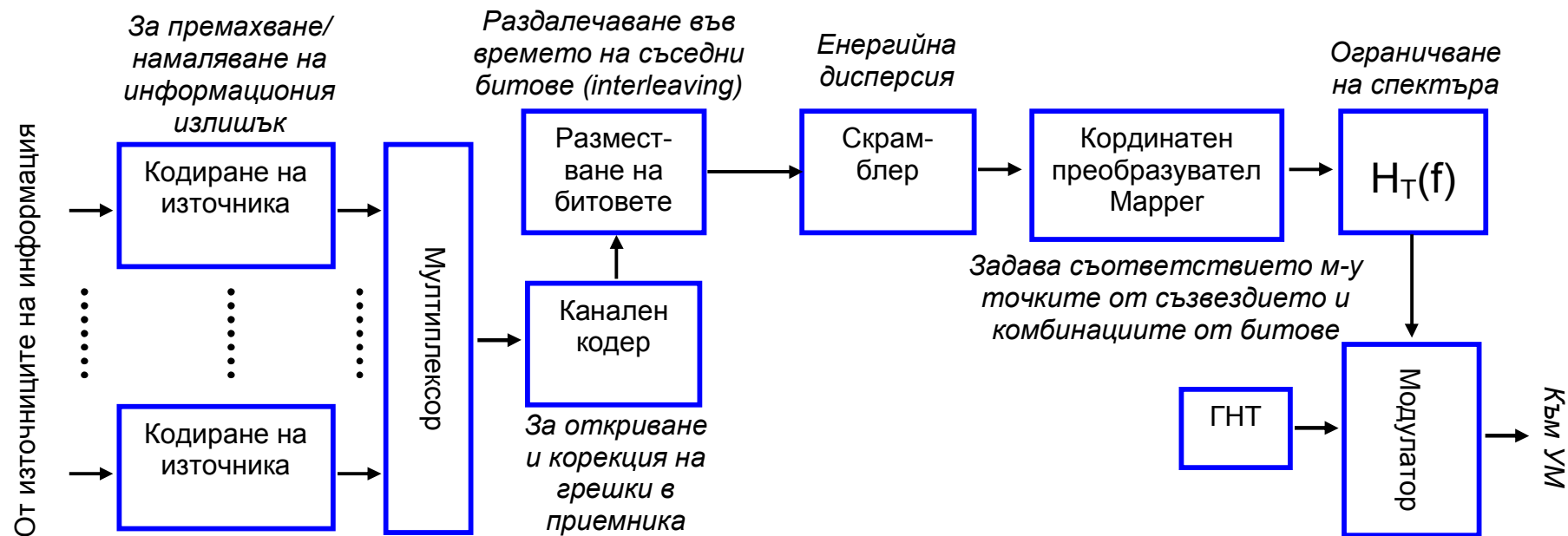
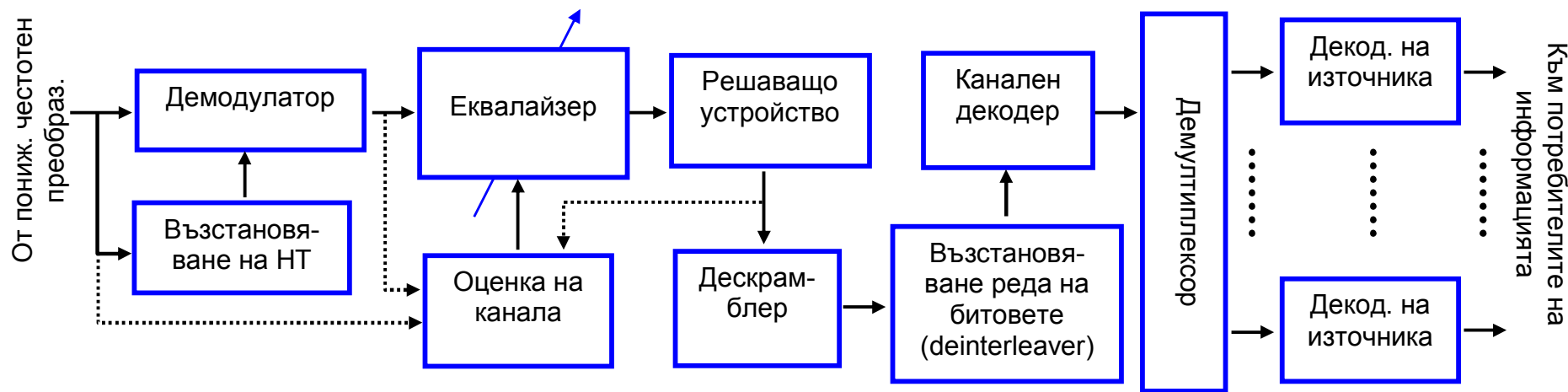


