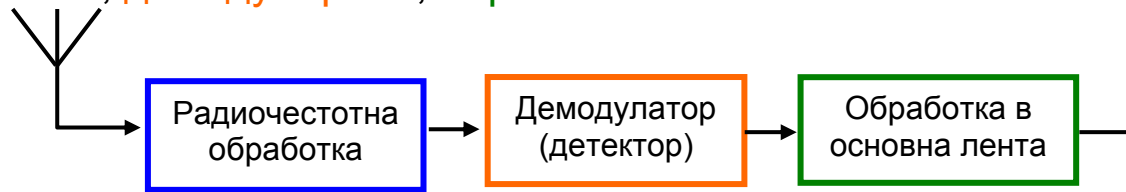


Архитектури на радиоприемни
устройства. Изследване на
суперхетеродинен приемник.

Общи въпроси

Задачи на приемниците: **Отделяне** на желанния сигнал от останалите сигнали и от други смущения; **усилване** на желанния сигнал; **демодулиране**; **обработка на сигнала в основна лента**.



Архитектури на приемници: различават се главно по блока за радиочестотна обработка и (понякога) по начина на демодулация:

- Линеен приемник – близък до ума, но лош; приложение – в курсовете по радиоприемни устройства като лош пример;
- **Суперхетеродинен приемник (СХП)** – доскоро най-разпространен; напоследък изместен от следващия;
- **Приемник с пряко преобразуване** – едва ли е по-добър от СХП, но добре се интегрира
- Свърхрегенеративен – в сферата на любопитните факти; все пак се прилага, по-скоро за неотговорни цели.
- Други, най-вече вариации на горните

Параметри на приемниците (първо четене):

- **Работен честотен обхват** – от каква до каква честота са каналите, на които приемникът може да се настрои;
- **Чувствителност** = способност за приемане на слаби сигнали; минимално ниво на приемания сигнал, при което все още може да се достигне зададена достоверност на приемане (стойност на SNR, BER).
- **Селективност** (избирателност) – различни видове; с колко dB се потиска даден вид нежелан сигнал; една от най-важните – **селективност по съседен канал** (ако възможно най-близкият по честота сигнал се потиска с еди-колко си dB, другите ще се потискат още по-добре... с някои важни изключения, ще ги видим по-нататък).

Чувствителност на приемник

Какво се случва, когато приеманият сигнал стане много слаб:

- Недостатъчно ниво на входа на демодулатора – слаб или/и изкривен сигнал в основна лента. Днес обаче, осигуряването на предостатъчно усилване не е проблем.
- Сигналят става твърде слаб спрямо шумовете на входа на приемника и собствените шумове на приемника → лошо CNR (Carrier to Noise Ratio, отношение "носецо трептение/шум") на входа на демодулатора → приемане с недостатъчна достоверност. Това днес е основният проблем.

Определяне на чувствителността (за наземни системи)

Шум, приведен към входа на приемника:

$$P_{n[dBm]} = -174 + 10\lg(B) + NF, \quad -174 \text{ dBm за } 1 \text{ Hz е}$$

спектралната плътност на мощността на топлинния шум при $T=290 \text{ K}$ (това е една "стандартна" температура); B е честотната лента (грубо казано), NF е коеф. на шум на приемника (в dB).

