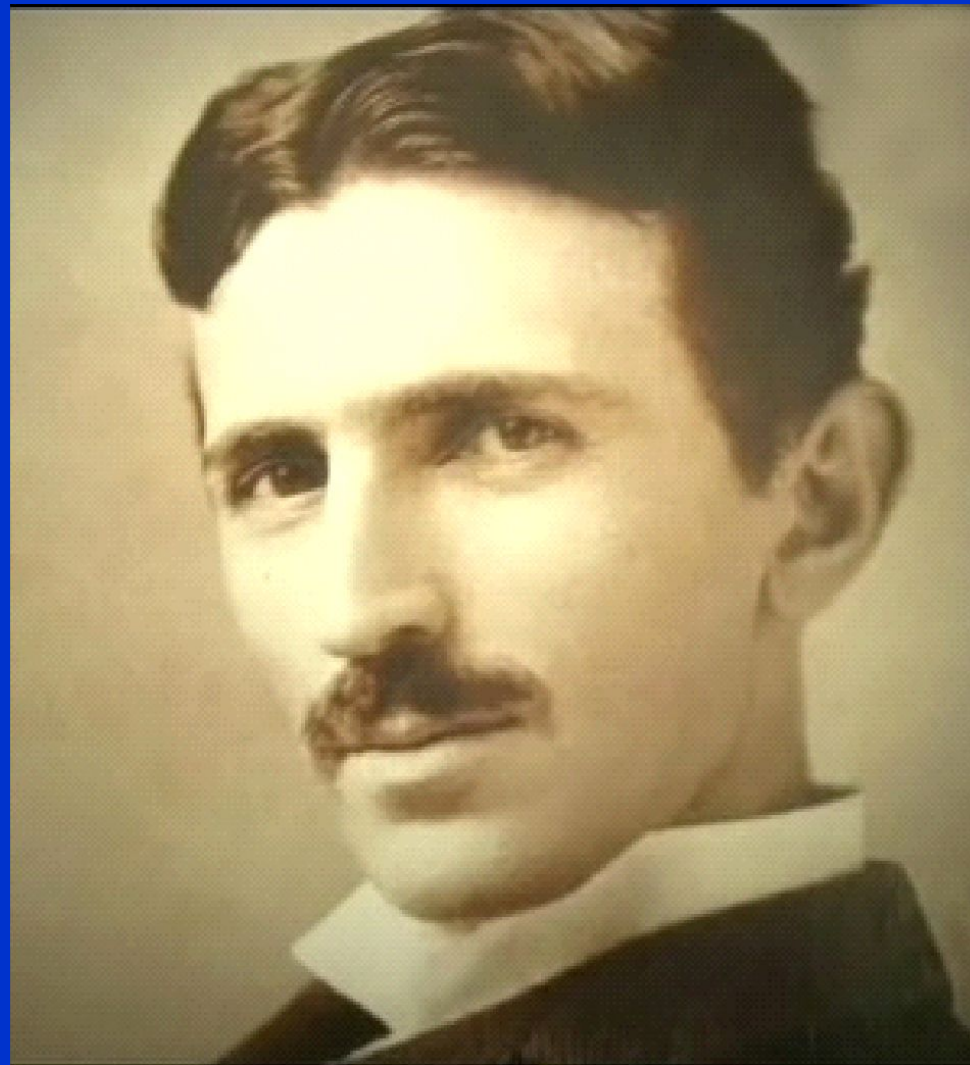
Приемник Г. Маркони 1895 г.



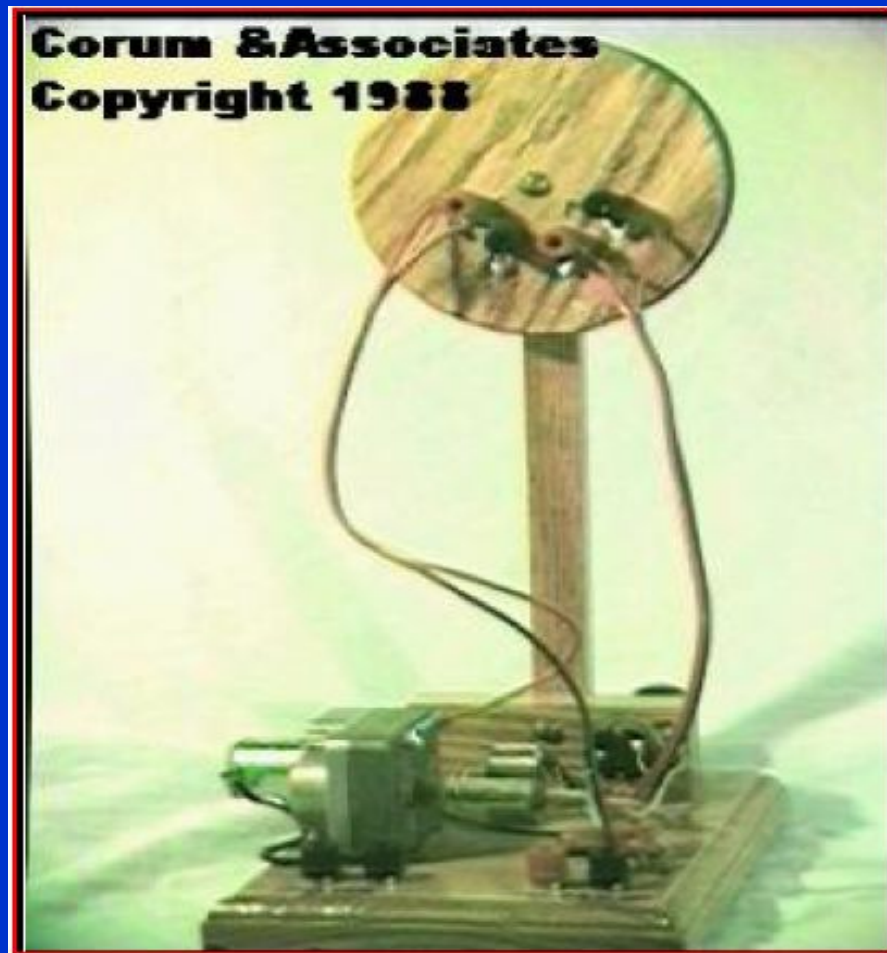
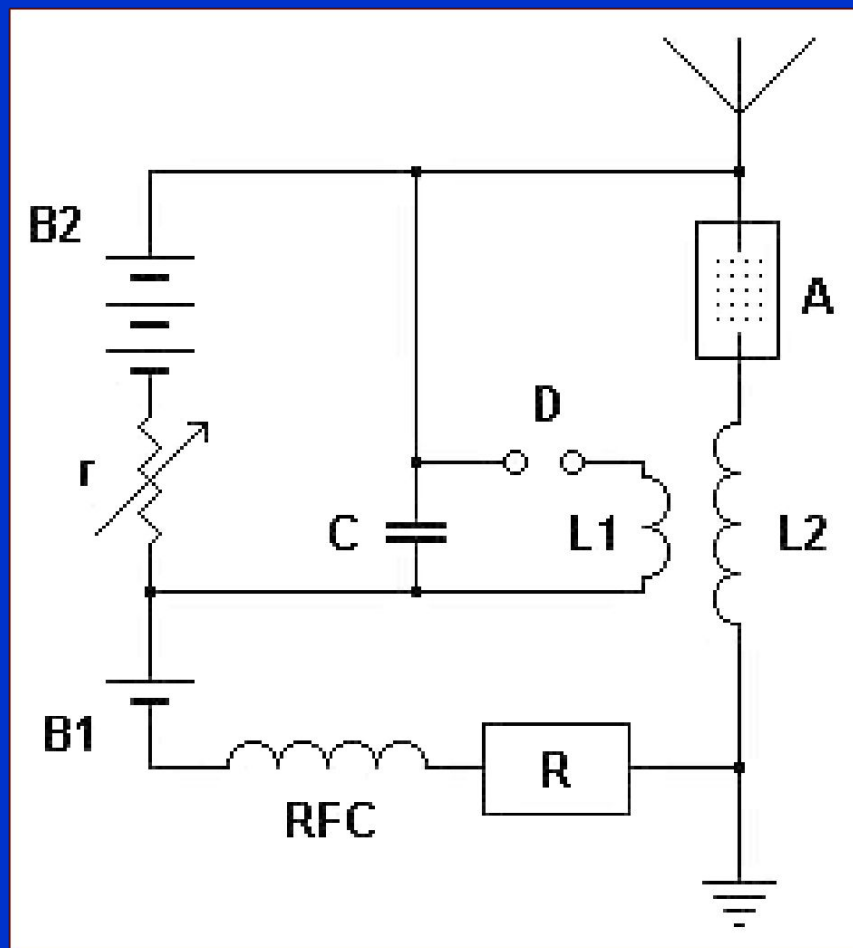
Приемник Г. Маркони 1895 г.



Н. Тесла 1856 – 1943 г.г.



Приемник Н. Тесла 1899 г.



Изобретение радио



*А.С. Попов (1859-1906)
российский изобретатель
радио*

1892 г. Н. Тесла. Сент-Луис, США. Передача сигналов без проводов

Июнь 1894 г. Оливер Лодж, физик из Ливерпуля. Демонстрация эксперимента по трансляции сигнала на расстояние в 150 ярдов без проволоки.

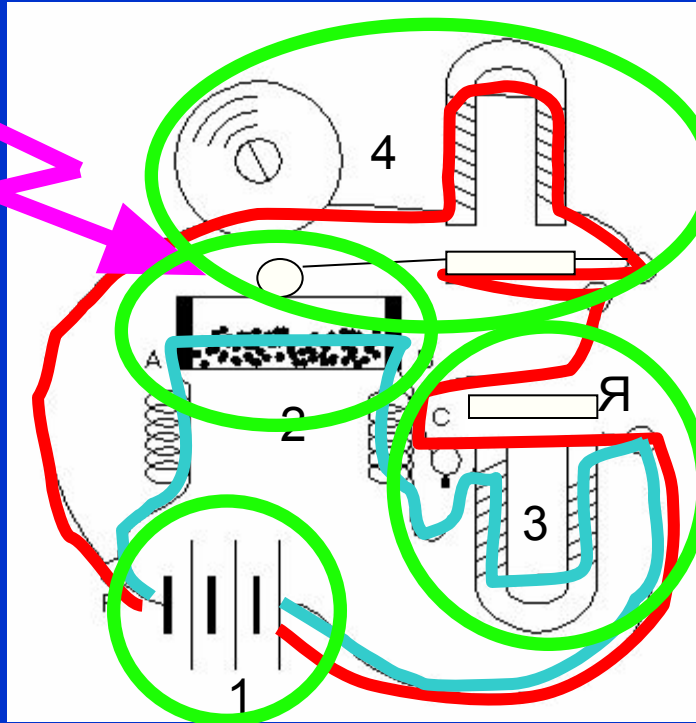
25 апреля (7 мая) 1895 г. А.С. Попов на заседании Русского физико-химического общества представил систему радиосигнализации

2 июля 1897 г. Г.Маркони Английский патент № 12 039 на «усовершенствования в передаче электрических импульсов и сигналов и в аппаратуре для этого».

**Ламповый диод – Флемминг 1904 г.
Ламповый триод – Форест, 1906 г.**

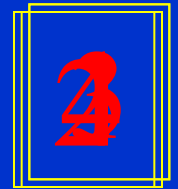
24 декабря 1906 г. профессор Реджинальд Фессенден. Первая в истории радиопередача.

Приемник А.С. Попова

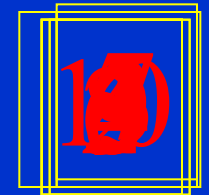


Составные части:

1. Батарея (4-5 В)
2. Когерер Бранли-Лоджа (платиновые пластины *A* и *B*, трубка с угольным порошком) - “радиокондуктор”
3. Электромагнитное реле
4. Электрический звонок



Принцип действия:



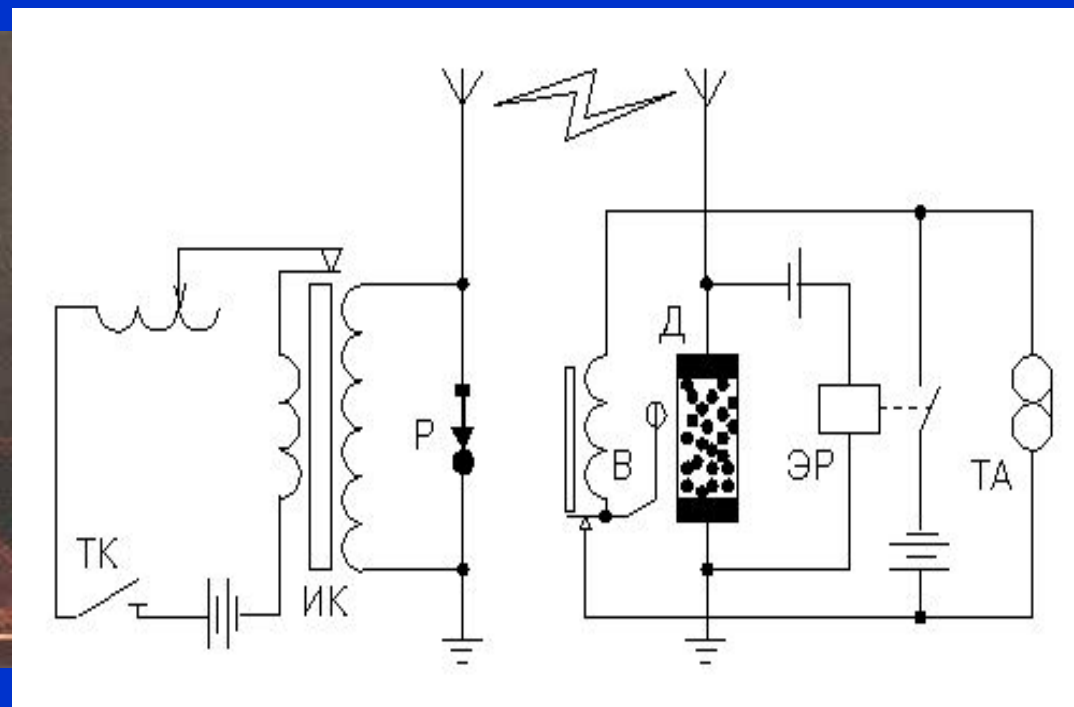
Ток циркулирует от зажима *P* к пластинке *A*, через порошок в трубке к пластинке *B*, по обмотке реле 3 к батарее. Сила тока недостаточна для притягивания якоря реле 3, но, если трубка *AB* подвергнется действию электромагнитного колебания, то сопротивление трубки мгновенно уменьшится и ток увеличится настолько, что якорь реле 3 *Я* притянется.

Цепь от батареи к звонку, прерванная в точке *C*, замкнется и звонок начнет действовать, периодически разрывая цепь звонка и сотрясая трубку с порошком., что будет уменьшать ее проводимость, а реле 3 разомкнет цепь звонка.

Сопротивление опилок после сильного встряхивания - 100 000 Ом, до – 1000 Ом

Передатчик и приемник Г. Маркони

1895 г.



Индукционная катушка *ИК*, разрядник *P* и прерыватель Румкорфа, телеграфный ключ Морзе *TK*,
Д - когерер Лоджа, встряхиватель *B*, телеграфный аппарат Морзе *ТА*, электромагнитное реле *ЭР*.

Приемник "Муромец"



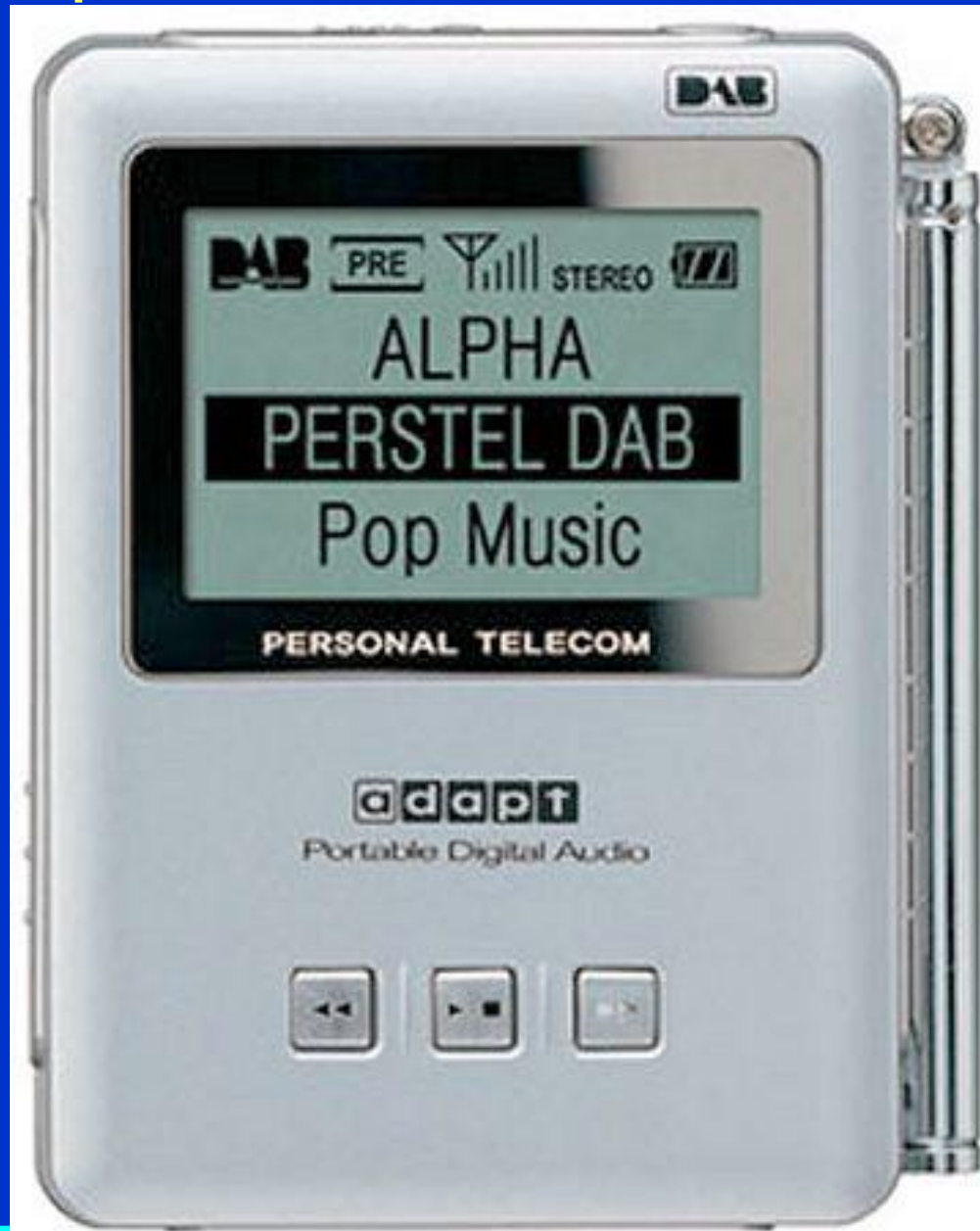
Приёмник “Океан – 209”



РПРУ "POCKET DAB"



РПРУ "PORTABLE DAB-FM"



Приемник DRM "МАЯН-2010"



Приемник стандарта DRM внутри



ПРИЕМНИК СТАНДАРТА GPS



СОФТОВЫЙ ПРИЕМНИК WIN-RADIO

The screenshot displays the WinRadio G303 software interface, which includes the following components:

- Frequency Display:** Shows the current frequency as 15.215000 MHz.
- Step and Memory:** Controls for step size (1000 Hz) and memory (25), with buttons for Auto, S, R, and navigation arrows.
- S-meter:** A signal strength meter showing -36 dBm, with buttons for dBm, S-units, μ V, and p-p.
- Broadcasting:** A section with several green arrow buttons.
- Scanning:** Includes Search, Range, and Memory buttons, along with navigation arrows.
- AGC (Automatic Gain Control):** Controls set to Off, Slow, Med, and Fast.
- Atten (Attenuation):** Set to On.
- IF Gain:** Set to 10.
- Squelch:** Set to -116 dBm, with a Def button.
- DRM Services:** A table showing service details:

DRM Services	Service 1	N/A	N/A	N/A
Name	BBCWorld Service (Audio)			
Type	Current Affairs	Encoding AAC SBR	20.9kbps	
Country	Unknown	Language	English	
- Text message:** Displays "Newshour - In depth look at current events".
- IF (Intermediate Frequency):** A list of files including 6095.if.wav, 6095_02.if.wav, and 6140.if.wav.
- Time:** Shows UTC (16:08:30, 03 Nov 2003) and Local time (03:08:30, 04 Nov 2003).
- Output file:** Set to DRM Demodulator / Decoder.
- Visual Elements:** A large virtual knob, a signal strength bar, and the WinRadio logo.