Дистанционно лабораторно упражнение
Изследване на процеси в
радиокомуникационни системи
с демонстрация на работата
на софтуерен приемник и
предавател за DRM сигнали.

Процеси в радиокомуникационните системи



В предавателя



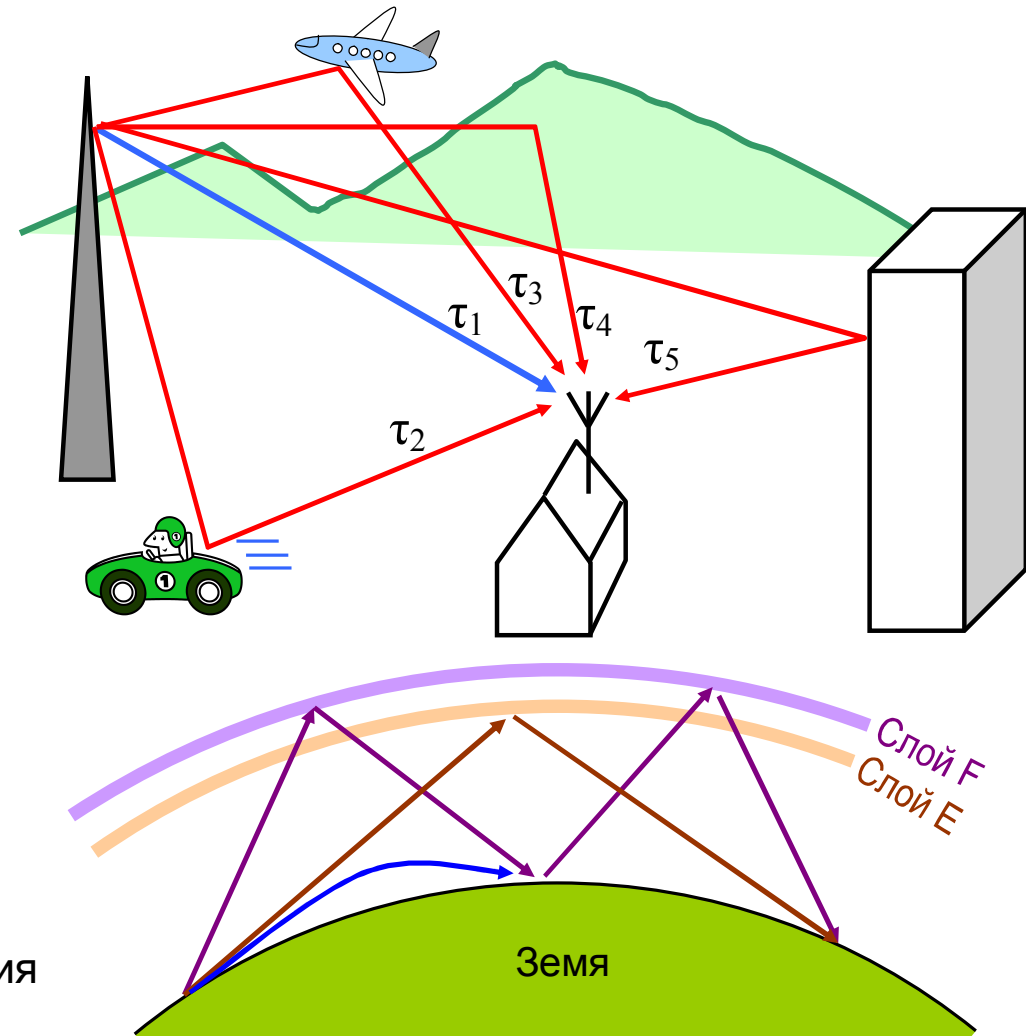
В приемника

Забележка: Според конкретната система е възможно редът на блоковете и връзките между тях да са различни от посочените тук.