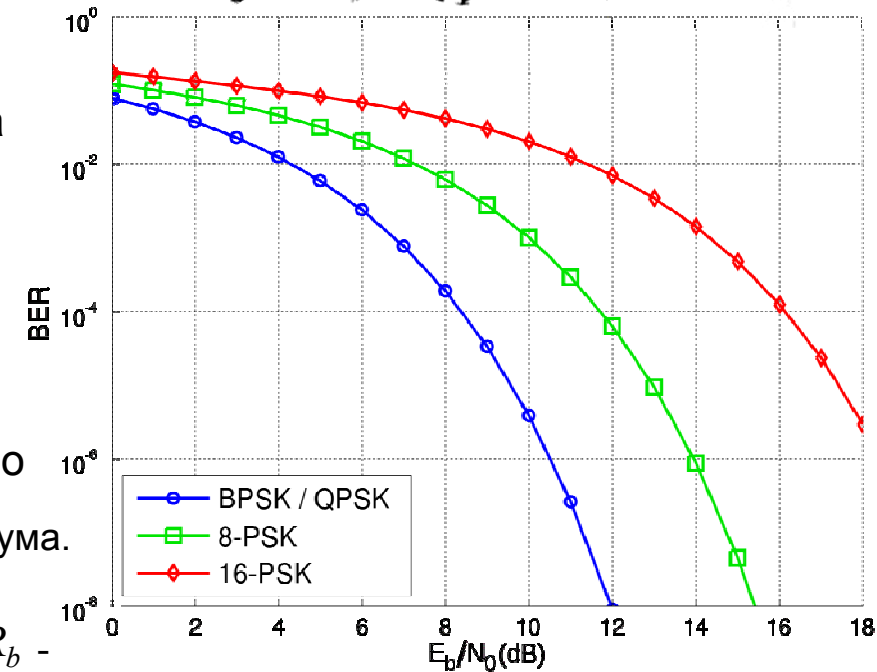
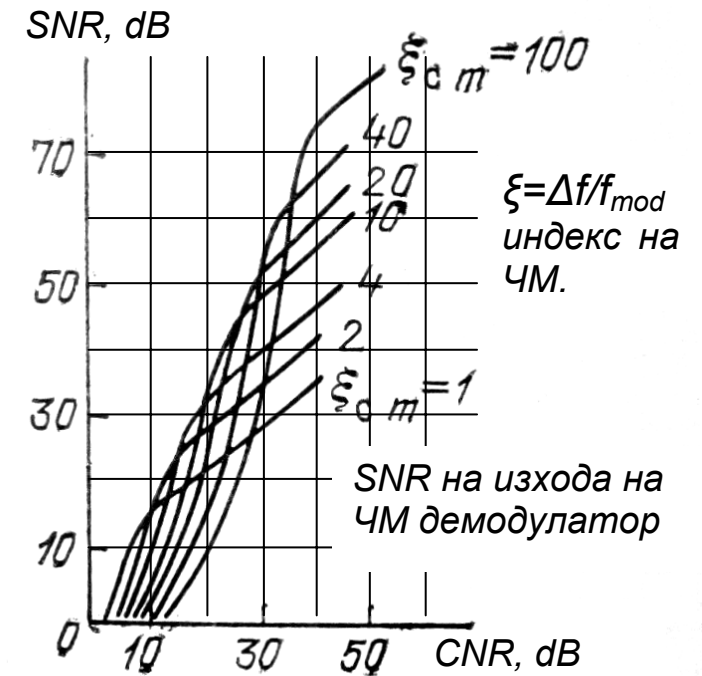
Минимално ниво на сигнала на входа на приемника:

$$\begin{aligned} P_{R\min[dBm]} &= P_{n[dBm]} + CNR_{\min[dB]} = \\ &= -174 + 10\lg(B) + NF + CNR_{\min[dB]}, \end{aligned}$$

където $CNR_{\min[dB]}$ е минималното CNR осигуряващо достоверно приемане. Често обаче се дава E_b/N_0 - енергия за бит към PSD на шума.

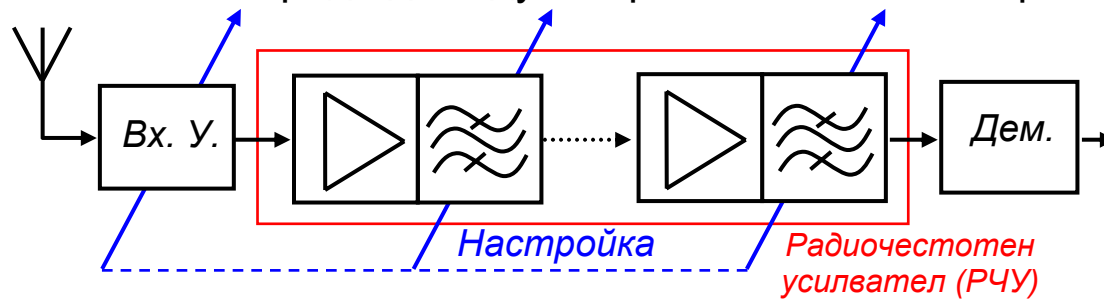
$$\text{Връзка: } \frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} \frac{R_b}{B}, \quad CNR_{[dB]} = (E_b/N_0)_{[dB]} + 10\lg(R_b) - 10\lg(B), \quad R_b -$$

полезна битова скорост (нетна, брой потребителски битове за секунда) .



Линеен приемник

Усилването преди демодулатора - без честотно преобразуване.