РПРУ ФИРМЫ SONY



СЕЛЕКТИВНЫЙ МИКРОВОЛЬТМЕТР

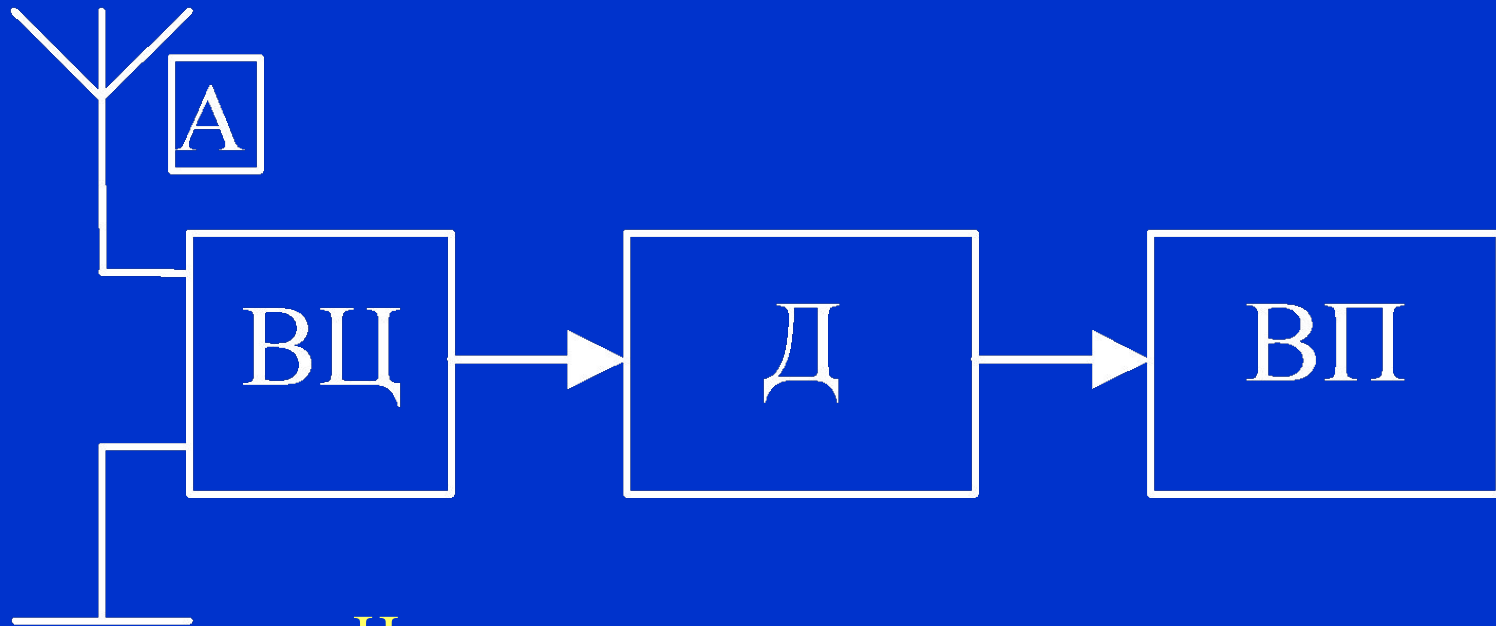


Слайд-лекции по дисциплине Радиоприемные устройства

Радиотелескоп РТ-22 ФИАН



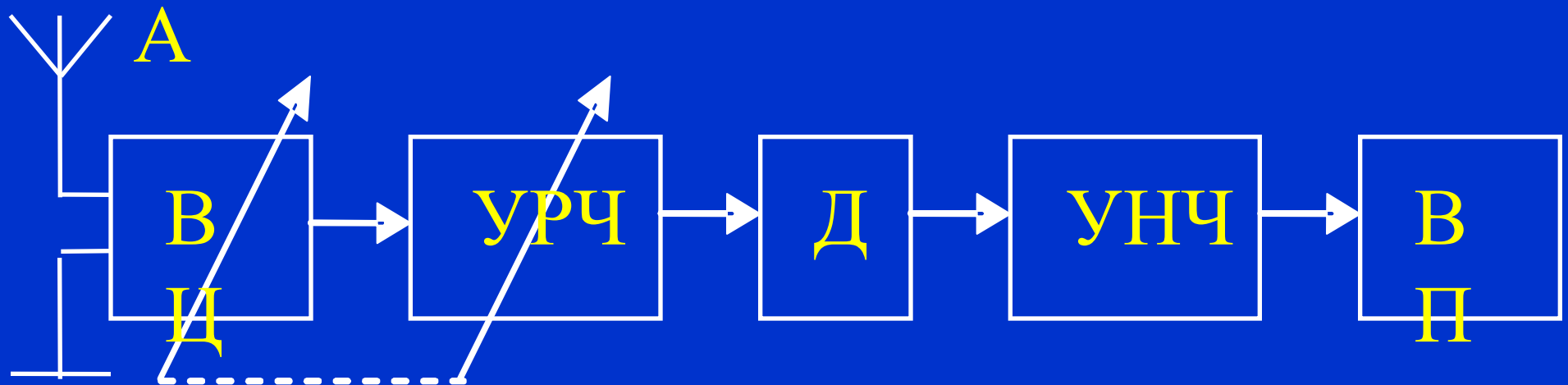
Детекторный РПрУ



Недостатки детекторного приемника

1. Отсутствие функции усиления.
2. Невысокая чувствительность.
3. Плохая частотная избирательность

РПрУ прямого усиления



Настройк

а

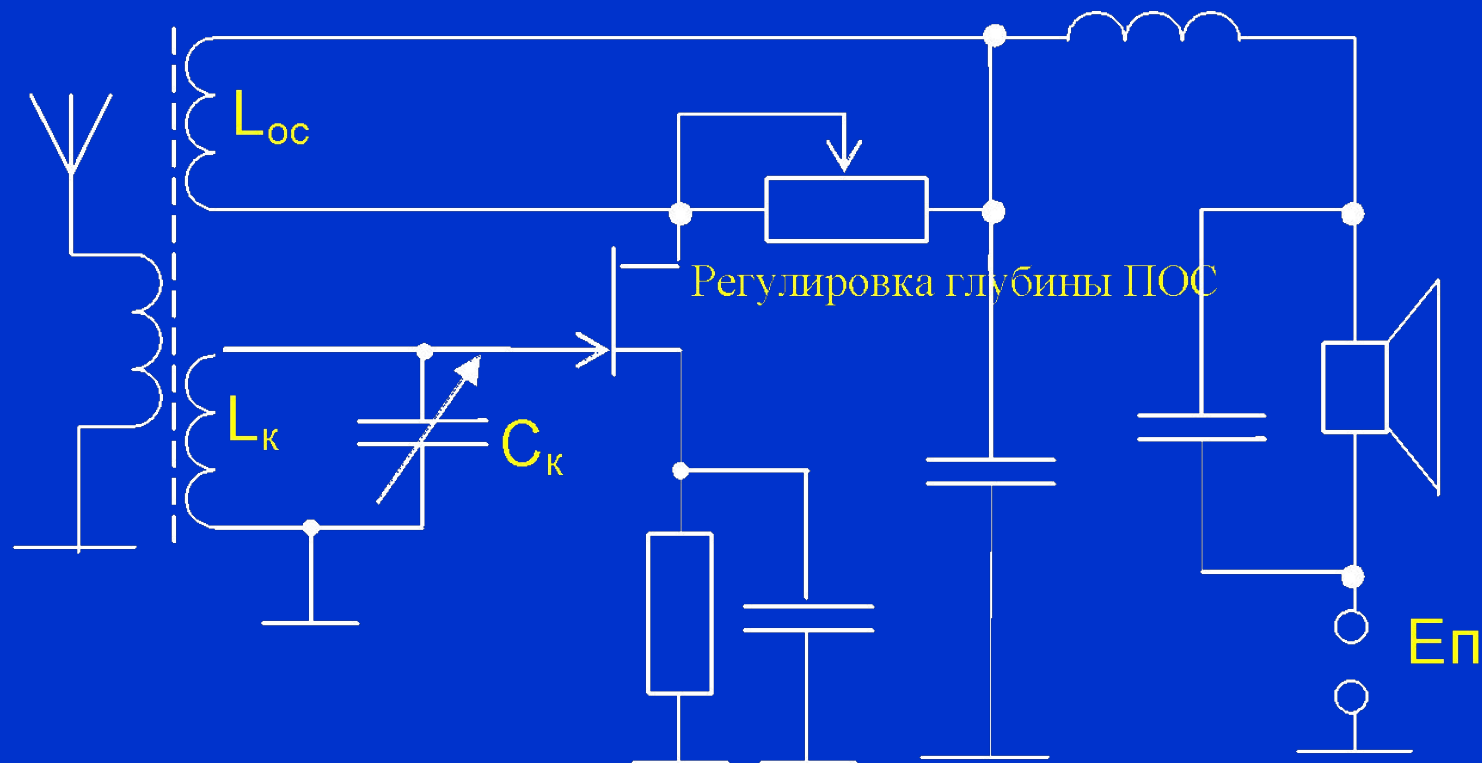
Ламповый триод –
Л.Форест, 1906 г.

Недостатки :

1. Плохая частотная избирательность по соседнему каналу
2. Зависимость частотной избирательности от частоты сигнала.
3. Зависимость коэффициента передачи и чувствительности от частоты сигнала.
4. Склонность к самовозбуждению.
5. Низкая чувствительность

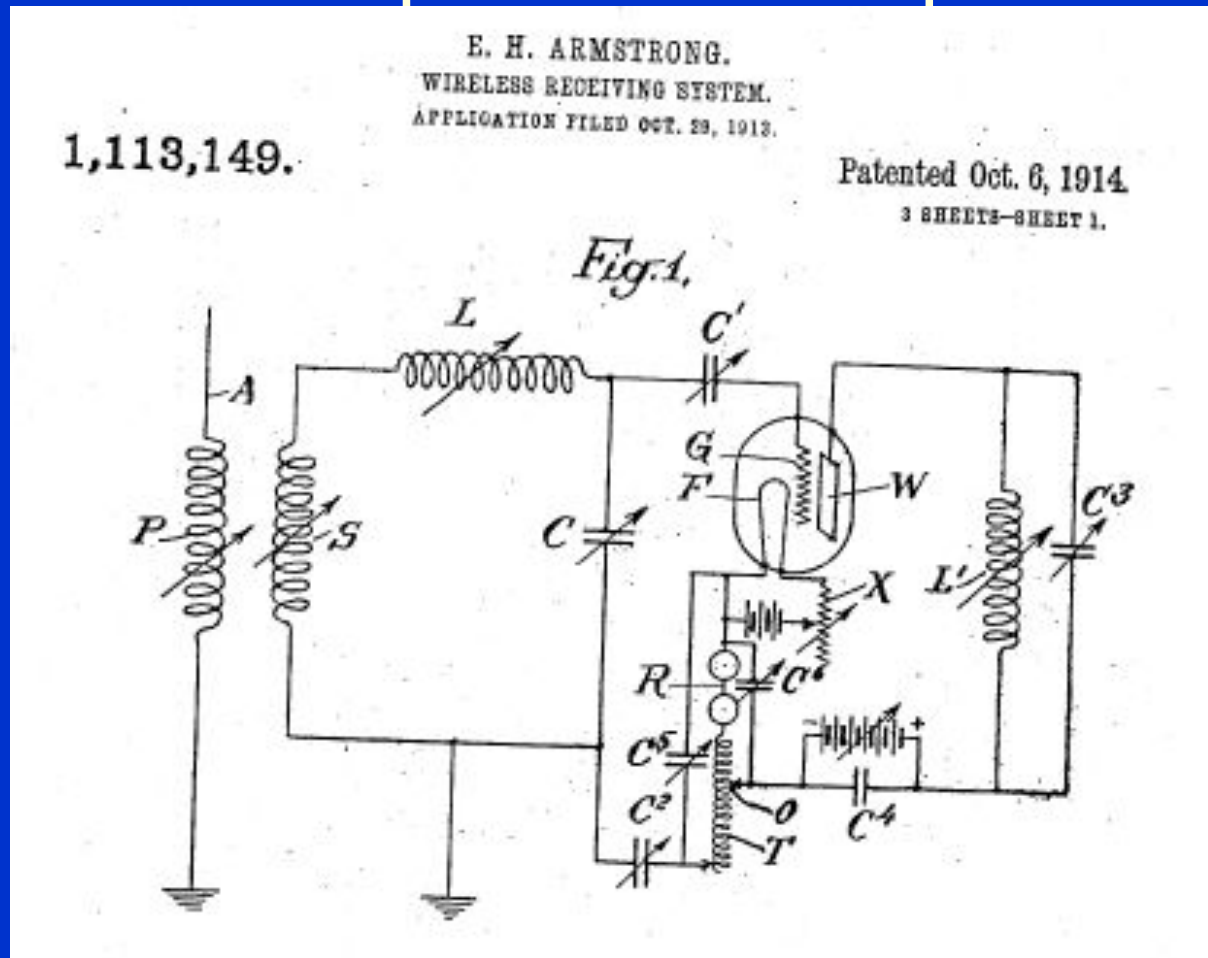
Регенеративный РПрУ

1912-1916 г.г: американцы - Ли де Форест, Эдвин Говард Армстронг, Ирвинг Лэнгмюр, англичане - К.Франклин и Х. Раунд, немец Александр Мэйсснер и австриец З.Штраус.



$$K = \frac{K_0}{1 - \beta K_0}$$

Слайд-лекции по дисциплине Радиоприемные устройства
Регенеративный РПрУ



UNITED STATES PATENT OFFICE.

EDWIN H. ARMSTRONG, OF YONKERS, NEW YORK,
WIRELESS RECEIVING SYSTEM.

1,113,149.

Specification of Letters Patent.

Patented Oct. 6, 1914.

Application filed October 29, 1913. Serial No. 797,947.

Регенеративный РПрУ

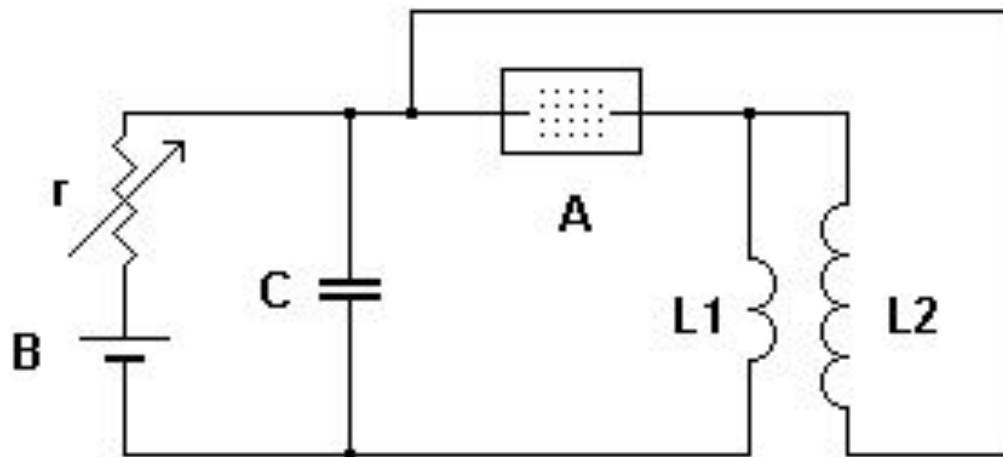
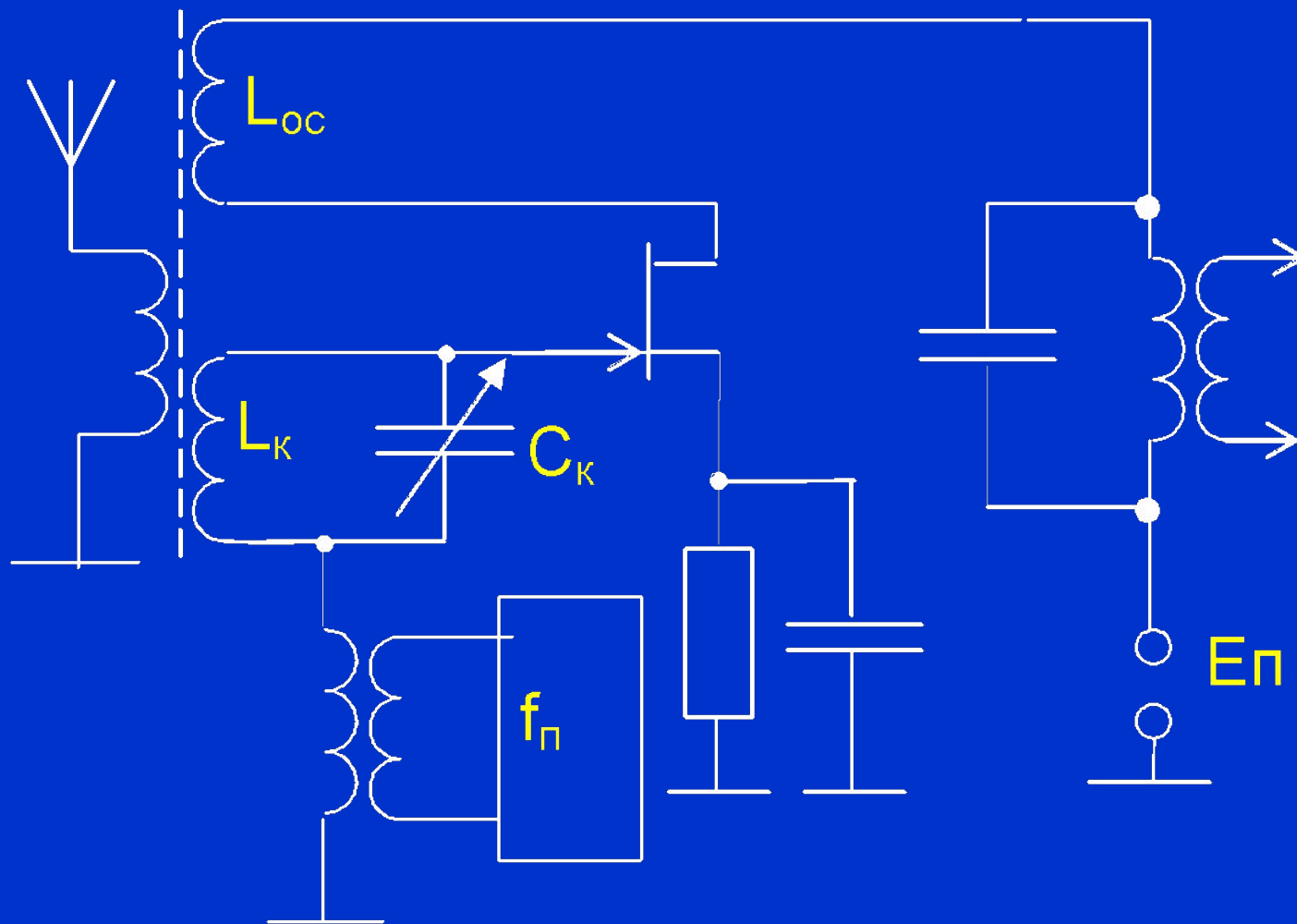