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) – въведение

За **многолъчевото разпространение** и вредата от него

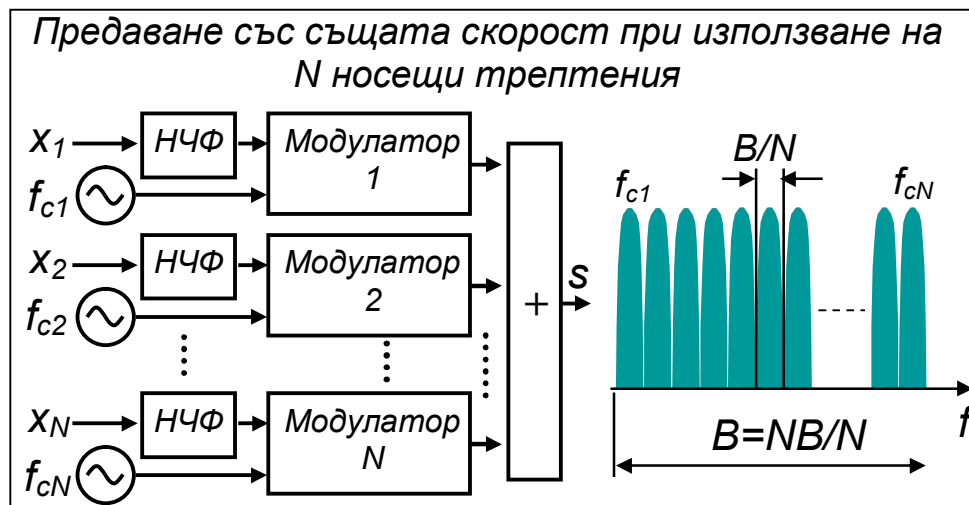
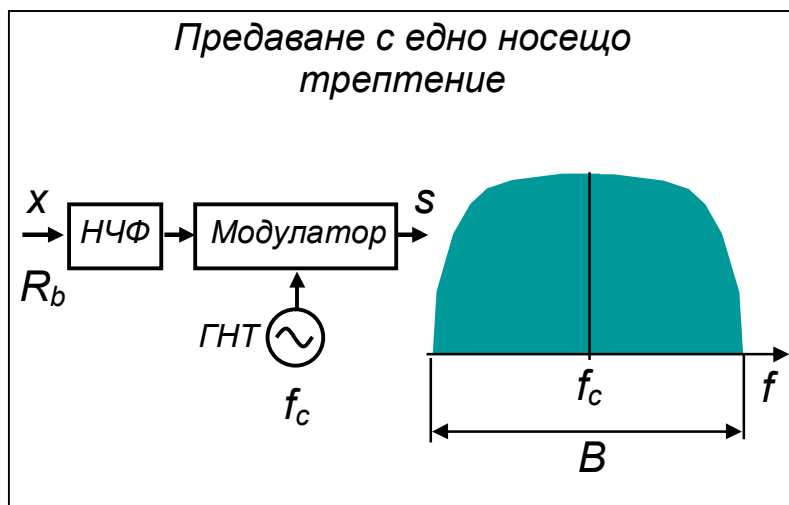
- Същност
 - В приемника постъпват 2 или повече разместени във времето копия от приемания сигнал.
 - Тези копия са с **различни закъснения** и нива
 - Нивата и закъсненията се променят непредвидимо във времето.
- Вреди от многолъчевото разпространение
 - Плосък фединг - общо затихване на всички съставки;
 - **Честотно селективен фединг** – **различно затихване за различните спектрални съставки***
→ линейни изкривявания на сигнала; дали федингът ще е плосък или честотно селективен зависи от радиооканала и от заеманата от сигнала честотна лента
 - **Междусимволна интерференция** – докато се приема даден символ, пристигат закъснели копия от сигнала, предаващи все още предходни символи.