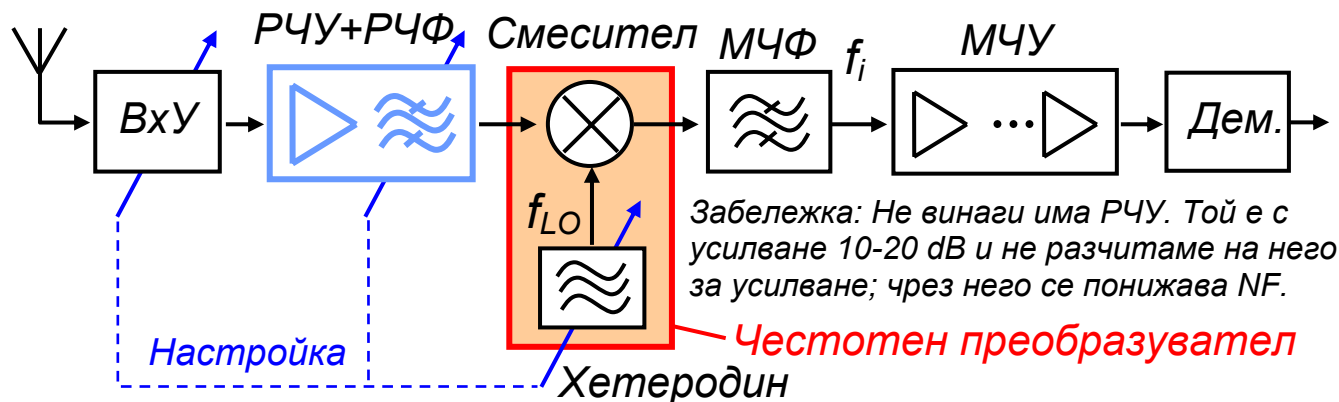


- Входно устройство (Вх. У.) – съгласуване на вх. съпротивление на приемника с антената; има го във всички приемници; обикновено има и някакво филтриращо действие.
- Лентовите звена (или цели филтри) и усилвателните стъпала в РЧУ може да са подредени и по друг начин.
- Лентовите звена се пренастроят съгласувано.

- Невъзможност за добра филтрация (малък брой звена; понякога невъзможност за достатъчно тясна лента; промяна на формата на АЧХ при пренастройка) → **лоша селективност**, линейни изкривявания;
- Невъзможност за достатъчно усилване в РЧУ (паразитни връзки → самовъзбуждане при опит за голямо усилване) → **лоша чувствителност**.

Суперхетеродинен приемник (СХП)

- **Основно** усилването и честотната селекция на желания сигнал – след **честотно преобразуване** в **константна честота** (независеща от честотата на приемания сигнал в ефира), наречена "**междинна**".
- **Междинната честота (МЧ)**: Относително **ниска** → възможност за голямо усилване и достатъчно тясна лента на филтрите; **Константна** → непренастройваеми филтри → АЧХ близка до идеална. Резултат: при СХП са възможни **отлична чувствителност и висока селективност**.

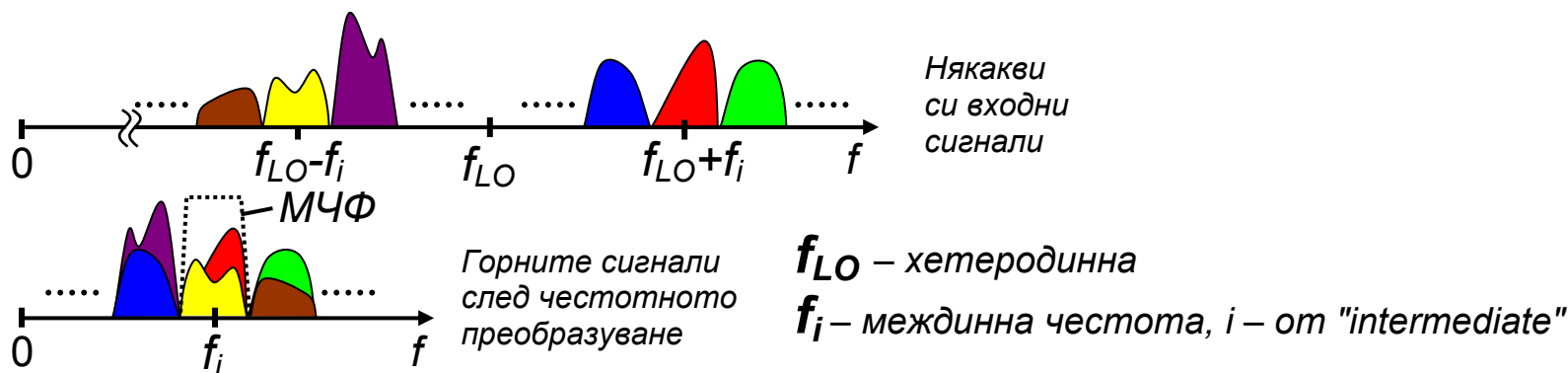


Забележка: Не винаги има РЧУ. Той е с усилване 10-20 dB и не разчитаме на него за усилване; чрез него се понижава NF.