Fig. 4. N. Tesla Regenerator (1899)

$$K = \frac{K_0}{1 - \beta K_0}$$

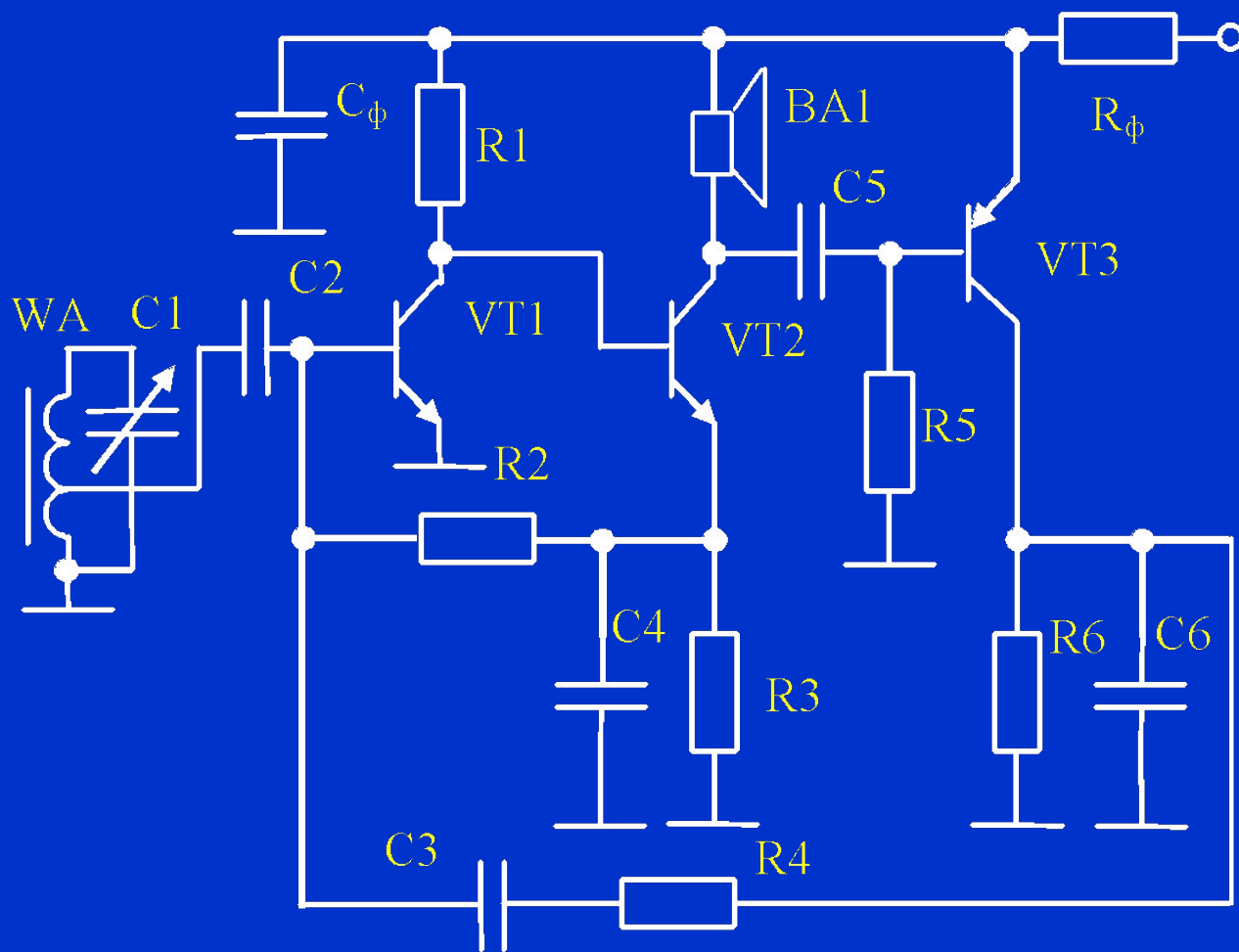
Сверхрегенеративный РПрУ

1918 г. Э. Армстронг



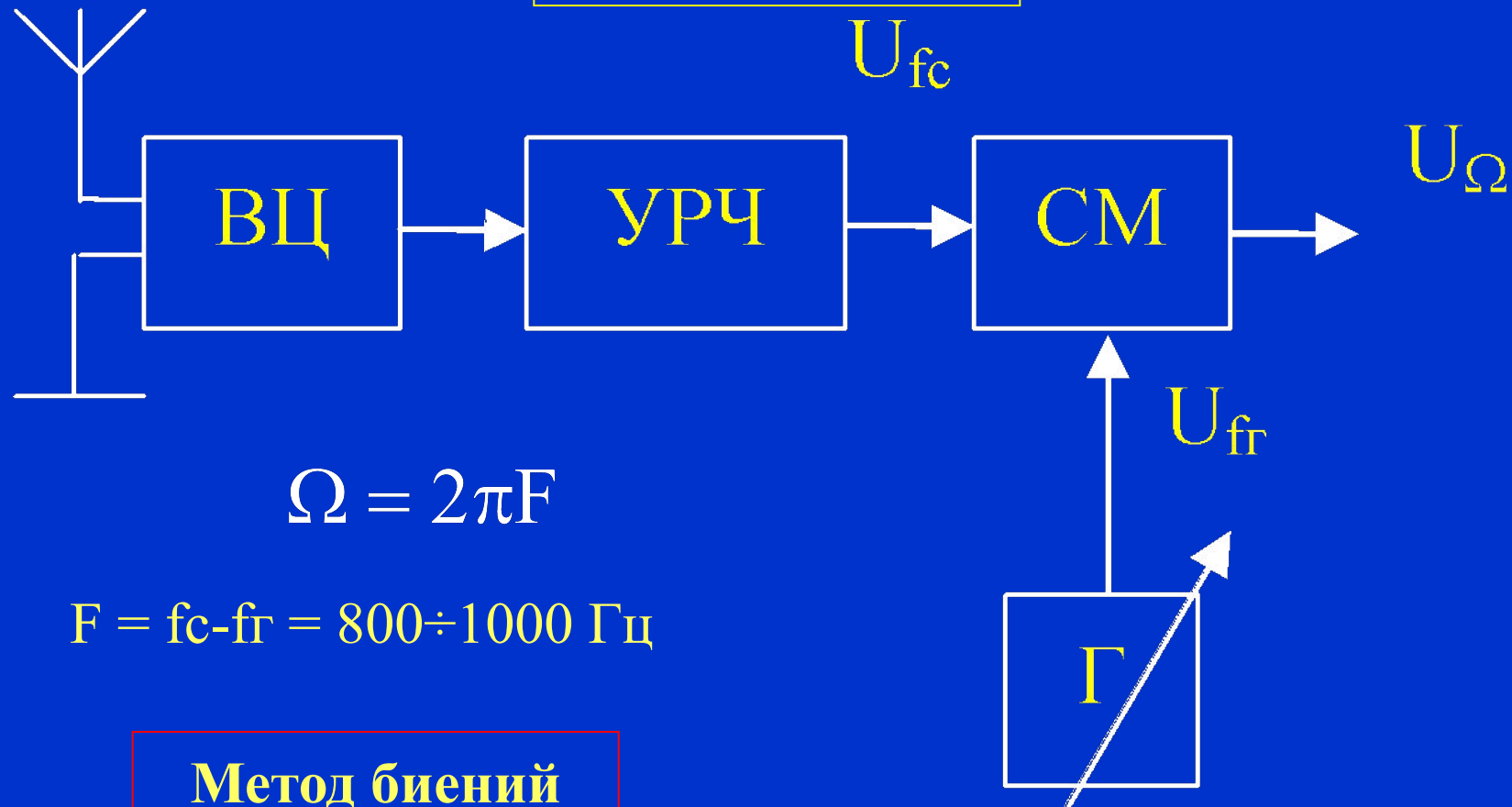
Рефлексный РПрУ

1913 г англичанин У.Томпсон



Гетеродинный РПрУ

Р. Фессенден,
1902 г.



$$\Omega = 2\pi F$$

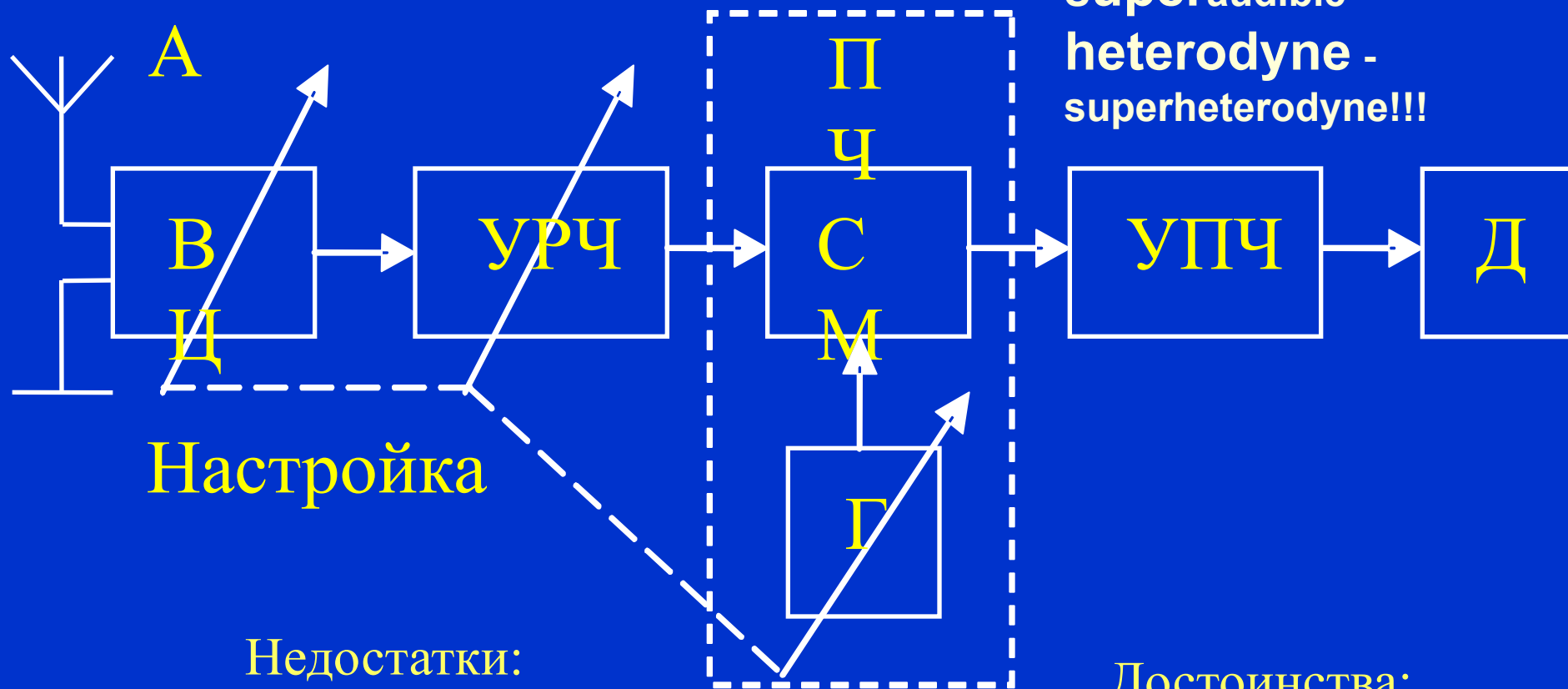
$$F = f_c - f_r = 800 \div 1000 \text{ Гц}$$

Метод биений

Hetero + duno –
посторонняя сила

Супергетеродинный РПрУ

1918 г. француз Л.Леви, англичанин Раунд, немец В. Шоттки и американец Э. Армстронг



Побочные каналы приема:

- Прямой канал.
- Зеркальный канал.

1. Высокая избирательность по соседнему каналу
2. Высокая чувствительность

Побочные каналы приёма

– это дополнительные линейные и нелинейные каналы с частотами, отличными от частоты основного канала, появляющиеся за счёт неидеальности характеристик усилительно-преобразовательного тракта супергетеродинного приёмника

$$\text{так как } f_{\text{ПЧ}} = |mf_c \pm nf_{\Gamma}|; \text{ то } f_c = f_{\text{ПК}} = \frac{|f_{\text{ПЧ}} \pm nf_{\Gamma}|}{m}$$

Зеркальный или симметричный канал

– это дополнительный линейный канал с частотой, отличной от частоты полезного сигнала, появляющийся за счёт особенностей работы преобразователя частоты супергетеродинного приёмника

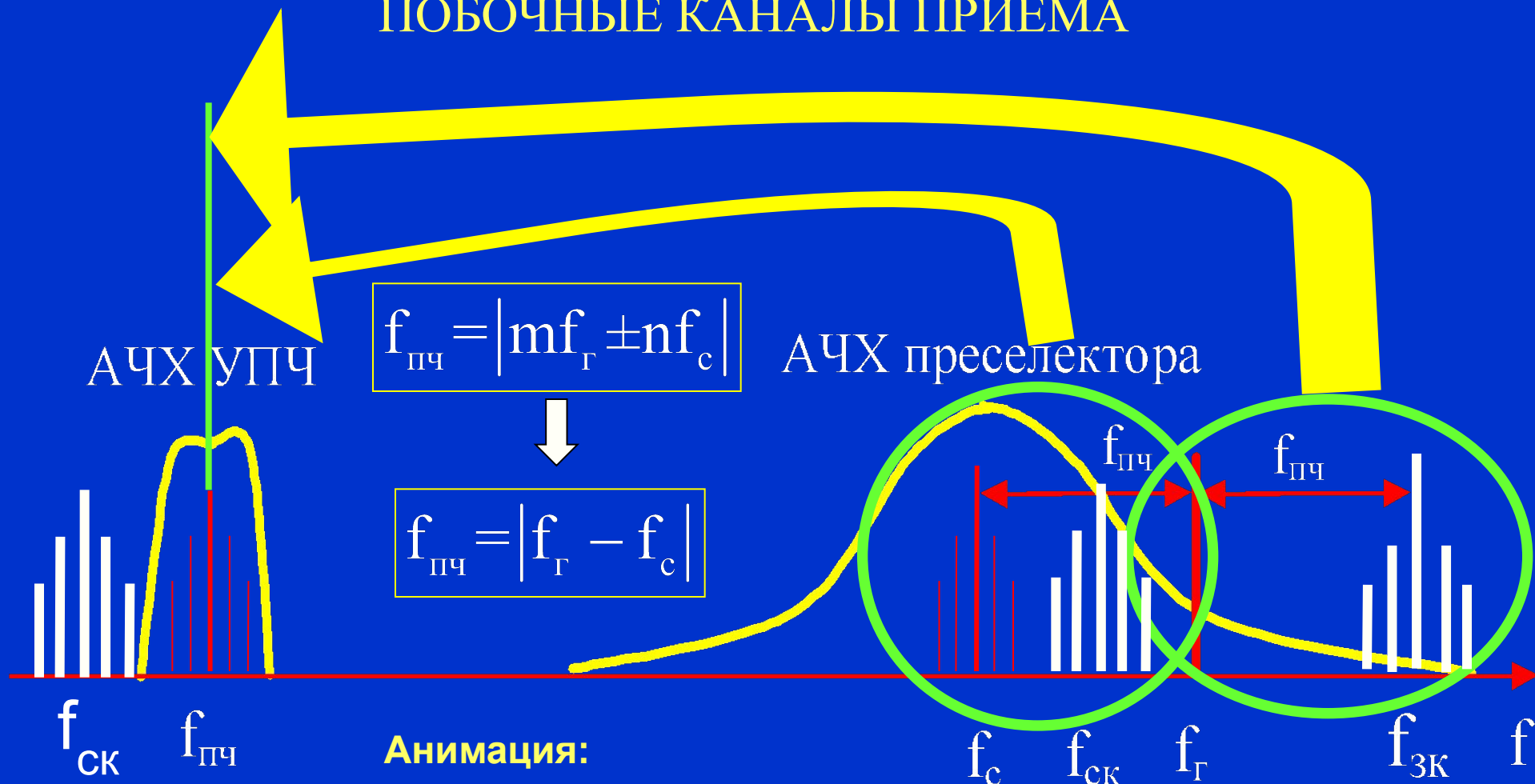
$$f_{\text{зк}} = |f_{\text{Г}} \pm f_{\text{пч}}|$$

Прямой канал

– это побочный канал с частотой, равной промежуточной частоте, появляющийся за счёт неидеальности работы преобразователя частоты супергетеродинного приёмника

$$f_{\text{ПК}} = f_{\text{ПЧ}}$$

ПОБОЧНЫЕ КАНАЛЫ ПРИЕМА



Анимация:

Показать основной канал

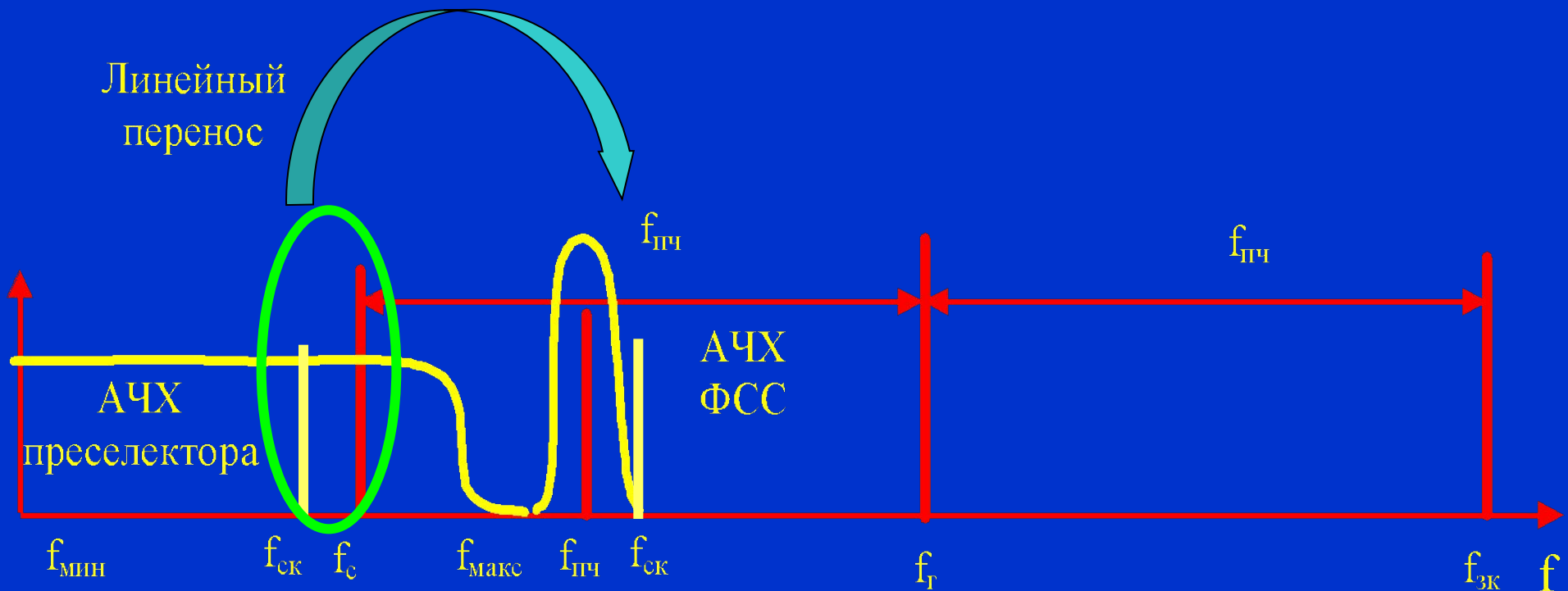
Показать соседний канал

Показать зеркальный канал

$$f_{ЗК} = f_{С} + 2f_{ПЧ}$$

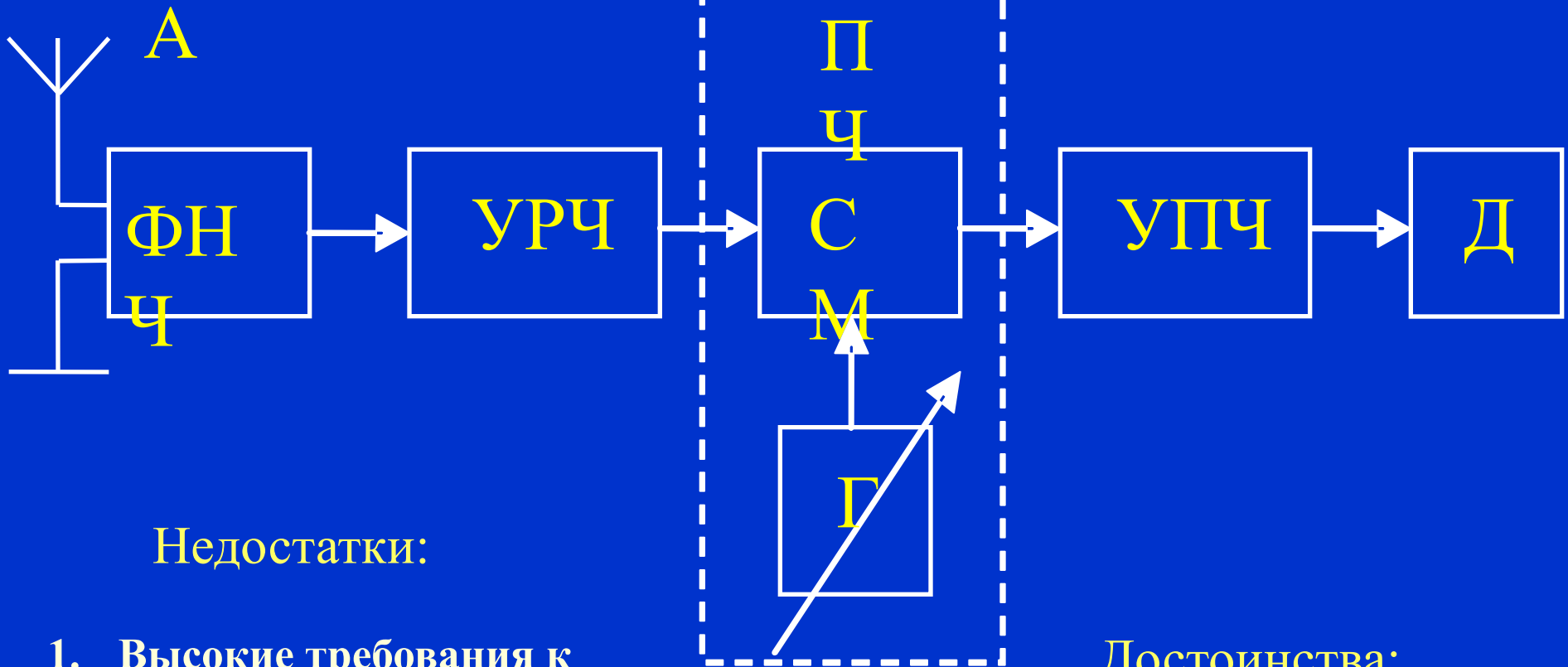
Супергетеродинные РПрУ

Инфрадин



Показать соседний канал

Инфранинный РПрУ с ШП



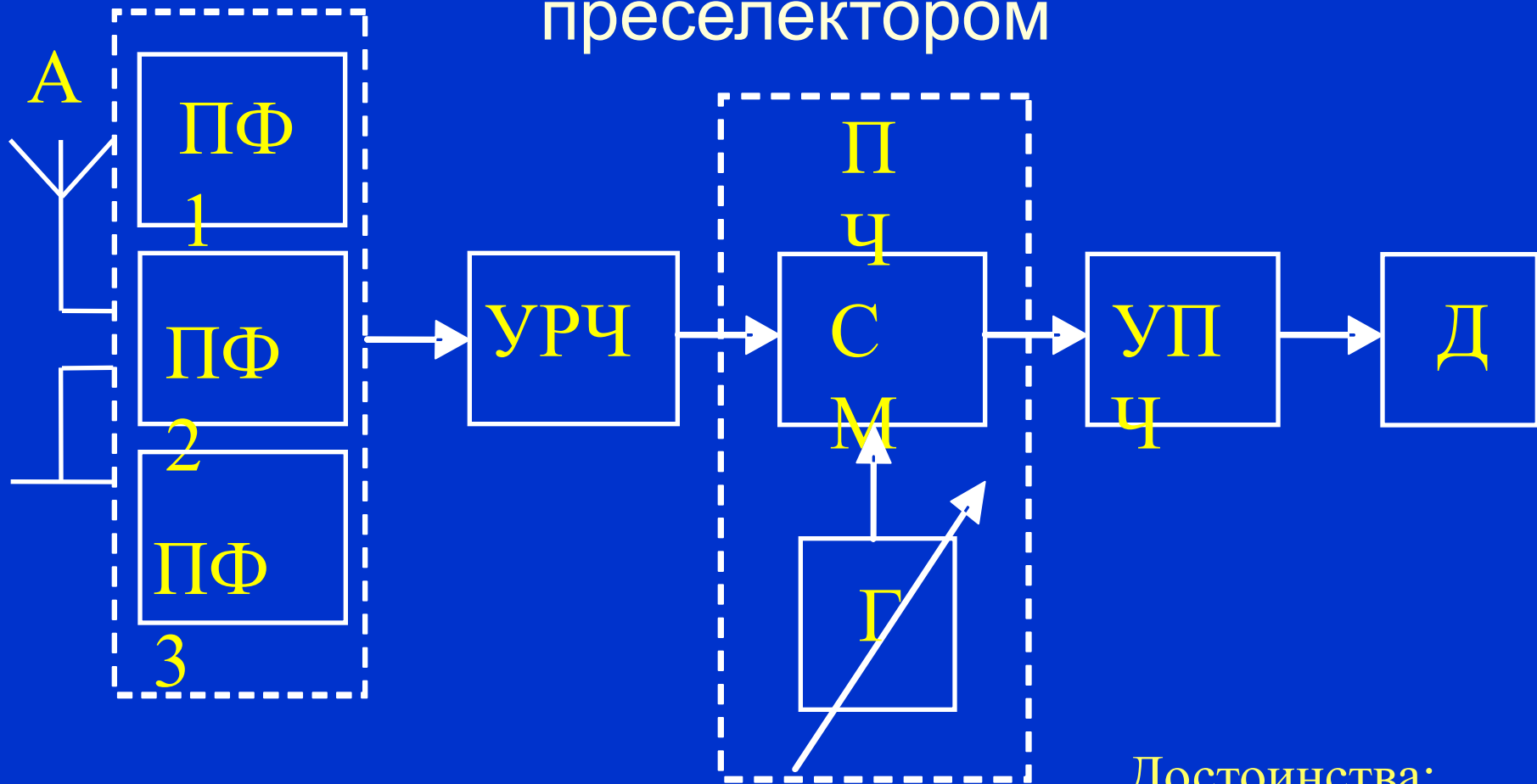
Недостатки:

1. Высокие требования к линейности УРЧ

Достоинства:

1. Высокая избирательность по зеркальному каналу
2. Упрощение настройки

Инфранинный РПрУ с фильтровым преселектором



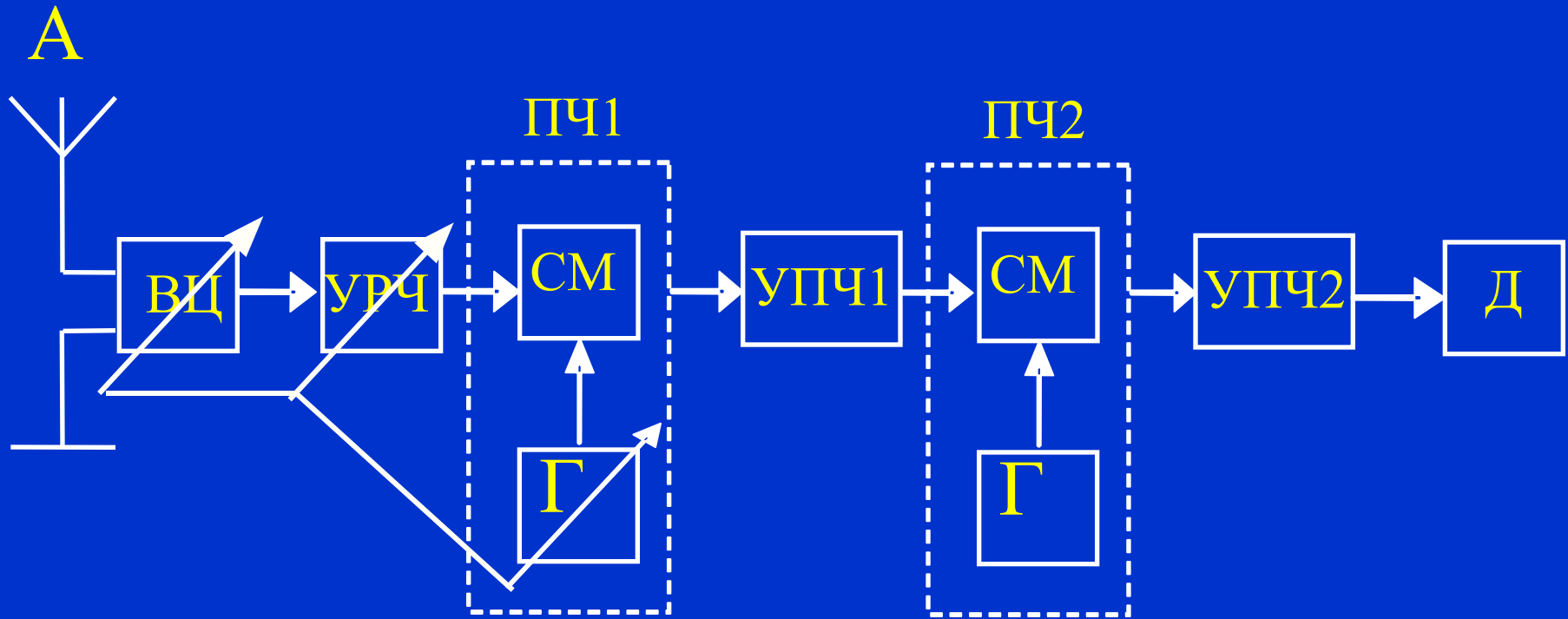
Недостатки:

1. Усложнение конструкции

Достоинства:

1. Снижение требований к линейности УРЧ

Супергетеродин с двойным ПЧ



Недостатки:

1. Усложнение конструкции
 2. Рост числа побочных каналов
- каналов

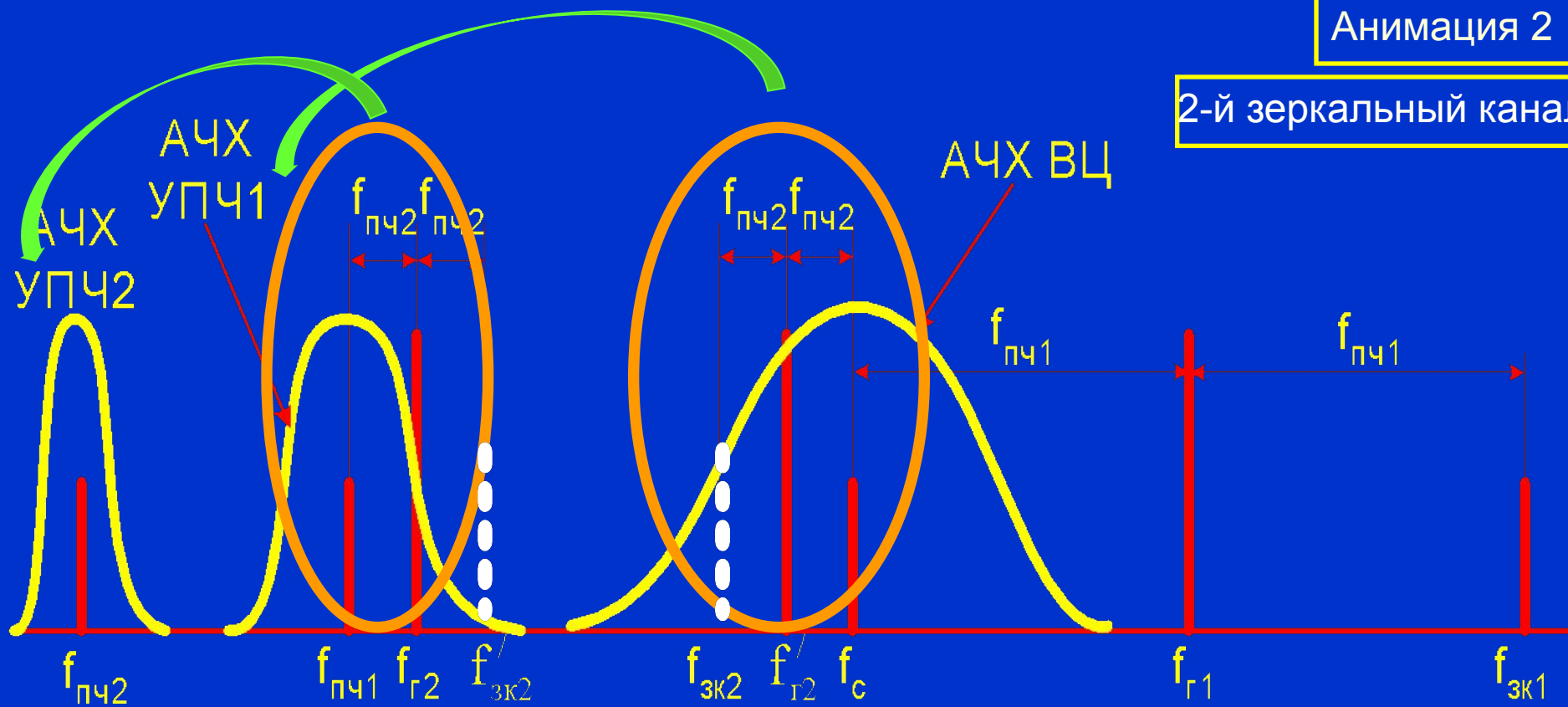
Супергетеродинные РПрУ

Супергетеродин с двойным ПЧ

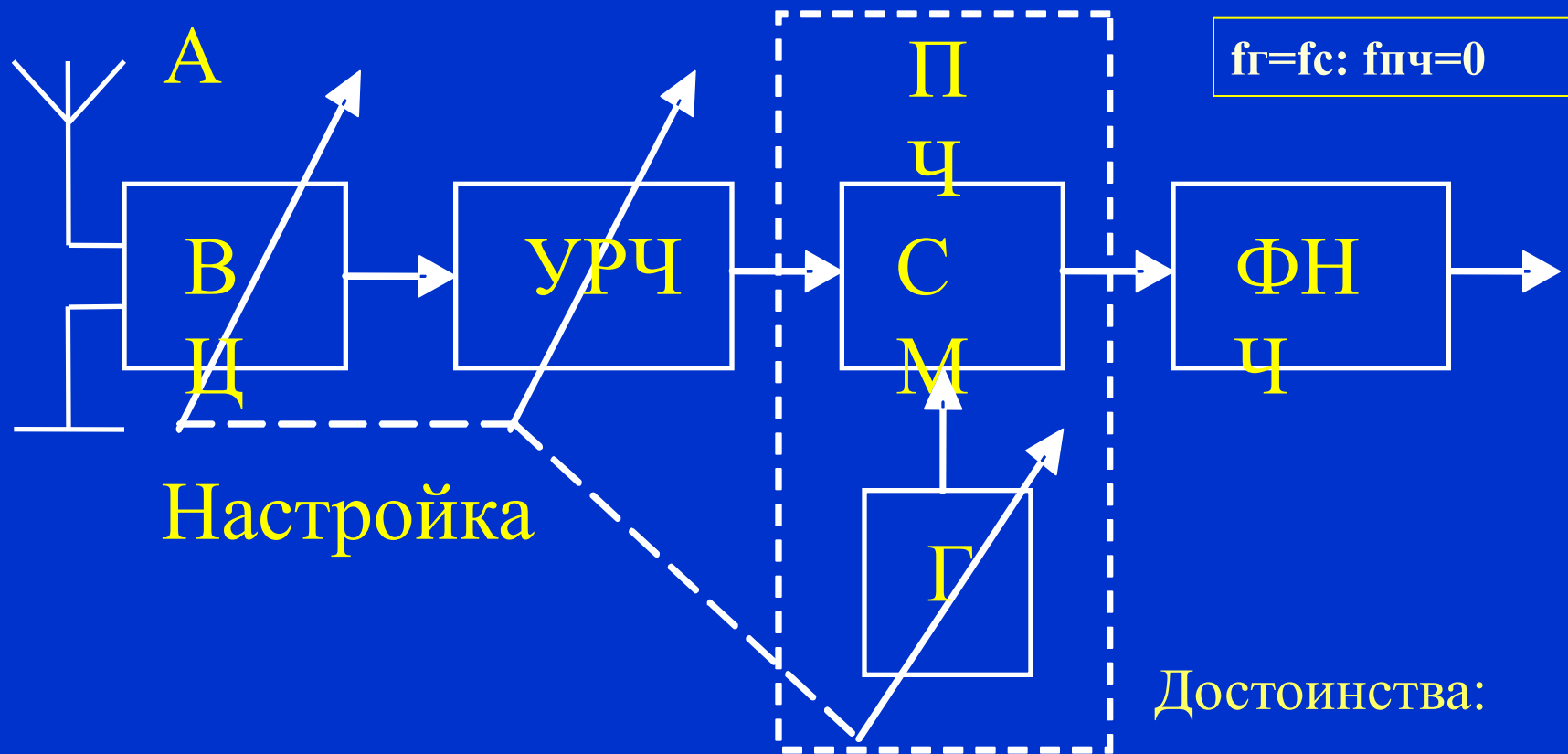
Анимация 1

Анимация 2

2-й зеркальный канал



РПрУ с синхронным прямым преобразованием



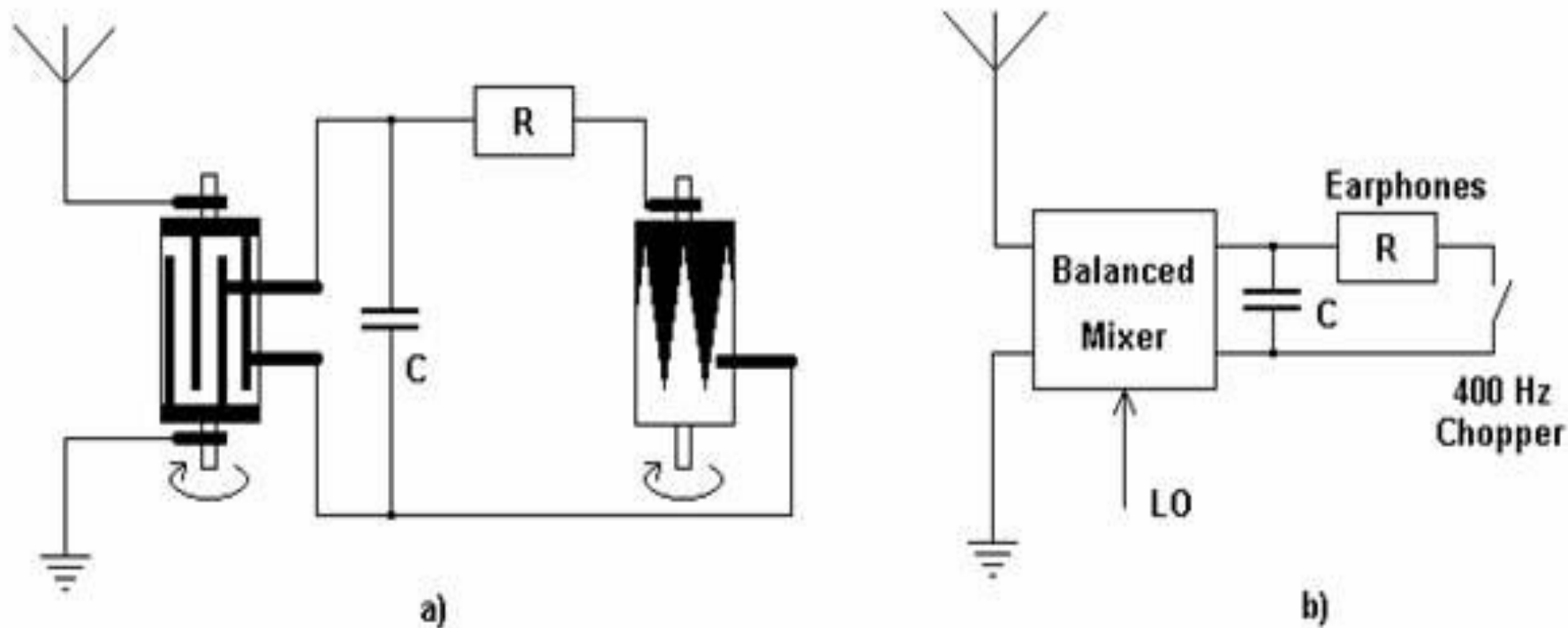
Недостатки:

1. Сложность формирования синхронного колебания гетеродина

Достоинства:

1. Отсутствие зеркального и прямого каналов
2. Отсутствие дополнительного детектора при АМ