*Нека в приемника пристигат две копия от сигнала с разлика между закъсненията Δt . Фазовата разлика между две спектрални съставки от двете копия с честоти f ще е $\Delta\phi = 2\pi f \Delta t$. Тя е функция на честотата и за определени честоти ще е $2k\pi$, а за други ще е $\pi + 2k\pi$. Съответно, при сумирането точката на приемане, резултантната амплитуда или ще нараства, или ще намалява.

OFDM метод за формиране на радиосигнала

- Две съображения
 - Ако **увеличим времето за предаване на един символ** достатъчно, **няма да има междусимволна интерференция** през по-голямата част от това време;
 - Ако достатъчно **стесним честотната лента**, заемана от радиосигнала, **фадингът за него ще е плосък** и той **няма да страда от линейни изкривявания**.
- Обаче и двете водят към едно – ниска скорост на предаване
- Решение: **РКС с много носещи трептения** – използват двете съображения, но скоростта е висока.
 - Високоскоростният поток от данни се разделя на **N броя нискоскоростни** потоци,
 - които модулират **N броя носещи трептения**, наречени "подносещи трептения" (ПНТ)
 - Заеманата лента няма да е по-широка от тази, заемана от едно НТ, модулирано с потока високоскоростни данни.
 - Брой ПНТ – стотици и хиляди
 - Такава система е устойчива спрямо проблемите, произтичащи от многолъчевото разпространение, но изглежда практически нереализуема.
- **OFDM сигналът е сигнал с много подносещи трептения, но с някои важни особености**, които правят РКС с OFDM практически успешни. Приложение: DVB; DAB; WiFi 802.11 g, a, n; PLC и др.



OFDM метод за формиране на радиосигнала

Особености на OFDM сигнала:

- Броят на ПНТ е стотици и по-често – хиляди
- **Честотите на ПНТ** са избрани така, че кои да са две са **ортогонални** едно на друго.
- **Няма нужда от НЧФ** поради ортогоналността: спектрите на модулираните ПНТ се застъпват, но взаимни смущения няма.
- Честотното отстояние между ПНТ е минималното възможно → максимално ефективно използване честотните ресурси

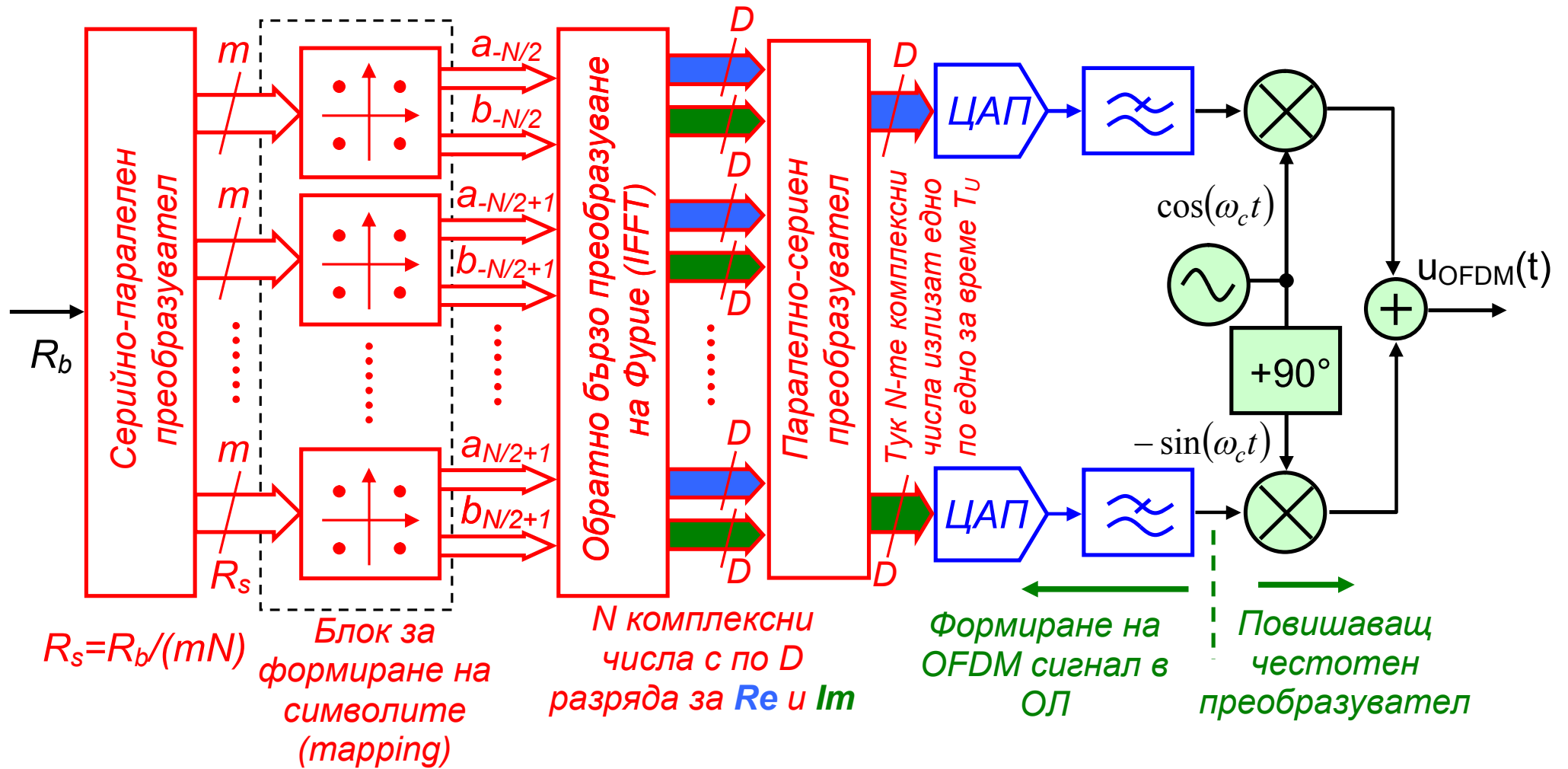
Анатомия на OFDM сигнала:

- Съвкупността от N символа, предавани по едно и също време от N-те ПНТ се нарича **OFDM символ**.
- Време за предаване на OFDM символа: **t_{OFDM}**
- Въвежда се едно удължаване на продължителността на предаване на символите, по-голямо от най-голямата разлика между закъсненията на сигнала по различните пътища.
 - времето на това удължаване се нарича **защитен интервал (guard interval) t_G** ,
 - а фрагментът от сигнала, излъчван по време на защитния интервал – **циклически префикс**;
- **$t_U = t_{\text{OFDM}} - t_G$** – използваемо време: време, свободно от междусимволна интерференция; в рамките на **t_U** е налице **ортогоналност** между ПНТ (ортогоналност изобщо няма, има я в рамките на определен времеинтервал);
- Честотно отстояние между съседните ПНТ: **$\Delta f = f_{i+1} - f_i = 1/t_U$** – иначе няма ортогоналност.

Формиране на OFDM сигнала:

- Ключът: Ако напишем математическото му описание, то е формално (почти) идентично с ред на Фурие
- Използваме **обратно бързо преобразуване на Фурие (IFFT)** за формиране на **OFDM сигнал в основна лента**;
- Преобразуваме резултата от IFFT в аналогов вид;
- Подлагаме го на **повишаващо честотно преобразуване**, така че да попадне в желанния канал.