- **Смесител** – идеално е умножител; но и просто нелинеен елемент върши работа;
- **Хетеродин** (Local oscillator, LO) – синусоиден генератор; честотата му определя кой канал ще се приема;
- **МЧФ** – многозвено, много сериозен филтър; не се пренастроява

Суперхетеродинен приемник – действие на честотния преобразувател (ЧП)

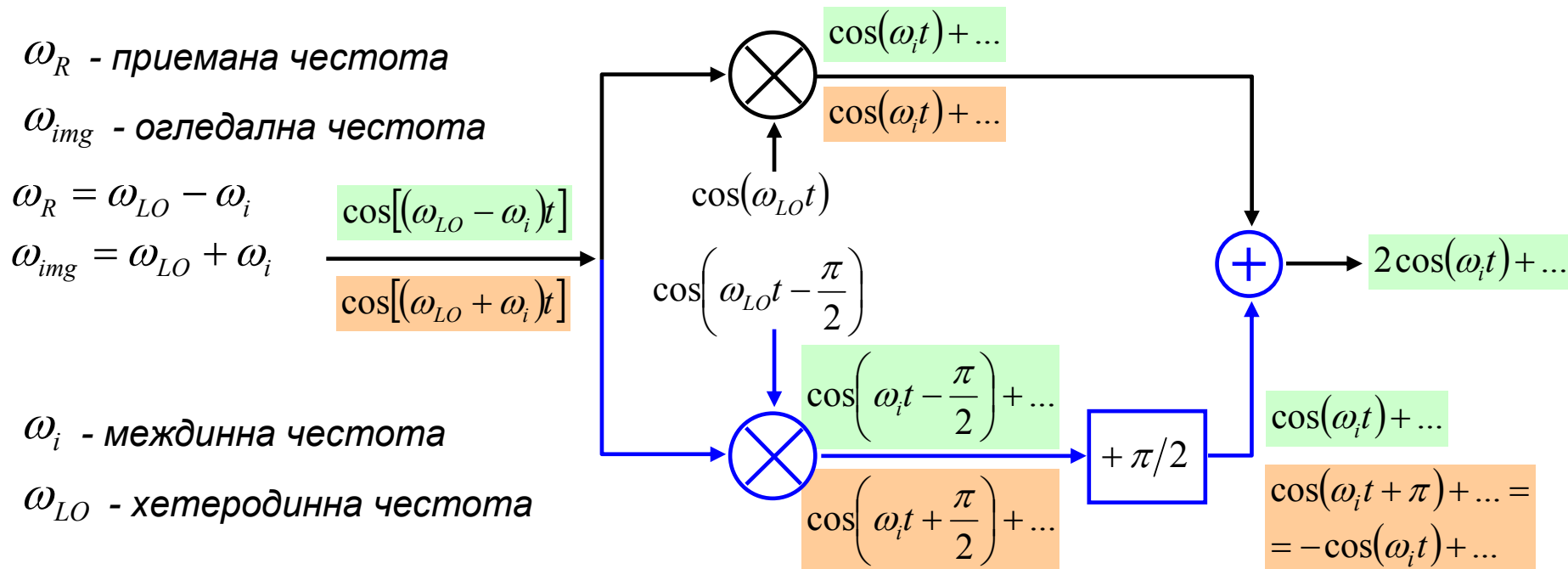
- **Функция на ЧП:** Премества спектъра на сместа от сигнали, постъпваща на входа му. При това:
 - Спектърът на желания сигнал попада в пропусканата лента на МЧФ → желаният сигнал преминава през МЧУ, усилва се и се демодулира.
 - Преместените спектри на нежеланите сигнали попадат извън пропусканата лента на МЧФ.
 - **Пренастройка на приемника** - чрез промяна на преместването на входния спектър, осъществявано в честотния преобразувател. РЧФ се пренастроят само за да не пречат на приемания сигнал да премине.
- **Честотният преобразувател се състои от:**
 - **смесител** (См) - нелинеен елемент, в идеалния случай е **умножител**
 - **хетеродин** (local oscillator, LO) - **генератор** на синусоидално трептене;
 - честотата му f_{LO} може да се променя (пренастройва).
 - f_{LO} определя стойността на осъществяваното в ЧП честотно преместване, оттам и приемания канал.
- Всяка спектрална съставка на входния сигнал с честота f_{in} , поражда две съставки в спектъра на изходния сигнал на ЧП с честоти:
 - $|f_{in}-f_{LO}|$ - тази е важната; тя съответства на понижаващо честотно преобразуване.
 - $f_{in}+f_{LO}$ – тази честота обикновено е далеч от пропусканата лента на МЧФ и тук можем да си мислим, че я няма.