РПУ с синхронным прямым преобразованием

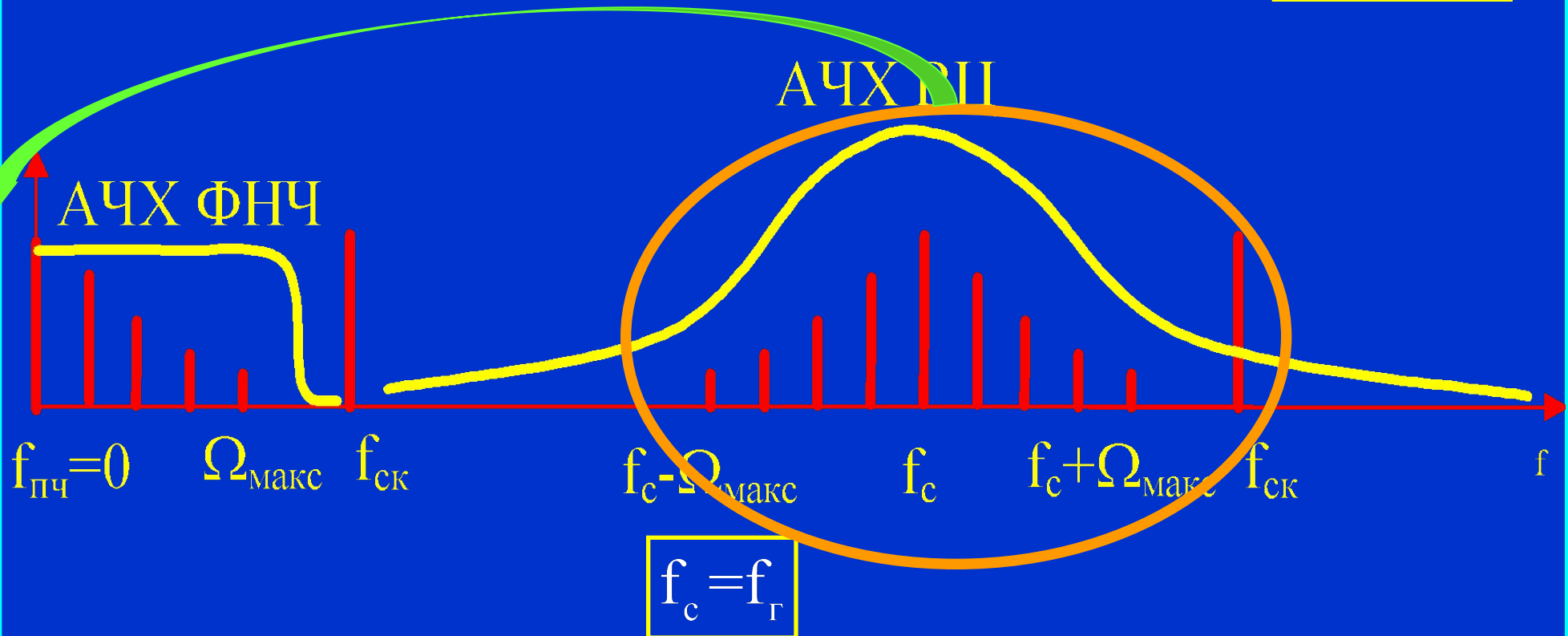


N. Tesla Synchronous Receiver (1899), a) in old, b) in modern designation

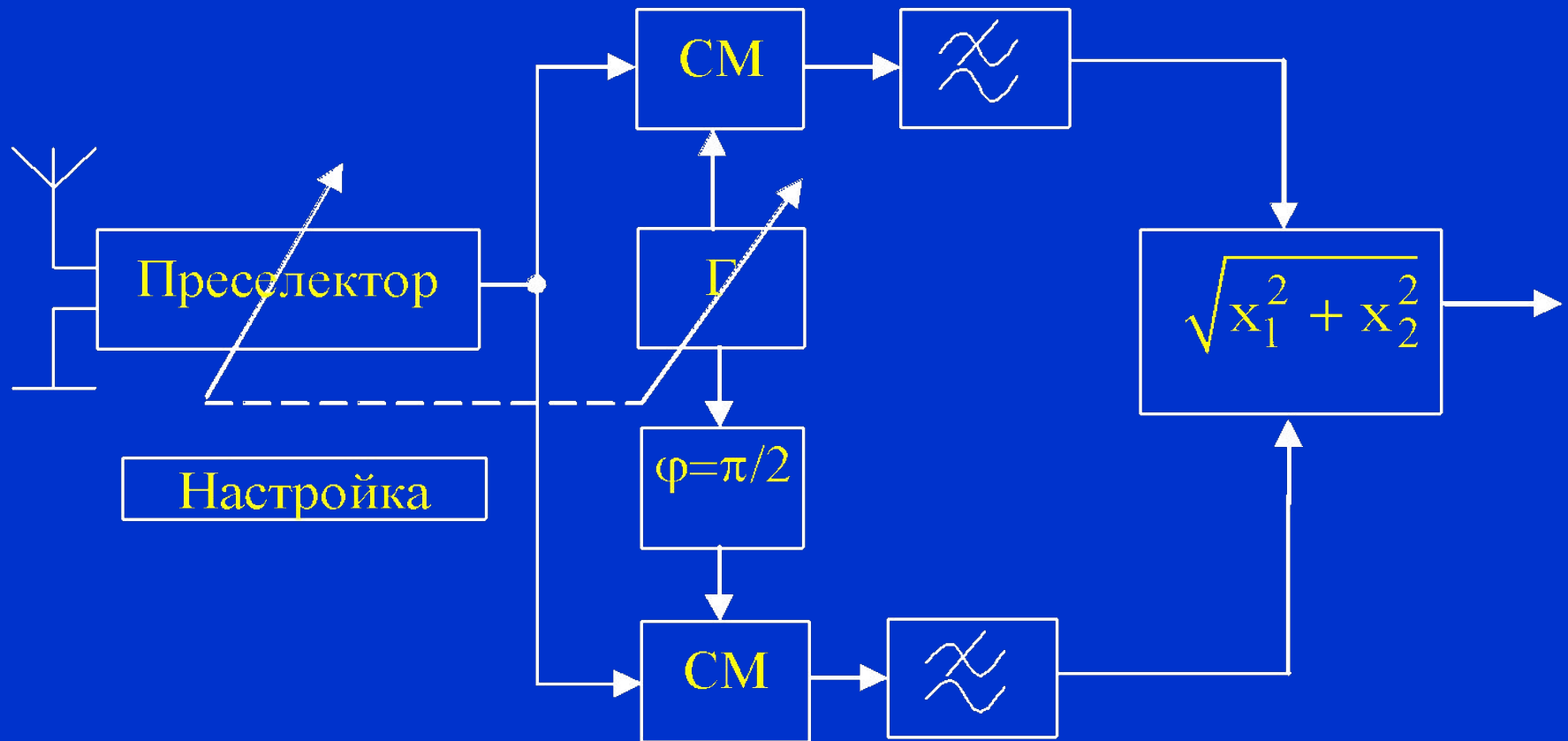
Супергетеродинные РПрУ

Синхродин или РПрУ прямого преобразования

Анимация



РПрУ с асинхронным прямым преобразованием



Недостатки:

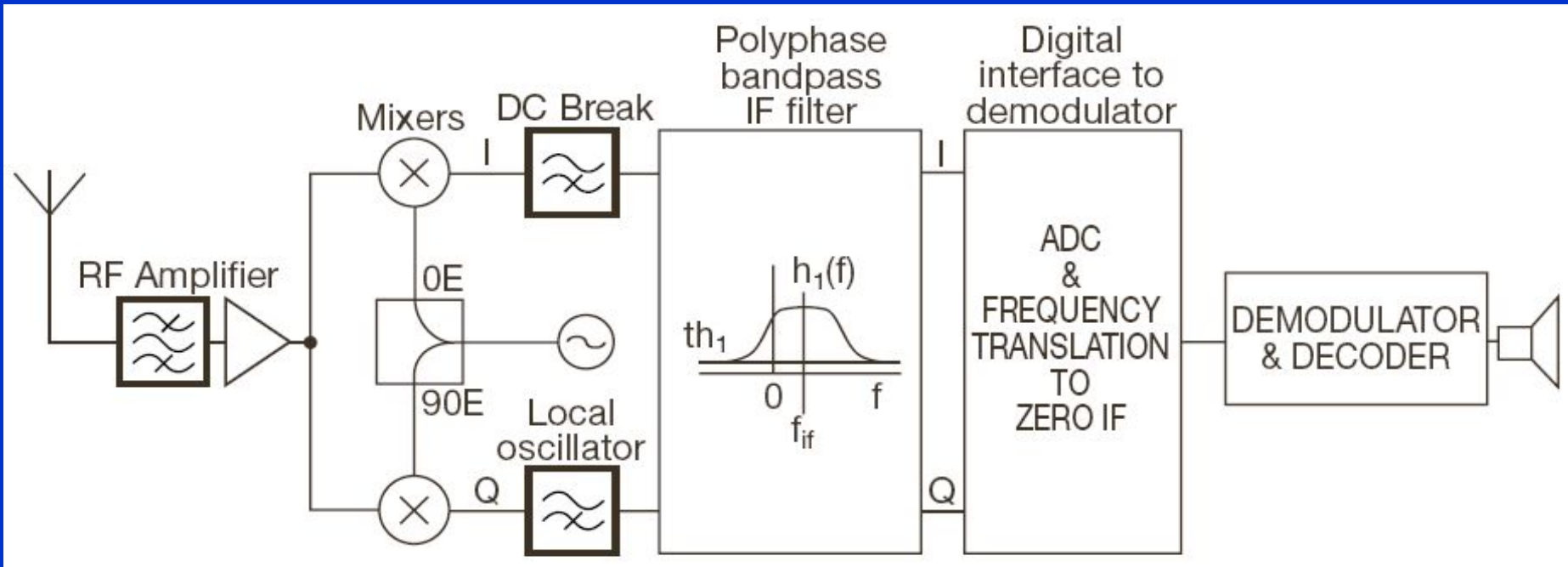
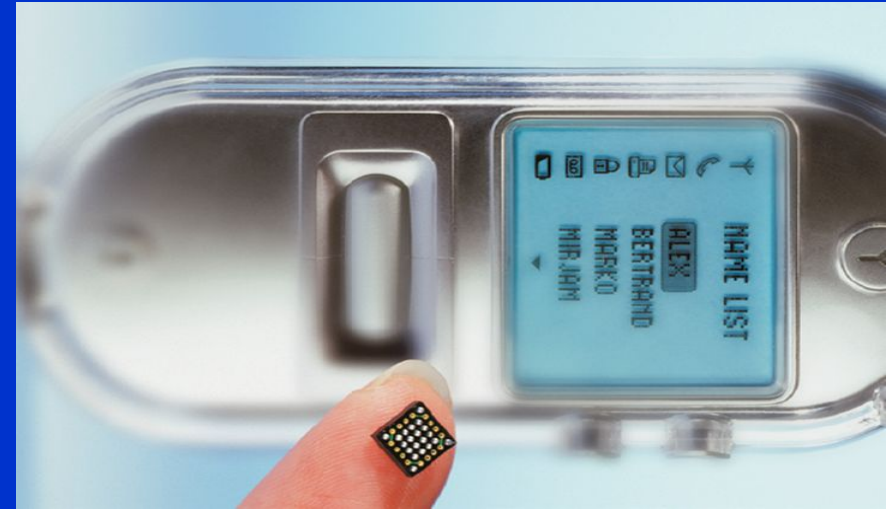
1. Появление нелинейных операций при обработке

Достоинство:

1. Синхронизация по фазе не обязательна

Супергетеродин с комплексным ПФ

**Philips Semiconductors:
UAA3537 single-chip transceiver
GSM/GPRS 2003 г.**



ОСНОВНЫЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РПУ

1. Чувствительность:

- ограниченная усилением;
- ограниченная шумами:
 - реальная;
 - предельная.

2. Верность воспроизведения:

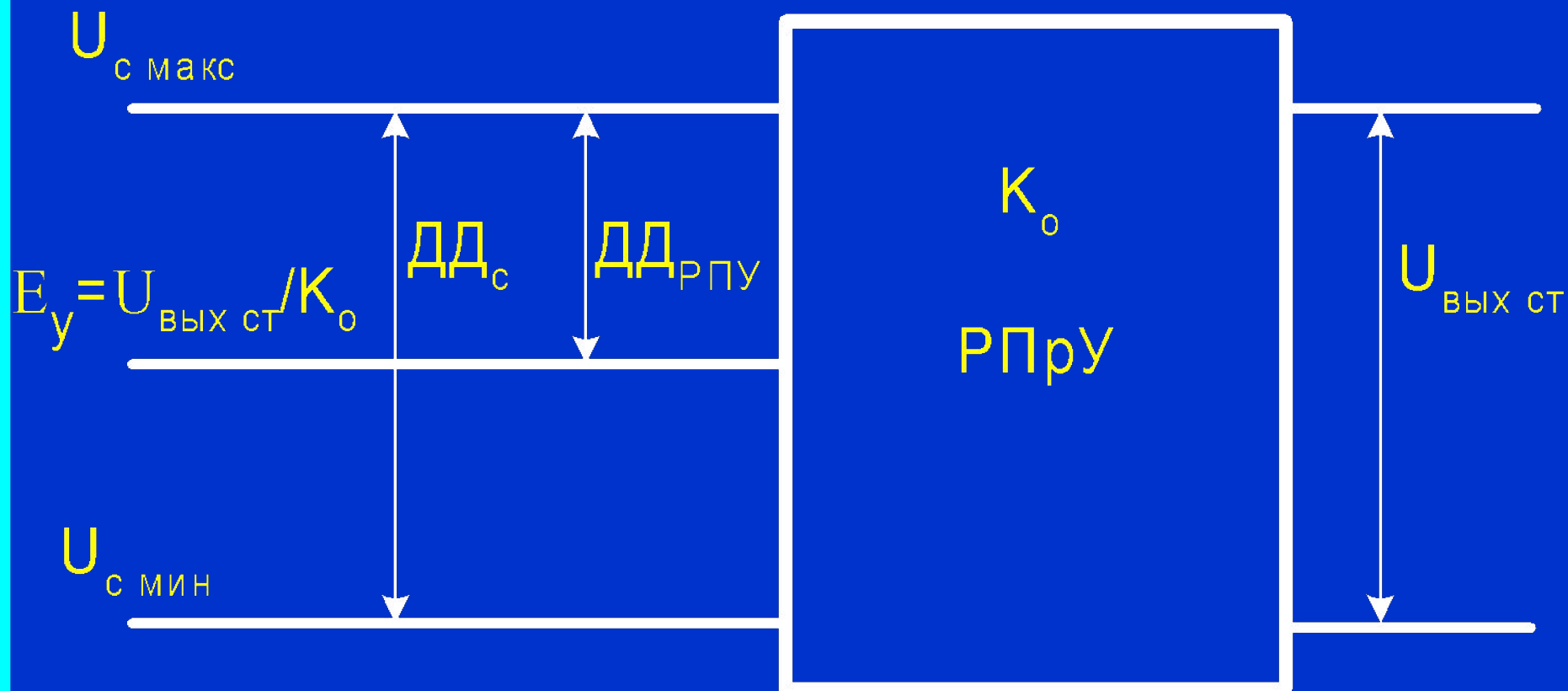
- линейные искажения:
 - АЧХ сквозного тракта;
 - ФЧХ;
- нелинейные искажения:
 - сжатие (расширение),
 - блокирование (забитие),
 - перекрестная модуляция,
 - интермодуляция.

3. Частотная селективность (избирательность):

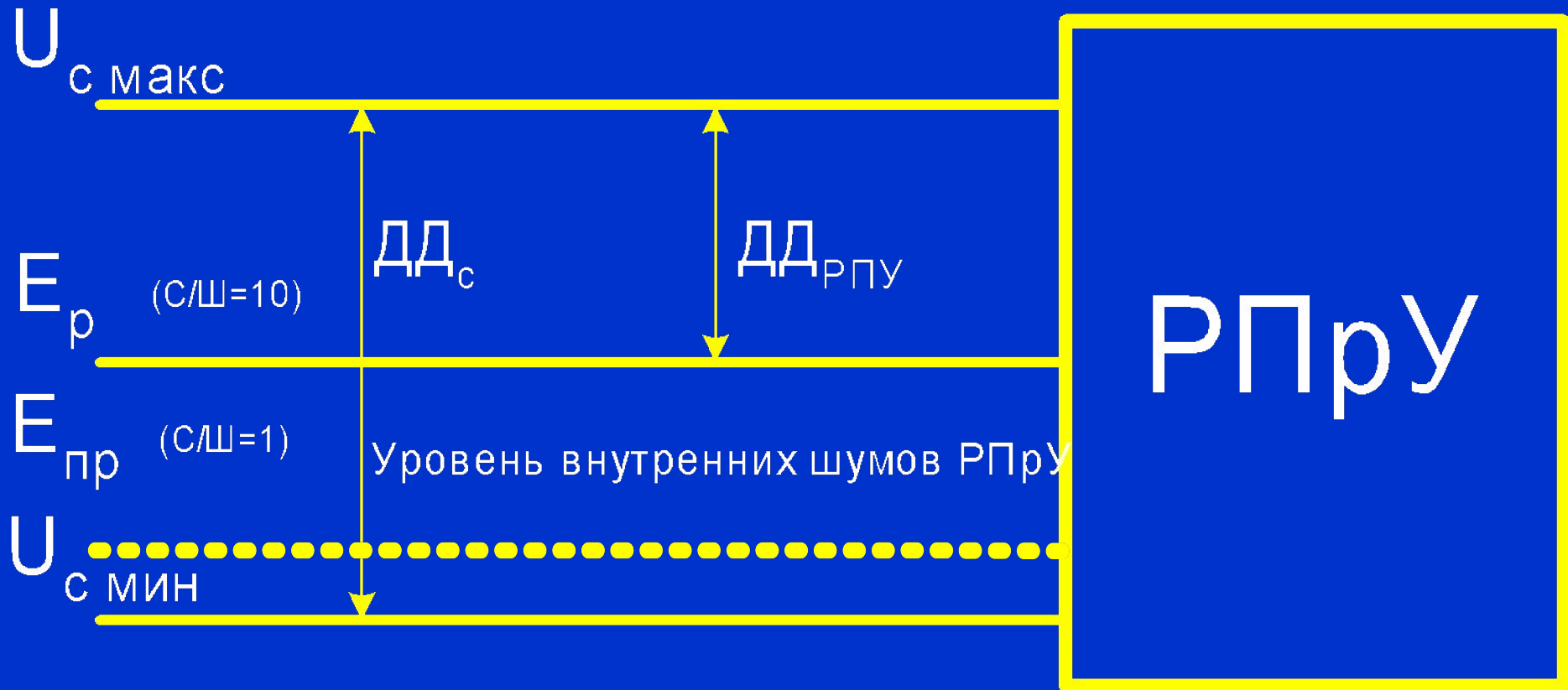
- односигнальная:
 - по соседнему каналу;
 - по зеркальному каналу;
- многосигнальная (эффективная);
 - по блокированию, по интермодуляции и т.д.