Блокова схема на OFDM предавател

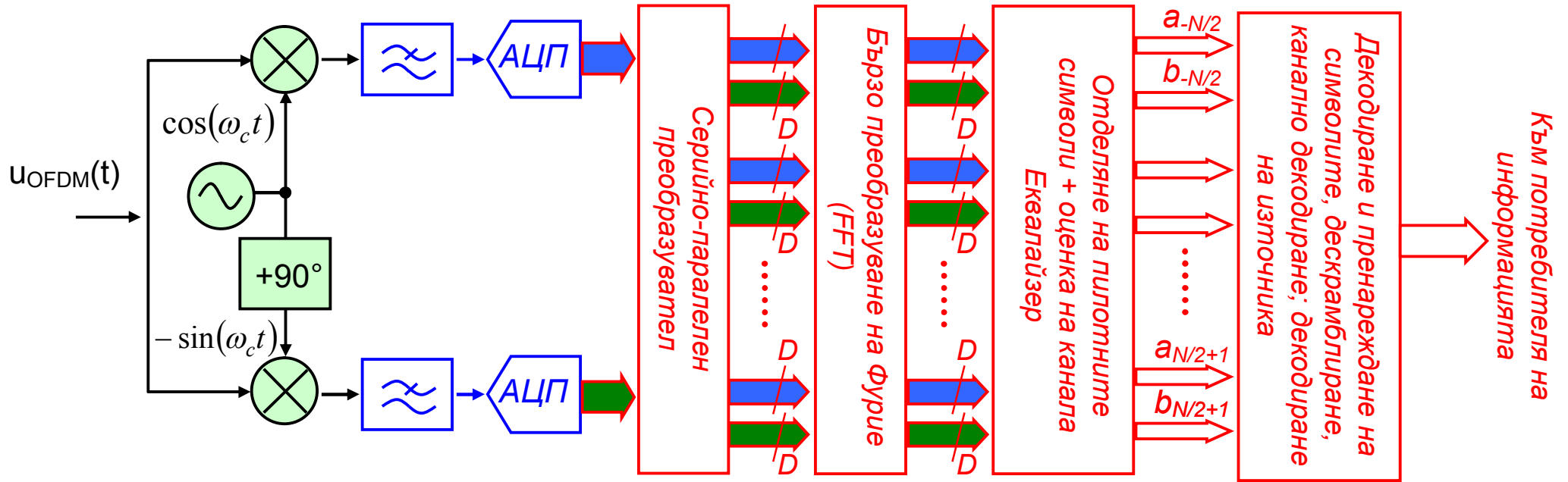


OFDM предавател (опростена схема)

Забележка: Вмъкването на цикличния префикс не е отразено в схемата с цел опростяване.

Точното обяснение как работи тази схема не съответства на целите на настоящия курс.

Блокова схема на OFDM приемник



OFDM приемник (опростена схема)

Точното обяснение как работи тази схема не съответства на целите на настоящия курс.

Digital Radio Mondiale (DRM)

- Система за цифрово радиоразпръскване на средни, дълги и къси вълни (с DRM+ - вече и на VHF);
- Тясна честотна лента на канала (10 kHz типично); големи разстояния (до хиляди km); високо ниво на смущения;
- Предаване основно на компресиран звук, но също текст, данни.
- Използване на OFDM
- Три канала
 - Main Service Channel (MSC) – главен, пренася до 4 услуги; една услуга съдържа звук или пакети с данни;
 - Service Description Channel (SDC) – информация, нужна на приемника, за демодулиране и декодиране на данните в мултиплекса; данни за алтернативни честоти;
 - Fast Access Channel (FAC) – данни за основни параметри на сигнала; брой услуги; език; вид програма;
- Модулация
 - 64-QAM или 16QAM за главния канал – най-лоша шумоустойчивост, но иначе е невъзможно постигането на нужната скорост на предаване;
 - 16-QAM или QPSK за SDC – по-добра шумоустойчивост; предаваните данни са нискоскоростни → честотната разточителност на модулацията с по-ниска кратност няма да отнеме съществен ресурс;
 - QPSK за FAC – най-добра шумоустойчивост; предаваните данни са с малък обем, съответно с ниска скорост → честотната разточителност на модулацията с най-ниска кратност няма да отнеме съществен ресурс;
- Пилотни символи: в OFDM символите определени ПНТ се излъчват с повишена мощност и точно регламентирана фаза; цел: синхронизация на приемника и оценка на предавателната функция на радиоканала. Последната е нужна за настройка а еквайзера в приемника. Поради тясната лента, заемана от модулираните ПНТ, еквализацията се свежда до умножаване на комплексната амплитуда на всяко ПНТ с по едно комплексно число.