Проблем на честотното преобразуване: При дадена хетеродинна честота има **два сигнала, които ще се приемат** (червеният и жълтият). Трябва единият да се потисне – преди, или най-късно в ЧП. Този от двата възможно приемани канала, чийто сигнал се потиска, се нарича **"огледален канал" (OK)**. Ако сигналът с честота $f_{LO}-f_i$ (жълтият) се приема (а $f_{LO}-f_i$ е огледален и се потиска), казваме, че приемникът е с **горна настройка** на хетеродина. Обратното е долна настройка на хетеродина. Дали приемникът ще е с горна или с долна настройка се решава при проектирането му.

Суперхетеродинен приемник – потискане на огледалния канал

- Класически вариант: чрез **филтри преди ЧП**
 - Разлика между приеманата и огледална честота: $|f_R - f_{image}| = 2f_i$ (лесно се вижда).
 - Ако f_i не е прекалено ниска, разликата е значителна и радиочестотните филтри могат да го потиснат, макар че са с лоши свойства.
- Честотен преобразувател с **фазово потискане на огледалния канал**
 - Желанието за ниска МЧ е много силно (по-лесна обработка на сигнала с МЧ; по-безболезнено преминаване към цифрова обработка)
 - Но: ниска МЧ \rightarrow малко $|f_R - f_{image}| \rightarrow$ РЧФ не могат да потиснат сигнала на огледалния канал.
 - Решение: ЧП с фазово потискане на ОК - **потискане, не зависещо от f_i** .
 - Недостатък – потискане до около 20-30 dB (но до 50-60 dB при специални мерки).

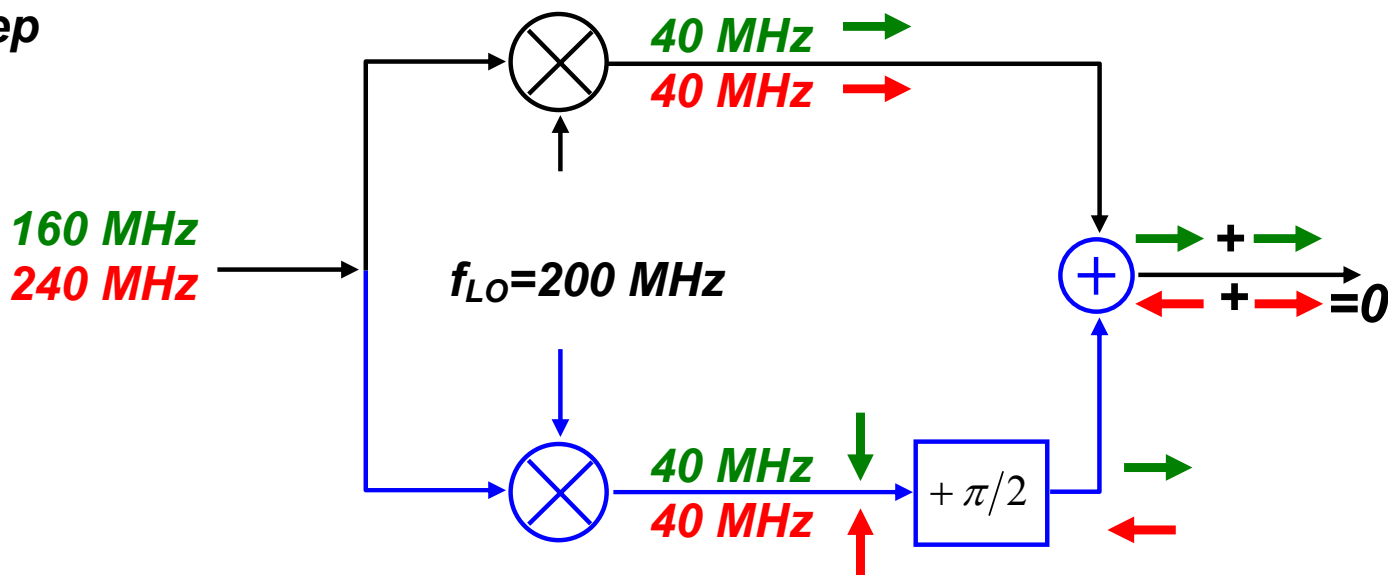


За да се избегне претрупване: Не са дадени сумарните честоти, загатнати са с многоточия; сигналите са немодулирани; използвани са кръгови честоти; множителите 1/2 пред продуктите на изходите на умножителите са пропуснати.