4. Эффективность системы АРУ

Чувствительность РПрУ, ограниченная усилением



Чувствительность РПрУ, ограниченная шумами



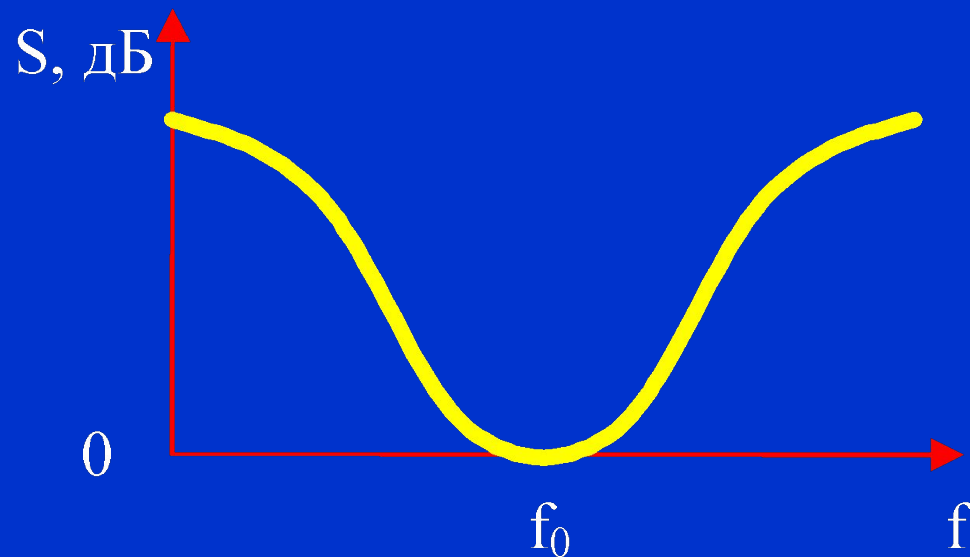
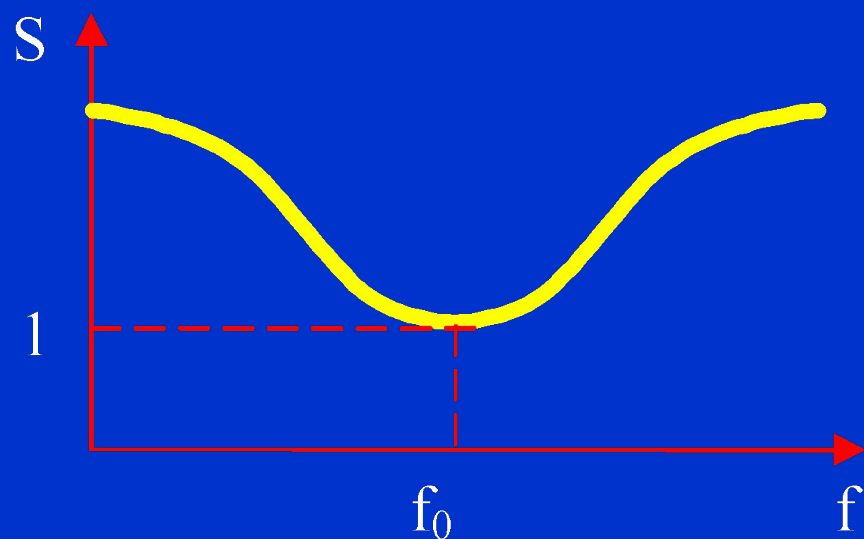
Реальная чувствительность – это минимальный уровень нормально-модулированного ВЧ сигнала на входе РПрУ, при котором на выходе РПрУ обеспечивается уровень НЧ сигнала, соответствующий стандартной выходной мощности 50 мВт и отношению сигнал/шум =10

Методика измерения реальной чувствительности РПрУ

1. Установить на ГСС необходимые параметры нормально-модулированного ВЧ сигнала: $m=30\%$, $F_{\text{мод}}=1000$ Гц (для АМ)
2. При уровне ВЧ сигнала порядка 1 мВ настроить ГСС и РПрУ на заданную частоту по максимальному показанию выходного МВ
3. Регулятором громкости установить на выходе РПрУ уровень НЧ сигнала, соответствующий стандартной выходной мощности 50 мВт
4. Отключить на ГСС модуляцию и, уменьшая уровень выходного сигнала ГСС, добиться появления на выходе уровня напряжения шумов РПрУ, значение которого меньше предыдущего в 10 раз
5. Включить модуляцию и при необходимости регулятором громкости РПрУ восстановить уровень выходного НЧ сигнала, соответствующий стандартной выходной мощности 50 мВт
6. Пункты 4 и 5 повторять до установления отношения выходных уровней НЧ сигнала при включенной и выключенной модуляции, равного 10
7. Полученный уровень выходного ВЧ сигнала ГСС будет равен величине реальной чувствительности РПрУ

Частотная селективность (избирательность)

Односигнальная:



$$S = \frac{K_0}{K}$$

Восприимчивость РЭС по ГОСТ 23611-79

Восприимчивость радиоэлектронного средства - Свойство радиоэлектронного средства и его составных частей реагировать на радиопомехи в виде электромагнитного, электрического, магнитного полей через антенну или помимо нее, или в виде напряжений, или токов в фидере, в цепях питания, управления, передачи информации, коммутации и заземления

Защитное отношение - Минимальное отношение уровня полезного радиосигнала к уровню радиопомехи на входе радиоприемного устройства, при котором обеспечивается требуемое качество функционирования радиоэлектронного средства

Уровень восприимчивости радиоэлектронного средства - Минимальный уровень радиопомехи в заданном месте ее приложения, при котором не сохраняются на необходимом уровне показатели качества функционирования радиоэлектронного средства или его составных частей

Основной канал приема - Полоса частот, находящаяся в полосе пропускания радиоприемного устройства и необходимая для приема полезного радиосигнала

Восприимчивость РЭС по ГОСТ 23611-79

Ширина полосы пропускания радиоприемного устройства на уровне X дБ -

Ширина полосы частот, в границах которой коэффициент усиления радиоприемного устройства от входа до устройства демодуляции или детектирования уменьшается по отношению к наибольшему значению на X дБ

Амплитудно-частотная характеристика радиоприемного устройства -

Зависимость коэффициента усиления радиоприемного устройства от его входа до устройства демодуляции или детектирования от частоты испытательного сигнала

Коэффициент прямоугольности основного канала приема – Отношение ширины полосы пропускания радиоприемного устройства на уровне X дБ к ширине основного канала приема

Побочный канал приема - Полоса частот, находящаяся за пределами основного канала приема, в которой радиопомеха вызывает появление отклика, обусловленного прохождением ее на вход устройства демодуляции или детектирования.

Побочные каналы приема - каналы, включающие промежуточные частоты, зеркальные частоты, комбинационные частоты и частоты, в целое число раз меньшие частоты настройки радиоприемного устройства, промежуточных и зеркальных частот

Восприимчивость РЭС по ГОСТ 23611-79

Соседний радиоканал - Полоса частот, ширина которой равна ширине полосы пропускания радиоприемного устройства, а средняя частота отстоит от частоты настройки радиоприемного устройства на минимальную заданную величину

Коэффициент прохождения по побочному каналу приема - Отношение отклика на радиопомеху, прошедшую по побочному каналу приема, к заданному отклику на полезный радиосигнал.

Уровень восприимчивости по побочному каналу приема - Минимальный уровень радиопомехи на входе радиоприемного устройства, при котором коэффициент прохождения по побочному каналу приема равен заданному значению

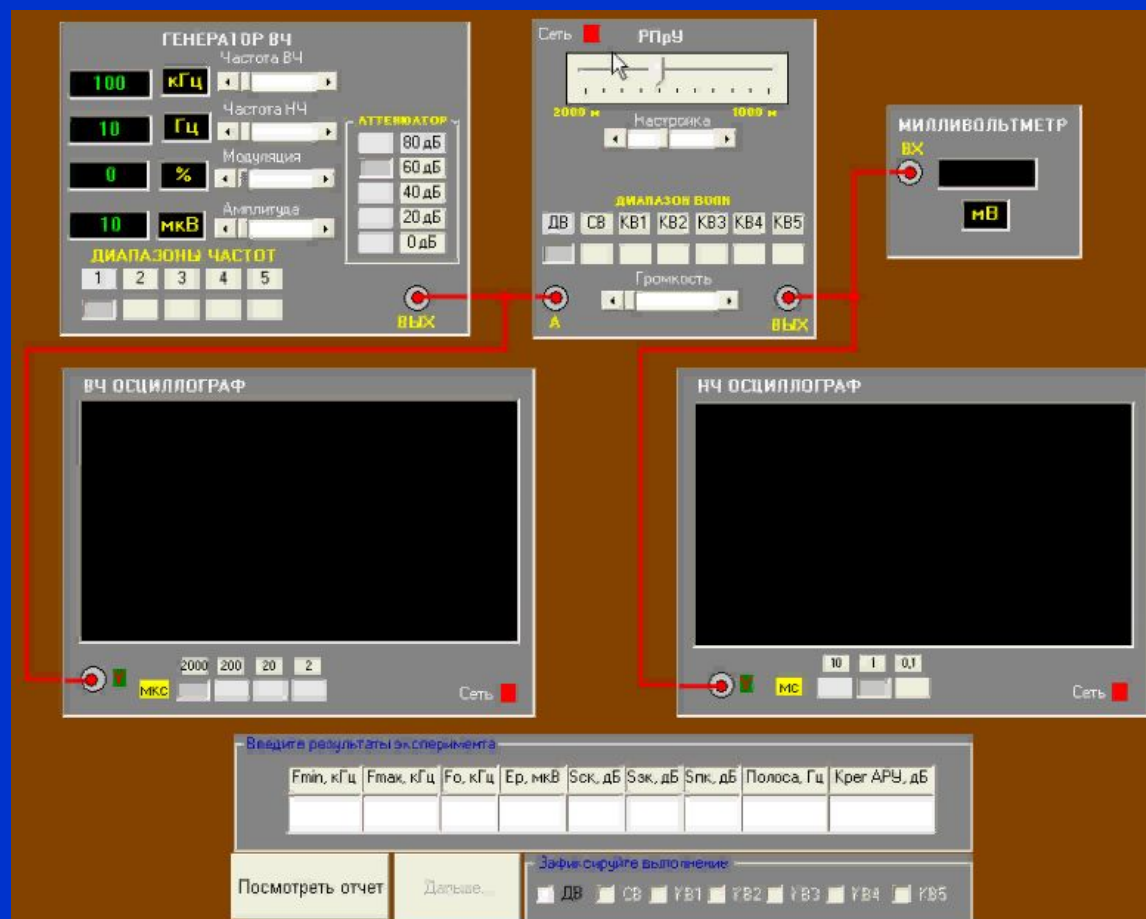
Динамический диапазон по побочному каналу приема - Отношение уровня восприимчивости по побочному каналу приема к чувствительности радиоприемного устройства

Характеристика частотной избирательности по побочным каналам приема - Зависимость уровня восприимчивости по побочным каналам приема от частоты испытательного сигнала

Методика измерения односигнальной избирательности

- 1. На частоте настройки РПрУ провести измерение реальной чувствительности**
- 2. Не изменяя настройки и положения регулятора громкости приемника, установить частоту ВЧ колебания на ГСС, соответствующую частоте побочного канала (соседний канал, прямой канал или зеркальный канал)**
- 3. При включенной модуляции увеличить в 100 - 300 раз уровень выходного сигнала ГСС до появления выходного НЧ сигнала**
- 4. Для прямого и зеркального каналов подстроить значение частоты ГСС по максимальному показанию выходного МВ**
- 5. Изменяя уровень входного ВЧ сигнала, добиться появления на выходе РПрУ выходного НЧ сигнала, соответствующего стандартной выходной мощности 50 мВт**
- 6. Рассчитать отношение полученного уровня входного ВЧ сигнала ГСС к величине реальной чувствительности. Это отношение равно коэффициенту избирательности РПрУ по соответствующему побочному каналу приема**

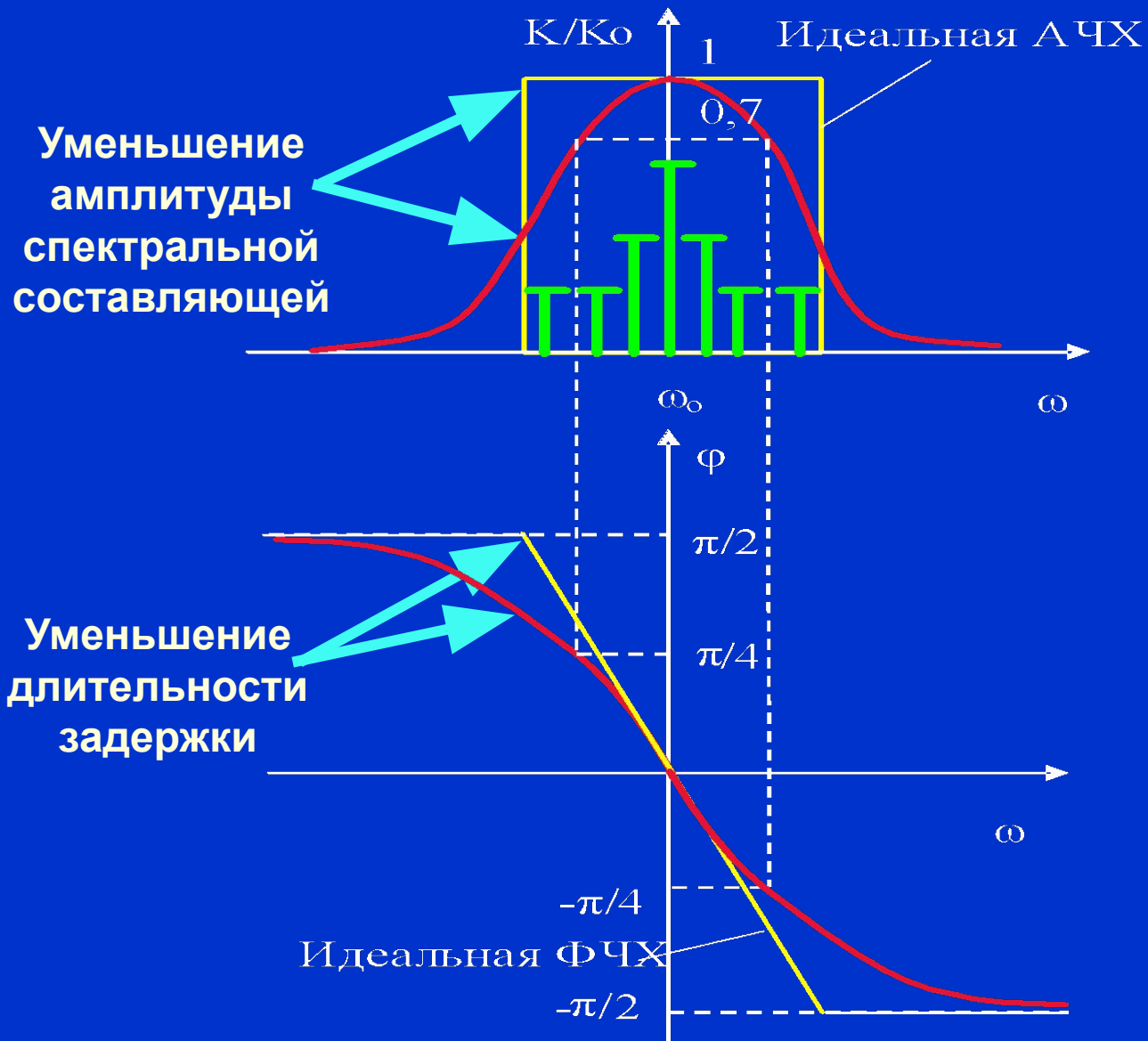
Измерение основных параметров РПрУ



Программа

Виртуальная ЛР "Метрические испытания РПрУ"

Линейные искажения



1. Изменение соотношения амплитуд составляющих спектра полезного сигнала

2. Внесение неодинаковой временной задержки составляющих спектра полезного сигнала

Время задержки для идеальной ФЧХ :

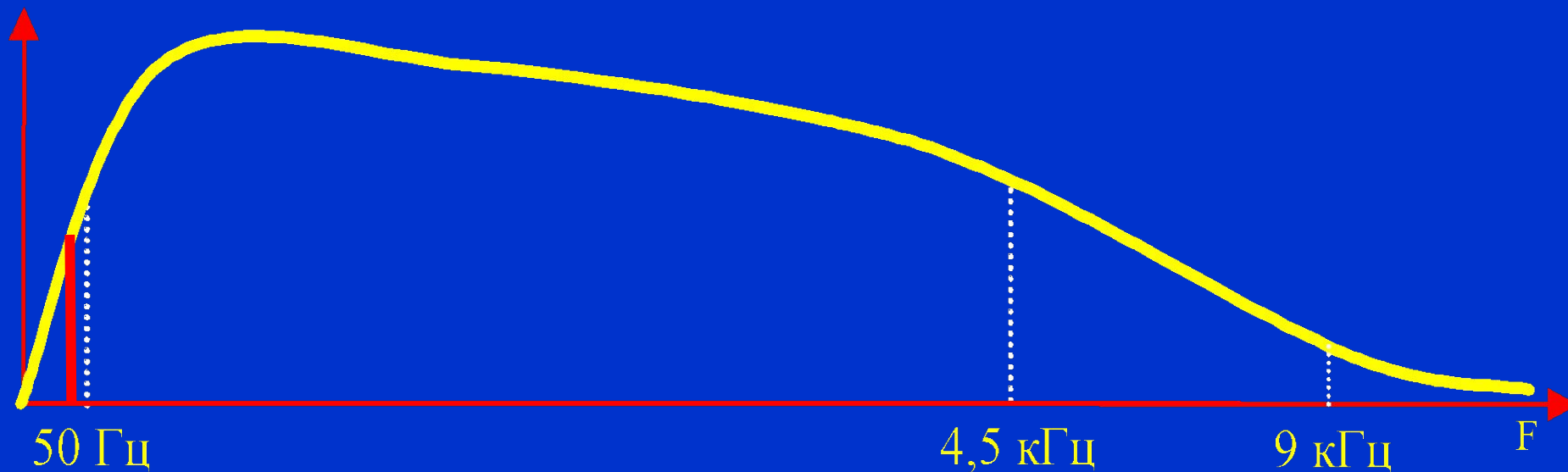
$$t_3 = \frac{\partial \varphi}{\partial \omega}$$

Кривая верности

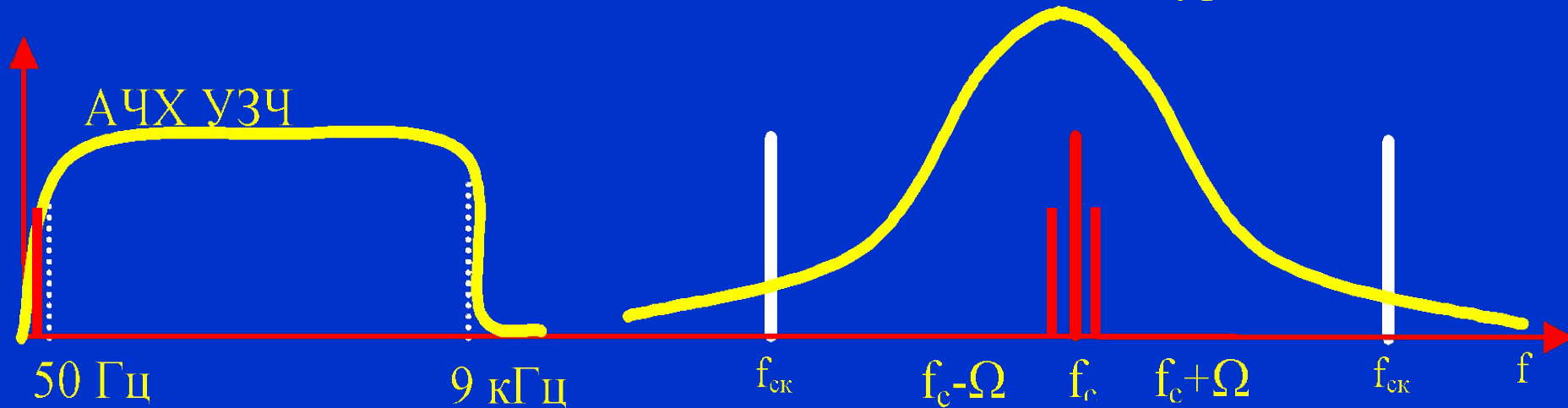
Характеристика или кривая верности - АЧХ сквозного тракта, т.е. зависимость выходного напряжения РПрУ от частоты модуляции высокочастотного колебания при постоянной глубине модуляции и постоянной амплитуде входного высокочастотного сигнала

Диапазон	Ед. измер.	Класс приёмника				
		Высший	1	2	3	4
ДВ	Гц	40-5600	63-4000	80-4000	125-3550	200-3150
СВ	Гц	40-5600	53-4000	80-4000	125-3550	200-3150
КВ	Гц	40-5600	100-4000	125-4000	125-3550	-