Digital Radio Mondiale (DRM) – режими на излъчване

По-важни параметри на OFDM сигнала при различните режими:

Режим	отстояние между подносещите трептения (Hz)	Брой подносещи трептения				Продължителност на символа (ms)	Защитен интервал (ms)	Брой символи за рамка
		9 kHz	10 kHz	18 kHz	20 kHz			
A	41.66	204	228	412	460	26.66	2.66	15
B	46.88	182	206	366	410	26.66	5.33	15
C	68.18	*	138	*	280	20.00	5.33	20
D	107.14	*	88	*	178	16.66	7.33	24

Използваеми скорости на данните при различните режими, kbps:

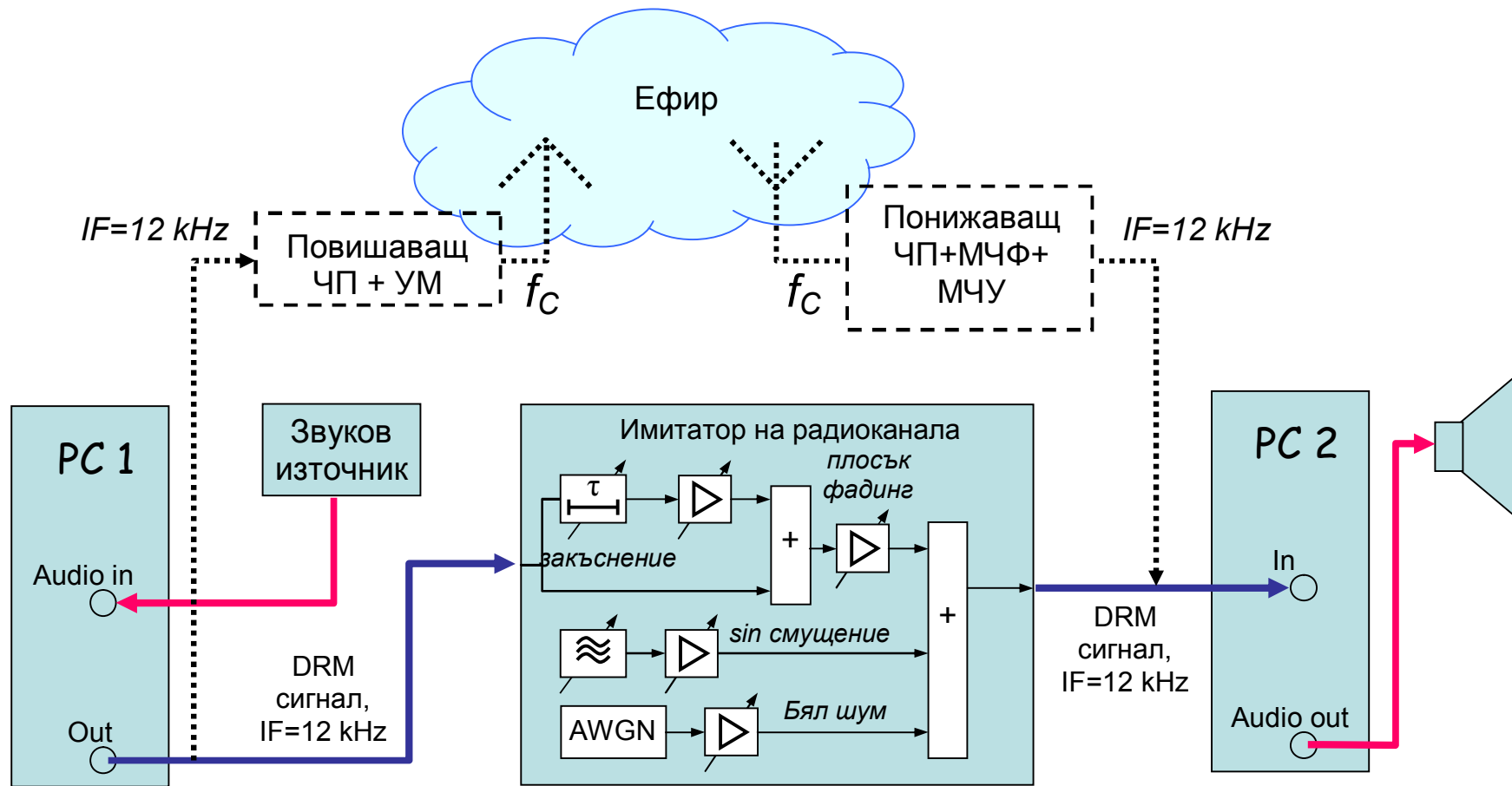
Клас на защитеност	A (9 kHz)	B (9 kHz)	B (10 kHz)		C (10 kHz)		D (10 kHz)	
	64-QAM	16-QAM	16-QAM	64-QAM	16-QAM	64-QAM	16-QAM	64-QAM
0	19.6 kbit/s	7.6	8.7	17.4	6.8	13.7	4.5	9.1
1	23.5	10.2	11.6	20.9	9.1	16.4	6.0	10.9
2	27.8	-	-	24.7	-	19.4	-	12.9
3	30.8	-	-	27.4	-	21.5	-	14.3