Суперхетеродинен приемник – потискане на огледалния канал

ЧП с фазово потискане на огледалния канал - продължение

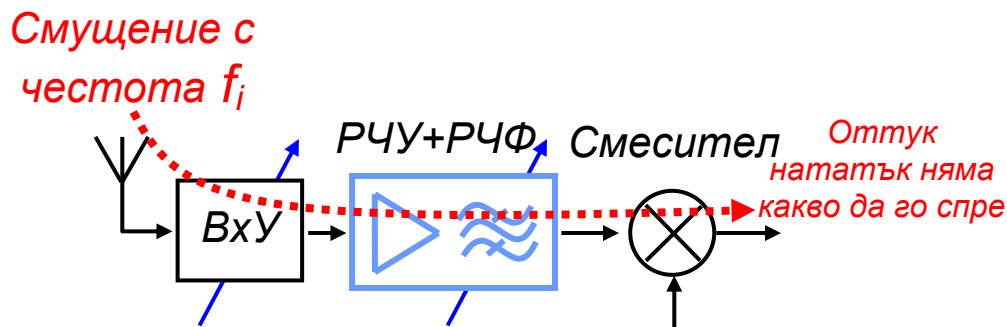
Пример



Входни сигнали с честоти 160 и 240 MHz, след честотното преобразуване попадат на честота 40 MHz. Продуктите от понижавашото честотно преобразуване на сигнала с честота 160 MHz на входовете на суматора ще са синфазни и ще се сумират. Продуктите от понижавашото честотно преобразуване на сигнала с честота 240 MHz на входовете на суматора ще са противофазни и ще се унищожат.

Суперхетеродинен приемник – още параметри

- **Селективност по огледален канал** – с колко dB се потиска сигналът на огледалния канал.
- **Селективност по междинна честота**: Ако f_R е близка до f_i , смущение с честота f_i може да проникне лесно до входа на смесителя (См); особено ако См не е балансиран по отношение на сигналния си вход, то ще проникне към изхода на См и непреобразувано по честота; след това нищо не може да го спре. Затова се мери селективност по МЧ – с колко dB се потиска смущение с МЧ.



Суперхетеродинен приемник – странични канали

- При дадени входна и хетеродинна честота:
 - Идеален ЧП: два продукта от честотното преобразуване.
 - **Реален ЧП**: безкраен брой продукти; наистина, с нарастване на $|n| + |m|$, нивата им бързо спадат.
 - Все пак най-големи са тези с $|m| = 1$ и $|n|$ докъм 3-4. При силни входни сигнали, вече значими стават и продуктите с $|m| > 1$.