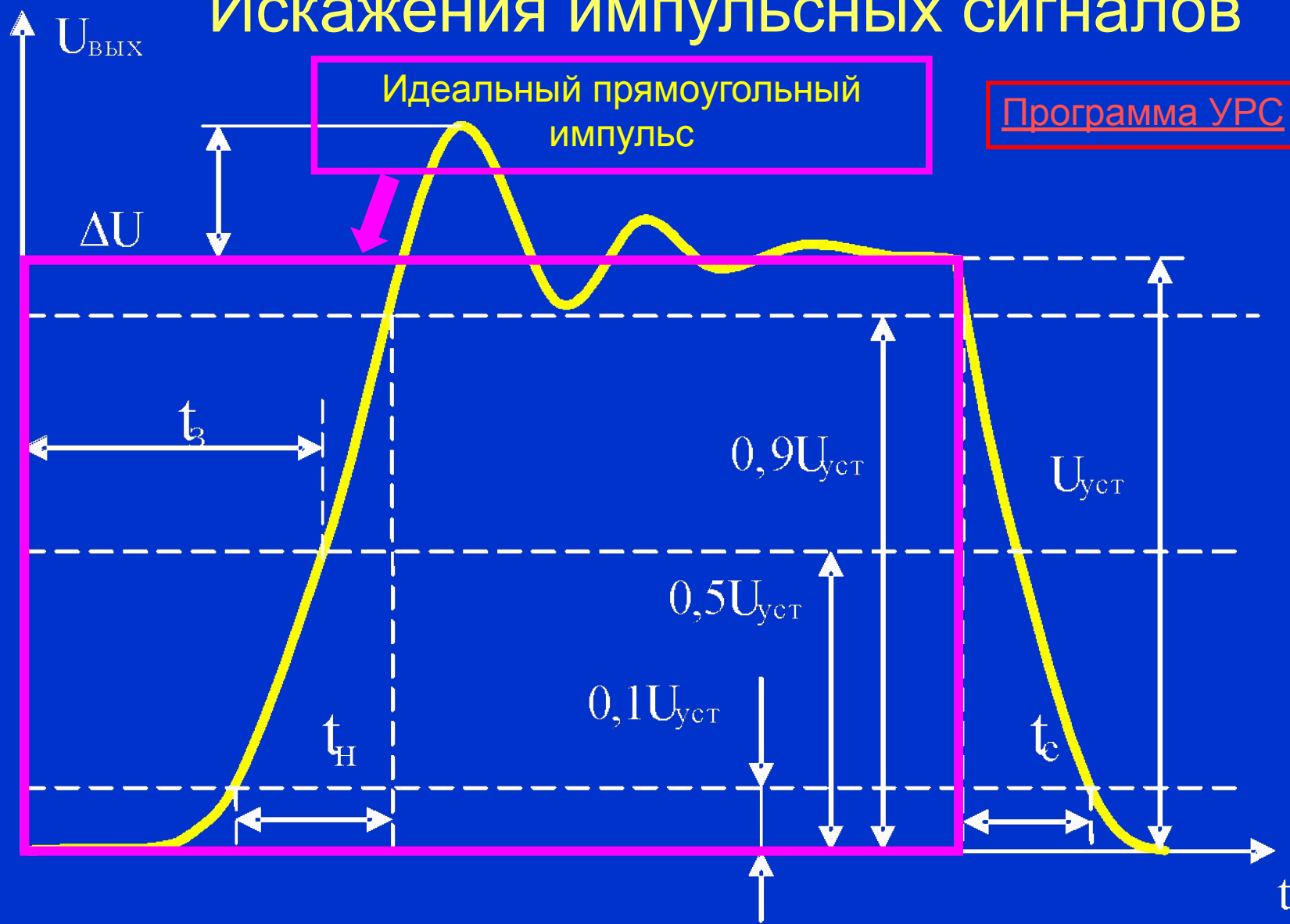
Кривая верности



АЧХ ВЧ контура



Искажения импульсных сигналов



Искажения импульсных сигналов

Переходной процесс

Частота сигнала, Гц
Fo= 2000

Добротность
Qo= 1

Минимальное время анализа
Tmin(сек)= 0.0001

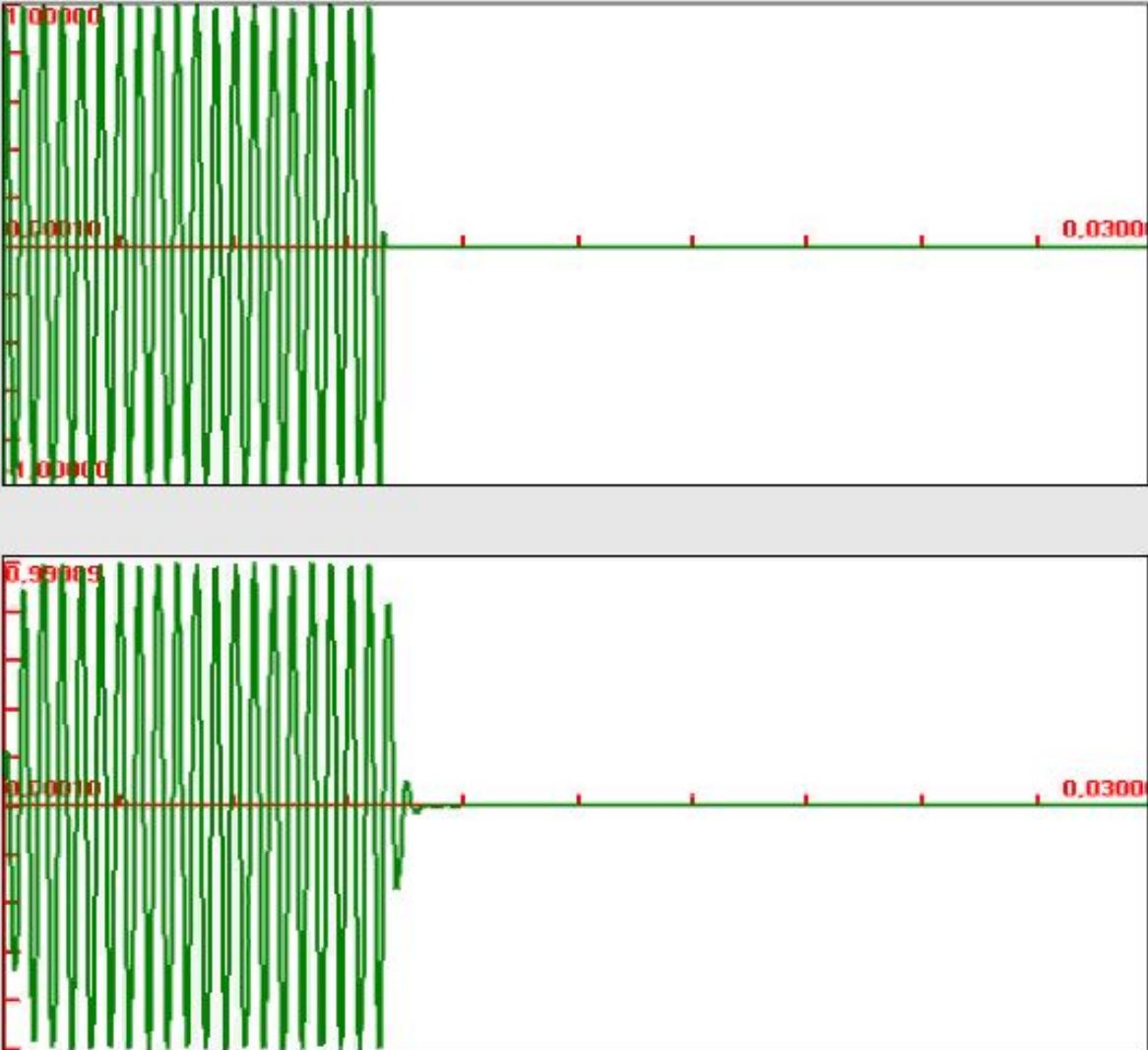
Максимальное время анализа
Tmax(сек)= 0.03

Параметр связи
b= .1

Число точек
n= 1000

Длительность импульса
timp(сек)= .01

Измерительная линейка (сек)
Включить .0003



Принципиальная схема

Виртуальная ЛР Виртуальная ЛР “Виртуальная ЛР

“Усилители радиосигналов” Виртуальная ЛР

Эффективность системы АРУ

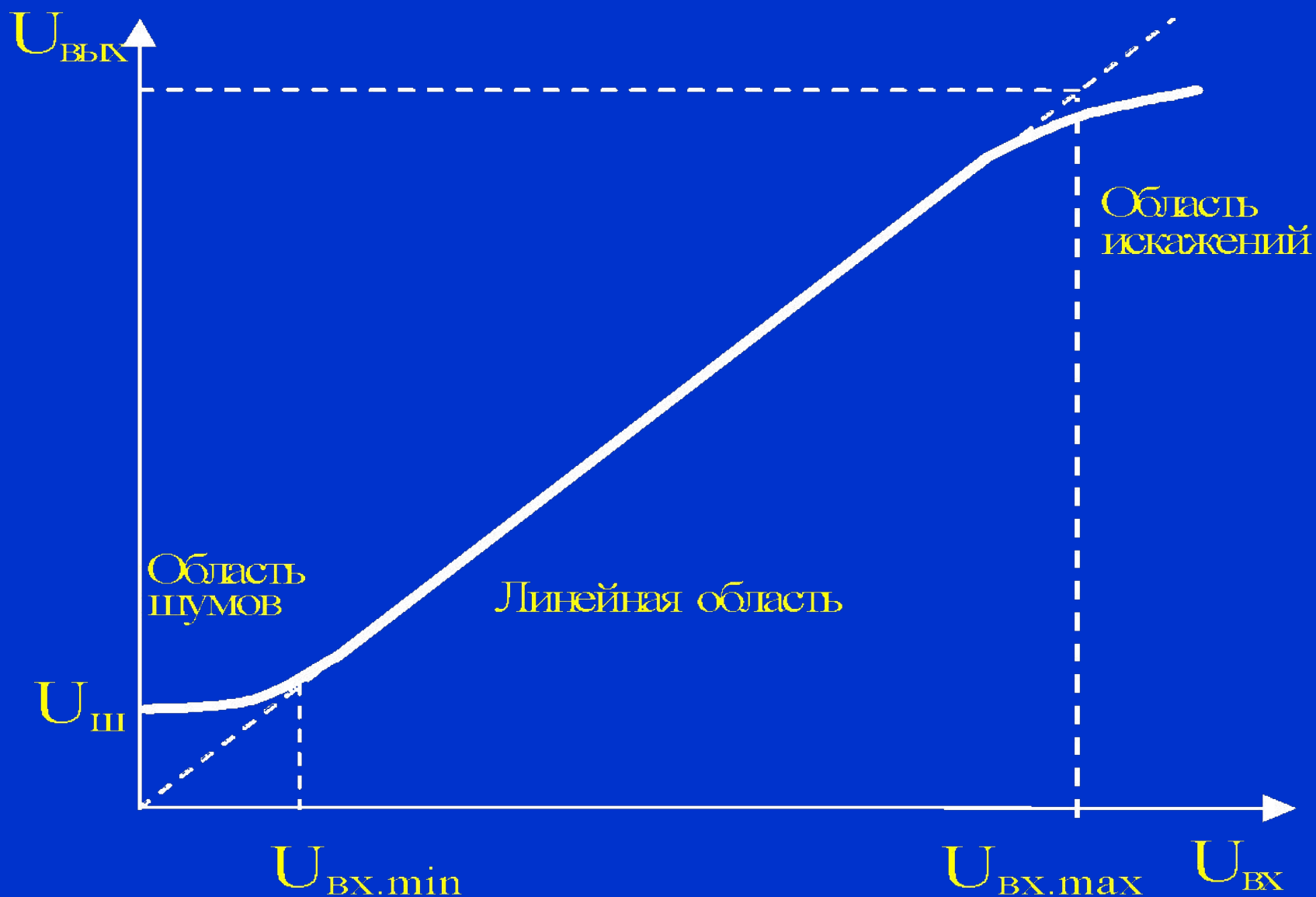
Оценивается по величине относительного изменения напряжения сигнала на выходе РПрУ при заданном относительном изменении напряжения сигнала на входе

Изменение напряжения	Класс приёмника				
	Высший	1	2	3	4
На входе (q), дБ	60	46	34	30	26
На выходе (p), дБ	10	10	10	10	10

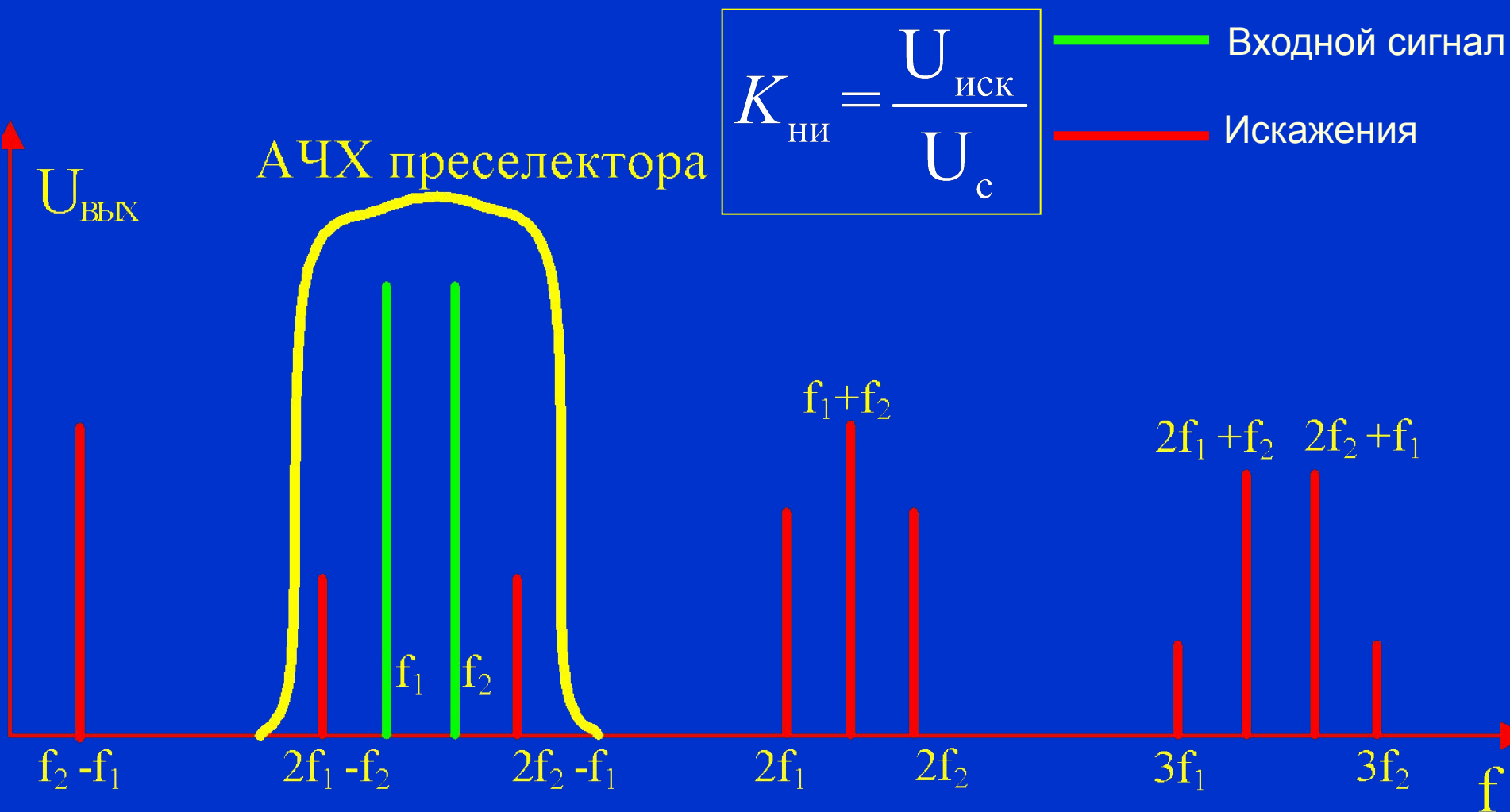
$$q = 20 \lg(U_{\text{вх.макс}} / U_{\text{вх.мин}})$$

$$p = 20 \lg(U_{\text{вых.макс}} / U_{\text{вых.мин}})$$

Амплитудная характеристика



Нелинейные искажения



Гармонические искажения и эффект сжатия (компрессии) или расширения

Оператор передачи: $y = Y_0 + K_1 x + K_2 x^2 + K_3 x^3 + \dots + K_i x^i$

Входной сигнал: $U_{вх} = U_{mc} \cos \omega_c t$

Анимация

Выходной сигнал:

$$U_{вых} = Y_0 + K_1 U_{cm} \cos \omega_c t + K_2 (U_c \cos \omega_c t)^2 + K_3 (U_c \cos \omega_c t)^3 =$$

$$= K_1 U_m \cos \omega_c t + \frac{K_2 U_{mc}^2}{2} [1 + \cos(2\omega_c t)] + \frac{K_3 U_{mc}^3}{2} \cos \omega_c t [1 + \cos(2\omega_c t)] =$$

$$= \left(Y_0 + \frac{K_2 U_{mc}^2}{2} \right) + \left(K_1 U_{cm} + \frac{3}{4} K_3 U_{mc}^3 \right) \cos \omega_c t + \frac{K_2 U_{mc}^2}{2} \cos(2\omega_c t) + \frac{K_3 U_{mc}^3}{4} \cos(3\omega_c t) =$$

Постоянная составляющая Первая гармоника Вторая гармоника Третья гармоника

$$= (Y_0 + \Delta Y_0) + (K_1 U_m + U_{сж}) + U_{f2} + U_{f3}$$

$$K_{сж} = \frac{U_{сж}}{K_1 U_{mc}} = \frac{3K_3 U_{mc}^3}{4K_1 U_{mc}} = \frac{3K_3 U_{mc}^2}{4K_1} \quad K_{г2} = \frac{1}{2} \frac{K_2}{K_1} U_{mc} \quad K_{г3} = \frac{1}{4} \frac{K_3}{K_1} U_{mc}^2$$

$K_{сж}$

$K_{г2}$

$K_{г3}$

Интермодуляционные искажения

Оператор передачи: $y = Y_0 + K_1 x + K_2 x^2 + K_3 x^3 + \dots + K_i x^i$

Входной сигнал: $U_{вх} = U_1 \cos \omega_1 t + U_2 \cos \omega_2 t$

Выходной сигнал:

$$K_2 U_{вх}^2 = K_2 (U_1 \cos \omega_1 t + U_2 \cos \omega_2 t)^2 =$$

$$= K_2 (U_1^2 \cos^2 \omega_1 t + U_2^2 \cos^2 \omega_2 t + 2U_1 U_2 \cos \omega_1 t \times \cos \omega_2 t)$$

$$K_3 U_{вх}^3 = K_3 (U_1 \cos \omega_1 t + U_2 \cos \omega_2 t)^3 = K_3 (U_1^3 \cos^3 \omega_1 t + U_2^3 \cos^3 \omega_2 t +$$

$$+ 3U_1^2 \cos^2 \omega_1 t \times U_2 \cos \omega_2 t + 3U_1 \cos \omega_1 t \times U_2^2 \cos^2 \omega_2 t)$$

$$K_{вх} U^2 \rightarrow_{11} U = {}_2 K_1 U_2 U \cos(\omega \pm_2 \omega) t$$

$$K_{вх} U^3 \rightarrow_{21} U = \frac{3}{4} K \left[U_2^2 U \cos(2\omega \pm_2 \omega) t + U_1 U_2^2 \cos(\omega \pm_2 2\omega) t \right]$$

Анимация

K_{11}

K_{21}

$$K_{11} = \frac{U_{11}}{K_1 U_{mc}} = \frac{K_2}{K_1} U_{mc}$$

$$K_{21} = \frac{U_{21}}{K_1 U_{mc}} = \frac{3K_3}{4K_1} U_{mc}^2$$

Блокирование

Оператор передачи: $y = Y_0 + K_1x + K_2x^2 + K_3x^3 + \dots + K_ix^i$

Входной сигнал: $U_{вх} = U_c + U_n = U_{mc} \cos \omega_c t + U_{mn} \cos \omega_n t$

Выходной сигнал:

$$\begin{aligned}
 K_1 U_{вх} + K_3 U_{вх}^3 &\rightarrow K_1 U_{mc} \cos \omega_c t + 3K_3 U_{mc} \cos \omega_c t \cdot U_{mn}^2 \cos^2 \omega_n t = \\
 &= U_c + U_{бл} = K_1 U_{mc} \cos \omega_c t + 3K_3 U_{mc} U_{mn}^2 \cos \omega_c t \cdot (1/2) \cdot (1 + \cos 2\omega_n t) \equiv \\
 &\equiv K_1 U_{mc} \cos \omega_c t + \frac{3}{2} K_3 U_{mc} U_{mn}^2 \cos \omega_c t
 \end{aligned}$$

Полезный сигнал

Блокирование

$$K_{бл} = \frac{U_{бл}}{K_1 U_{mc}} = \frac{3K_3 U_{mc} U_{mn}^2}{2K_1 U_{mc}} = \frac{3K_3 U_{mn}^2}{2K_1}$$

Перекрестные искажения

Оператор передачи: $y = Y_0 + K_1 x + K_2 x^2 + K_3 x^3 + \dots + K_i x^i$

Входной сигнал: $U_{вх} = U_{mc} [1 + m_c \cos \Omega_c t] \cos \omega_c t + U_{mn} [1 + m_n \cos \Omega_n t] \cos \omega_n t$

Выходной сигнал:

$$\begin{aligned}
 & K_{1вх} U_{вх} + K_{3вх} U_{вх}^3 \rightarrow K_{3вх} U_{вх}^3 \rightarrow U_{пер} = U_{mc} [1 + m_c \cos \Omega_c t] \cos \omega_c t + \\
 & + 3K_{3вх} U_{mc} [1 + m_c \cos \Omega_c t] \cos \omega_c t \times U_{mn}^2 [1 + m_n \cos \Omega_n t]^2 \cos^2 \omega_n t = \\
 & = K_{1вх} U_{mc} [1 + m_c \cos \Omega_c t] \cos \omega_c t + 3K_{3вх} U_{mc} \cos \omega_c t \times U_{mn}^2 [1 + 2m_n \cos \Omega_n t + \\
 & + m_n^2 \cos^2 \Omega_n t] \times (1/2) \times (1 + \cos 2\omega_n t) \rightarrow \\
 & \rightarrow K_{1вх} U_{mc} [1 + m_c \cos \Omega_c t] \cos \omega_c t + \frac{3}{2} K_{3вх} U_{mc} (1 + 2m_n \cos \Omega_n t) U_{mn}^2 \cos \omega_c t \rightarrow \\
 & \rightarrow K_{1вх} U_{mc} m_{сн} \cos \Omega_c t + 3K_{3вх} m_n U_{mc} U_{mn}^2 \cos \Omega_n t
 \end{aligned}$$

$$K_{пер} = \frac{U_{пер}}{K_1 U_{сн}} = \frac{3K_3 m_n U_{mc} U_{mn}^2}{K_1 m_c U_{mc}} = \frac{3K_3 m_n U_{mn}^2}{K_1 m_c}$$

Восприимчивость РЭС к нелинейным эффектам по ГОСТ 23611-79

Интермодуляция в радиоприемном устройстве - Возникновение отклика на выходе радиоприемного устройства в результате взаимодействия на его нелинейных элементах двух или более радиопомех

Коэффициент интермодуляции - Отношение отклика, возникающего в результате интермодуляции в радиоприемном устройстве, к заданному отклику на полезный радиосигнал

Уровень восприимчивости к интермодуляции - Минимальный уровень двух одинаковых по значению радиопомех на входе радиоприемного устройства, при котором коэффициент интермодуляции равен заданному значению

Динамический диапазон по интермодуляции - Отношение уровня восприимчивости к интермодуляции к чувствительности радиоприемного устройства

Характеристика частотной избирательности по интермодуляции - Зависимость уровня восприимчивости к интермодуляции от частоты одного испытательного сигнала при частоте второго испытательного сигнала, при которой возникает интермодуляция в радиоприемном устройстве

Восприимчивость РЭС к нелинейным эффектам по ГОСТ 23611-79

Блокирование - Изменение отклика на полезный радиосигнал при наличии на входе радиоприемного устройства хотя бы одной радиопомехи

Коэффициент блокирования - Отношение откликов на полезный радиосигнал при наличии и отсутствии на входе радиоприемного устройства радиопомехи, обуславливающей блокирование

Уровень восприимчивости к блокированию - Минимальный уровень радиопомехи на входе радиоприемного устройства, при котором коэффициент блокирования равен заданному значению

Динамический диапазон по блокированию - Отношение уровня восприимчивости к блокированию к чувствительности радиоприемного устройства

Характеристика частотной избирательности по блокированию - Зависимость уровня восприимчивости к блокированию от частоты испытательного сигнала

Восприимчивость РЭС к нелинейным эффектам по ГОСТ 23611-79

Перекрестные искажения - Изменение спектрального состава полезного радиосигнала на выходе радиоприемного устройства при наличии на его входе модулированной радиопомехи

Коэффициент перекрестных искажений - Отношение отклика, возникающего в результате перекрестных искажений, к заданному отклику на полезный радиосигнал

Уровень восприимчивости к перекрестным искажениям - Минимальный уровень радиопомех на входе радиоприемного устройства, при котором коэффициент перекрестных искажений равен заданному значению

Динамический диапазон по перекрестным искажениям - Отношение уровня восприимчивости к перекрестным искажениям к чувствительности радиоприемного устройства.