Опитна постановка

Проблеми:

- DRM излъчванията в ефира не са съобразени с разписа на занятията.
- Ако използваме собствен предавател и приемаме през ефира, няма как да се случат явленията, характерни за разстояния от стотици километри между приемника и предавателя.

Решението: използване на имитатор на радиоканала.



Задачи за изпълнение

1. Да се намерят:
 - 1.1. Скоростта на данните, получавани от аналого-цифрово преобразуване на монофоничен звуков сигнал при максимална предавана звукова честота 10 kHz и отношение сигнал/шум от квантуване 60 dB.
 - 1.2. Кратността на QAM модулацията, необходима за предаването в реално време на получаваните данни по канал с честотна лента 10 kHz. (*Как ви изглежда резултатът?*)
 - 1.3. Каналният капацитет на канал с честотна лента 10 kHz и отношение сигнал/шум 14 dB. Да се сравни със постиганата от DRM скорост на предаване.
2. При ширина на каналната честотна лента 10 kHz и използване на 64-QAM, по дадени продължителност на защитния интервал и продължителност на OFDM символа, да се определят използваемото време, честотното отстояние между ПНТ, броят им и скоростта на предаване. *Защо скоростите на предаване в системата DRM са значително по-ниски от определената?*
3. Да се включи DRM предавателят. Да се отчетат параметрите на излъчвания сигнал.
4. Да се наблюдава работата на DRM приемник при постепенно влошаване на отношението сигнал/шум на входа му, като се обърне внимание на съзвездията и на индикаторите за CRC за трите канала. Стойността на SNR да се отчита от съответния индикатор на приемника. Да се намерят стойностите на SNR, при които индикаторът за CRC на всеки един от каналите става червен.
5. Да се наблюдава работата на DRM приемник в условия на многолъчево разпространение при промяна на разликата във времената на пристигане на сигнала по два пътя. Да се обърне внимание на промените в спектъра на входния сигнал, както и на оценените от приемника предавателна функция и импулсна характеристика на радиоканала.
6. Да се наблюдава работата на DRM приемник при резки промени на нивото на входния сигнал, като се обърне внимание на измененията в съзвездията.
7. Да се наблюдава работата на DRM приемник при наличие на теснолентово смущение в лентата, заемана от приемания сигнал.

Формули за Задача 1:

- Честота на дискретизация $f_S \geq 2f_{\max}$
- Битове за отчет: $n_b \approx \text{CNR}_{[dB]}/6$
- Битова скорост на получаваните данни: $R_b \approx n_b f_S$
- Кратност на QAM: $R_b = B \log_2(M) \rightarrow M = 2^{R_b/B}$
- Канален капацитет – ако предаваме със скорост по-малка от каналния капацитет (вкл. произволно близка до него), съществува начин* на кодиране, при който вероятността за грешка при приемане може да се направи произволно малка: $C = B \log_2(1 + P_S/P_n)$; $P_S/P_n = 10^{\text{CNR}_{[dB]}/10}$;

$$\log_2(x) = \ln(x)/\ln(2)$$

*Не се казва какъв. Става въпрос за фундаментална теоретична граница.

Формули за Задача 2:

- $t_U = t_{OFDM} - t_G$
- $\Delta f = 1/t_U$
- $N \approx B/\Delta f$
- $R_b = N(1/t_{OFDM}) \log_2(M)$