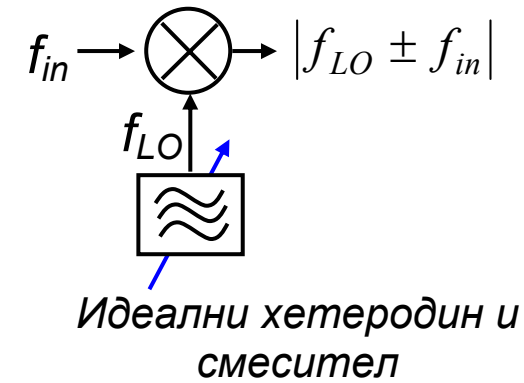
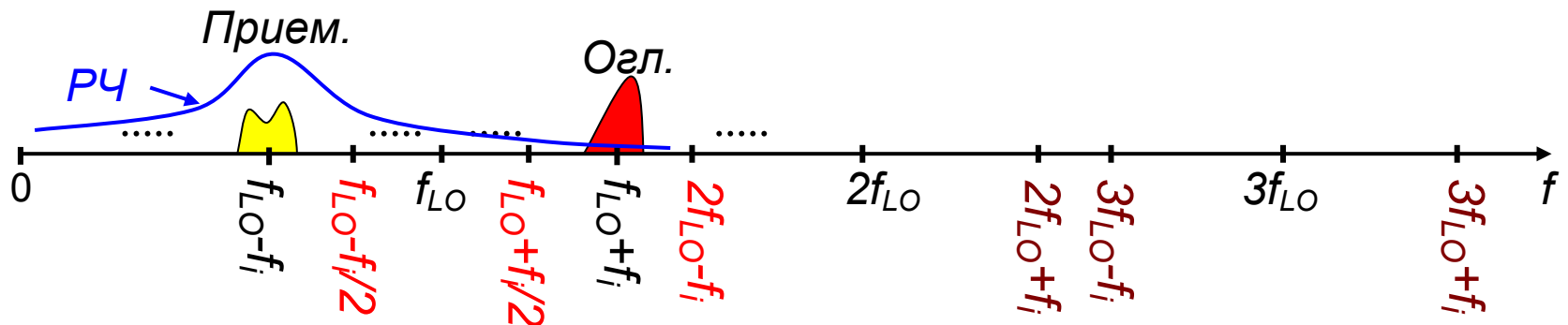
• Последствия: При дадена хетеродинна честота, ще има безброй входни честоти, които ще се преобразуват в МЧ. На практика – единици, може и десетки. Съответните канали "центрирани" на тези честоти се наричат "странични канали".

• Честоти на страничните канали: От $nf_{LO} + mf_{in} = f_i \rightarrow$

$f_{in} = f_i/m - nf_{LO}/m$; най-значими са $f_{LO} \pm f_i/2$ и $nf_{LO} \pm f_i, n = 1, 2, \dots$

• Потискане на сигналите в страничните канали: главно от РЧФ, но някои странични канали са много близко по честота до премания \rightarrow тогава РЧФ не помагат.

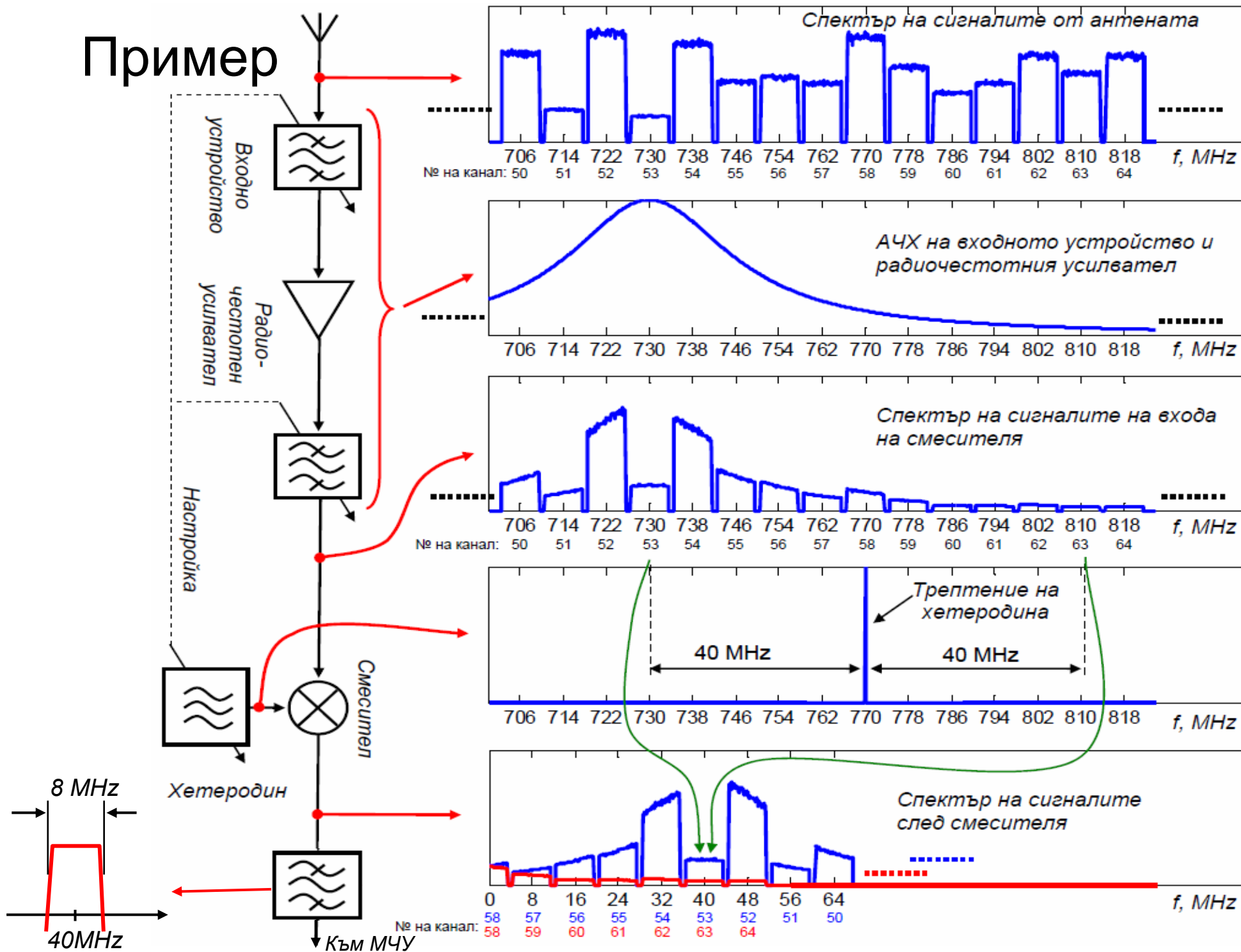
• Други начини за борба: РЧУ с **висока линейност**; смесители с **висока линейност по отношение на сигнала**; използване на **балансни и двойнобалансни смесители**; специални архитектури на ЧП и на приемници като цяло. Понижаването на коефициента на хармоници на хетеродина обикновено **не е** решение (защо – излиза извън рамките на курса).