Характеристика частотной избирательности по перекрестным искажениям - Зависимость уровня восприимчивости к перекрестным искажениям от частоты испытательного сигнала

Оценка эффективной избирательности

1. Подавление помех при расстройке и заданной величине искажений.
2. Отношение уровня мешающего сигнала или сигналов, уменьшающих значение показателя SINAD на 6 дБ, к уровню полезного сигнала, при котором SINAD = 12 дБ

$$\text{SINAD} = \frac{\text{SND}}{\text{ND}} = \sqrt{1 + \frac{U_c^2}{U_{\text{ш}}^2 + U_{\text{иск}}^2}}$$

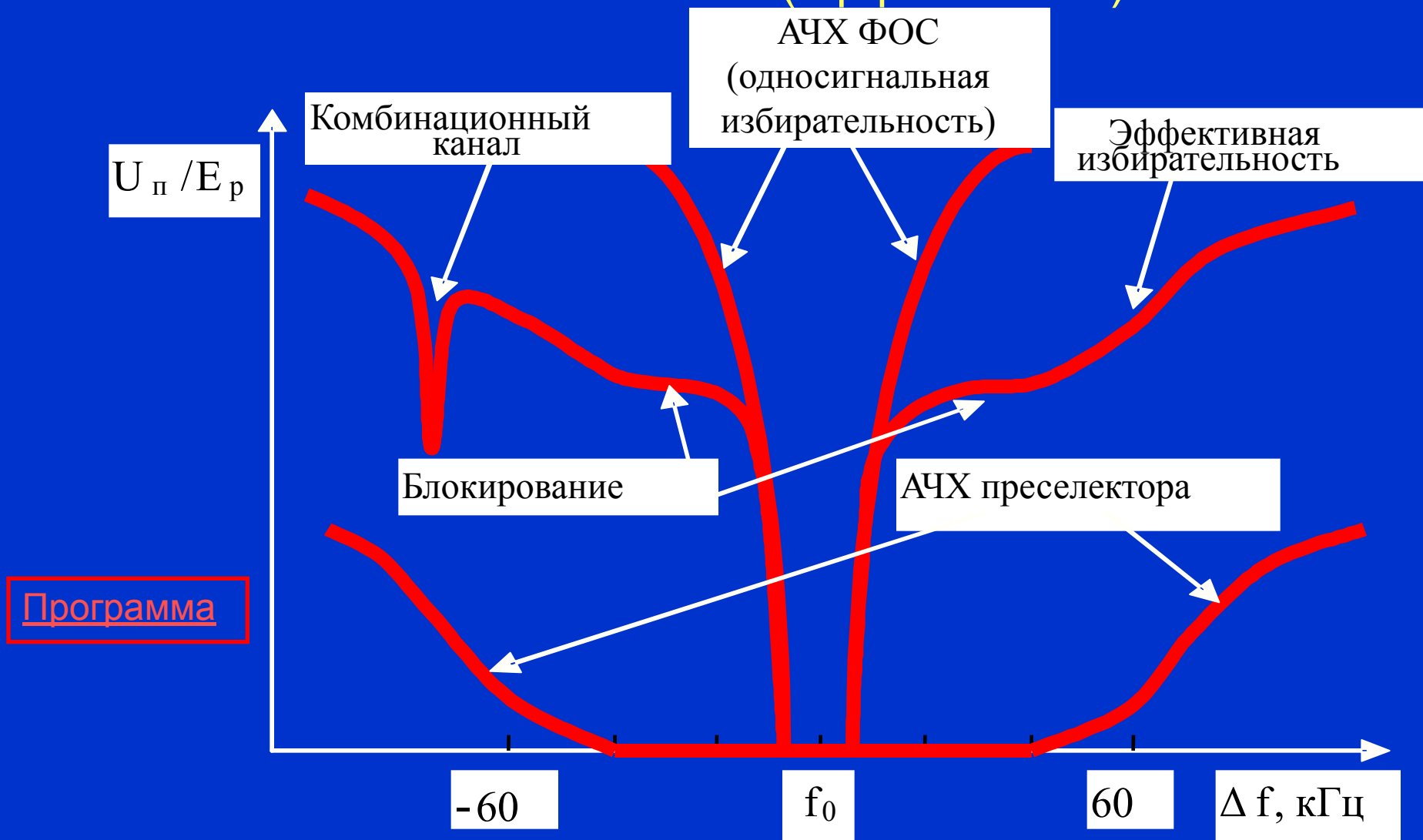
SINAD - Signal-Noise-And-Distortion

SND (Signal-Noise-Distortion) – сумма полезного сигнала, шума и искажений;

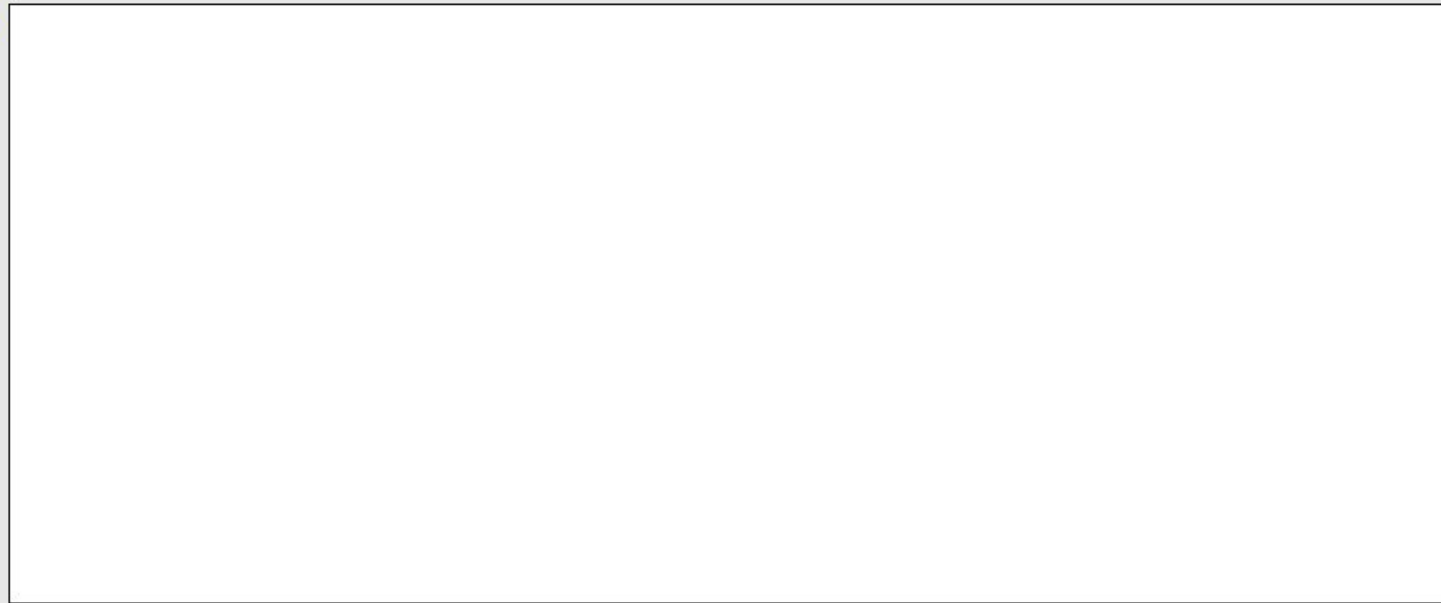
ND (Noise-And-Distortion) - сумма шума и искажений.

Частотная селективность (избирательность)

Многосигнальная (эффективная)



Частотная селективность (избирательность)

Затухание,
дБ

Частота, кГц

Параметры преселектора

Число звеньев:

Добротность:

Частота настройки, кГц:

Измерение

Подавление

Амплитуда

Отключить

Легенда

Параметры ФСИ

Число звеньев:

Добротность:

Частота, кГц:

Коэффициент блокирования

Кбл=

Диапазон частот

Фмин, кГц=

Фмакс, кГц=

Расчет

Реальная чувствительность

Ур, мкВ=

Сигналы и помехи

F1, кГц= F2, кГц= Fc, кГц=

Порядок продукта

 n=2

Показать

 2F F1-F2 F1+F2 n=3

Показать

 3F 2F1-F2 2F1+F2 F1-2F2 F1+2F2

Виртуальная ЛР Виртуальная ЛР “Виртуальная ЛР

“Эффективная избирательность РПру” Виртуальная ЛР

“Эффективная избирательность РПру”

Графическое представление НИ

$U_{\text{вых}},$
дБмкВ

Анимация ДД

Анимация IP3

Анимация IP2

Анимация CP

В относительных
единицах:

1 дел = 20 дБ

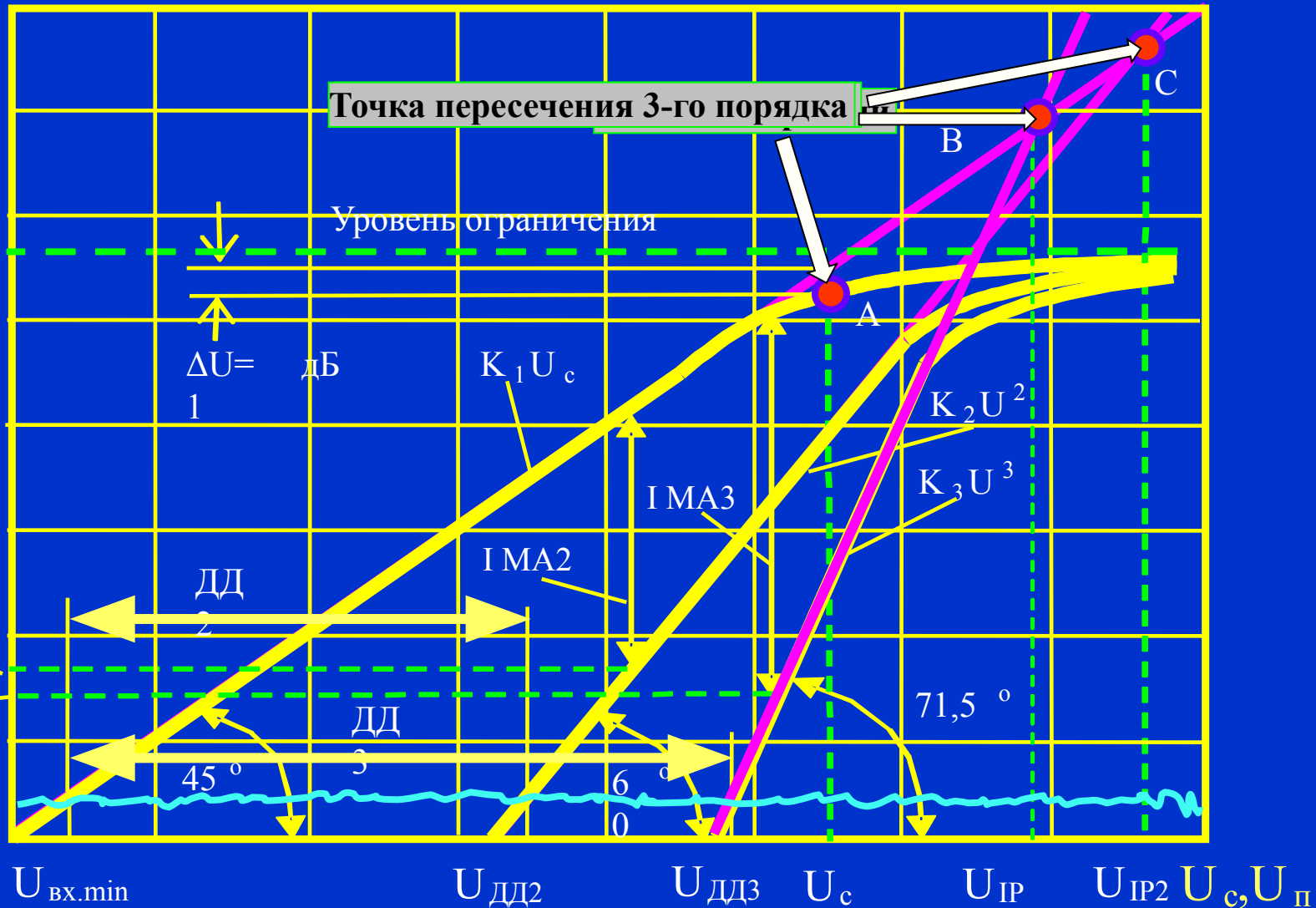
IPR

2

IPR

3

$U_{\text{ш}}$



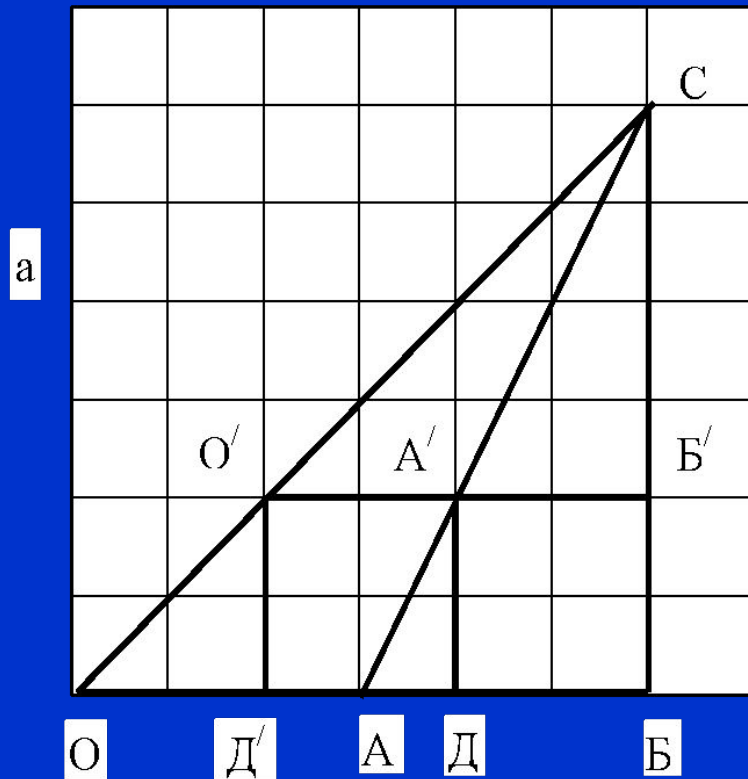
[Программа](#)

В относительных единицах: 1 дел = 20^p дБ

д мкВ
Б

Анализ графического представления НИ

Интермодуляция 2-го
порядка:

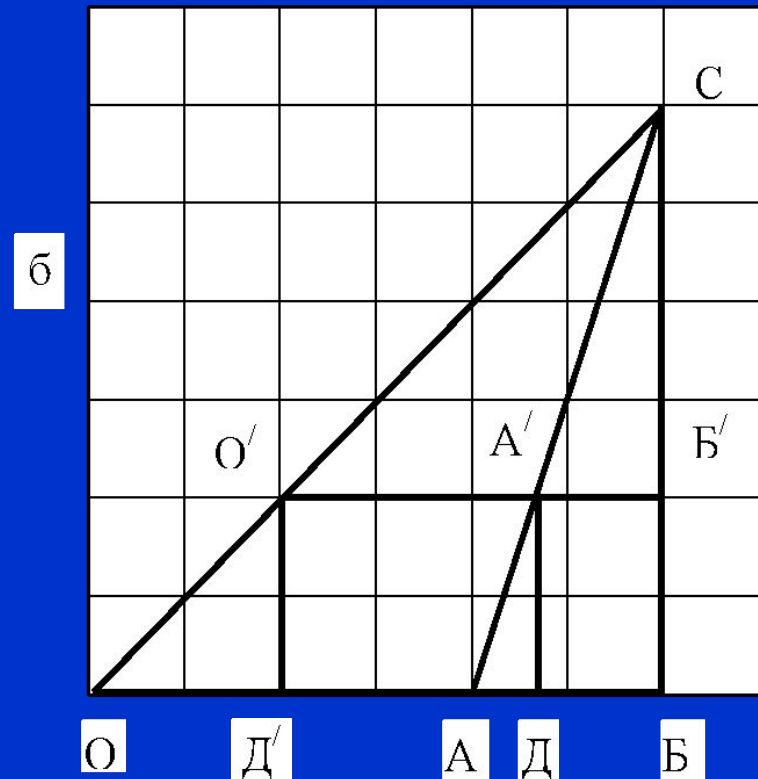


$$(1) \quad OD = OB - A'B' = OB - \frac{O'A'}{N-1}$$

$$(2) \quad O'A' = D'D = OD - OD'$$

(2) в (1)

Интермодуляция 3-го
порядка:



$$(3) \quad OD = \frac{OD'}{N} OB - \frac{O'A'}{N}$$

$$(4) \quad D'D = \frac{N-1}{N} OB - \frac{1-N}{N} OD'$$

Динамический диапазон

$$ДД = \frac{U_{ВХ \text{ макс}}}{U_{ВХ \text{ мин}}}$$

По блокированию:

$$ДД_{\text{бл}} = (U_{\text{пор бл}} - U_{\text{ш}}), \quad \text{дБ}$$

По интермодуляции:

$$ДД_N = [(N-1)/N](U_{IPN} - U_{\text{ш}}), \quad \text{дБ}; \quad U_{\text{ДД}N} = \frac{1}{N}[(N-1)U_{IPN} + U_{\text{ш}}],$$

второго порядка:

$$ДД_2 = (1/2)(U_{IP2} - U_{\text{ш}}), \quad \text{дБ}; \quad U_{\text{ДД}2} = (U_{\text{ш}} + U_{IP2})/2, \quad \text{дБмкВ}$$

третьего порядка:

$$ДД_3 = (2/3)(U_{IP3} - U_{\text{ш}}), \quad \text{дБ}; \quad U_{\text{ДД}3} = (U_{\text{ш}} + 2U_{IP3})/3, \quad \text{дБмкВ}$$