Задачи за изпълнение

1. Да се **изчисли чувствителността** на приемник по зададени коефициент на шум, скорост на предаване, вид и параметри на модулацията и на каналното кодиране при липса и при прилагане на канално кодиране. Намерената чувствителност да се изрази **в dBm и във ватове**.
2. Да се разгледа и разбере примерът, приложен след заданието.
3. За **макета**:
 - 3.1. Да се измерят минималната и максималната хетеродинна честота.
 - 3.2. Да се намерят **границите на работния честотен обхват** и на **обхвата на огледалните канали**. Междинната честота е 10.7 MHz. Да се посочи дали е възможно РЧ филтрите да са непренастройваеми.
 - 3.3. Да се измери **чувствителността** на приемника за двата края и средата на работния честотен обхват при 12 dB SINAD на изхода на демодулатора. Параметри на модулацията: честотна девиация 3 kHz, честота на модулиращия сигнал 1 KHz.
 - 3.4. Да се намерят **селективността по огледален канал** и **селективността по междинна честота**.
 - 3.5. Да се изследва проблемът със **страничните канали**:
 - За произволно избрана хетеродинна честота да се пресметнат честотите на **странични канали** с модули на m и n до 3 включително.
 - Да се измери **чувствителността** на приемника по отношение на смущения с намерените честоти.
 - Да се направи заключение доколко страничните канали представляват опасност за нормалното приемане. Кам може да се подобри потискането им?
4. Да се симулира част от приемник с **фазово потискане на огледалния канал**. Да се намерят:
 - 4.1. Да се изследва зависимостта на селективността по огледален канал от различни **амплитудни и фазови грешки** в схемата.
 - 4.2. Да се посочат и изпробват начини за **преминаване от горна към долна настройка** на хетеродина.

Пример



Забележка: Стандартната стойност на междинната честота (38.9 MHz) е закръглена на 40 MHz с цел по-лесно смятане.

Формули за задача 1:

- $P_{R \min[dBm]} = -174 + 10\lg(B) + NF + CNR_{\min[dB]}$,
- Ако е зададено $(E_b/N_0)_{\min[dB]}$: $CNR_{[dB]} = (E_b/N_0)_{[dB]} + 10\lg(R_b) - 10\lg(B)$, където R_b е *полезната* битова скорост. Заместваме горе и получаваме $P_{R \min[dBm]} = -174 + NF + (E_b/N_0)_{\min[dB]} + 10\lg(R_b)$
- $B_{AM} \approx 2f_{\text{mod}}$, $B_{FM} \approx 2(f_{\text{mod}} + \Delta f)$
- $B_{M-QAM} \approx \frac{R_b}{\log_2 M}$
- $P_{[mW]} = 10^{P_{[dBm]}/10}$

Формули за задача 3:

- При горна настройка на хетеродина: $f_R = f_{LO} - f_i$, $f_{img} = f_{LO} + f_i$
- При долна настройка на хетеродина: $f_R = f_{LO} + f_i$, $f_{img} = f_{LO} - f_i$