

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Рязанский государственный радиотехнический университет**  
**имени В.Ф. Уткина»**

**Кафедра ТОР**

Самостоятельная работа на тему:

**«Определение параметров OFDM сигнала»**

Выполнила: ст.гр.2018М  
Колесникова В.А.

Проверил:  
Бакке А.В.

г. Рязань, 2023 г.



**Цель работы:** определение параметров OFDM сигнала.

### Исходные данные

Таблица 1. Исходные данные

№	R, Мб/с	$\Delta F$ , МГц	$\Delta \tau$ , нс	Профилей
4	32	24	190	4

### Выбор и расчёт параметров OFDM сигнала

Выбор числовых значений параметров OFDM сигнала состоит в определении характеристик OFDM символа и, как правило, заключается в поиске компромисса между различными и часто противоречивыми требованиями. Исходными данными для синтеза характеристик могут быть различные параметры системы связи, однако всегда можно начинать с определения значений трех главных параметров системы: ширина полосы частот  $\Delta F$ , скорости передачи R и расширения задержки  $\Delta \tau$ . При этом подлежат определению:

$T_{sym}$  - длительность OFDM символа;

$T_{CP} = \Delta_g$  - длительность защитного интервала во временной области OFDM символа (длительность циклического префикса);

$T_s$  - интервал дискретизации сигнала,  $f_s$  - частота дискретизации;

N - число поднесущих в полосе частот системы;

$N_D$  - число поднесущих, используемых для передачи данных;

$N_g$  - число поднесущих защитного интервала в частотной области;

$N_P$  - число пилотных поднесущих;

$\Delta f = 1/T = 1/(T_{sym} - \Delta_g)$  - расстояние между соседними поднесущими.

Выберем параметры системы при следующих исходных требованиях:

- полоса частот системы не должна превышать  $\Delta F = 24$  МГц;
- допустимое расширение задержки не превышает  $\Delta \tau = 190$  нс;
- скорость передачи системы  $R = 32$  Мб/с.

1. Для устранения межсимвольных искажений (МСИ), возникающих из-за многолучевого распространения радиоволн, вводится защитный временной интервал  $\Delta_g$  между соседними OFDM символами. Исходя из значения расширения задержки  $\Delta \tau = 190$  нс, рассчитывается значение длительности защитного интервала:

$$\Delta_g = 4 * \Delta \tau, \quad \Delta_g = 4 \times 190 = 760 \text{ нс.}$$



2. Длительность OFDM символа определяется как:

$$T_{sym} = 6 * \Delta_g,$$

$$T_{sym} = 6 \times 0,76 = 4,56 \text{ мкс},$$

при этом длительность OFDM символа без циклического префикса составит:

$$T = T_{sym} - \Delta_g,$$

$$T = 5 * \Delta_g = 5 \times 0,76 = 3,8 \text{ мкс}.$$

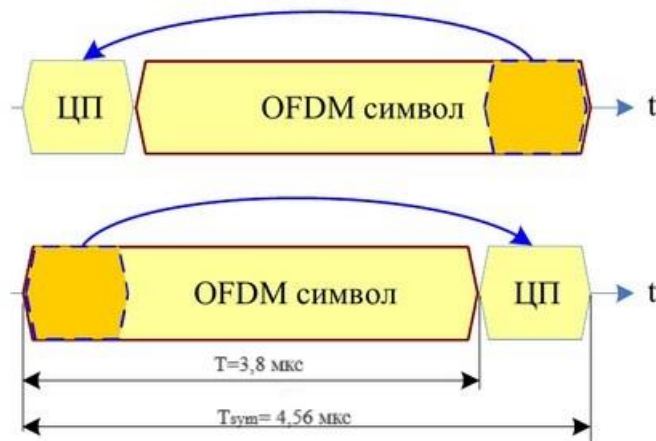


Рис.1 Добавление циклического префикса

3. Расстояние между частотами соседних поднесущих:

$$\Delta f = 1 / T ,$$

$$\Delta f = 1 / 3,8 = 0,263 \text{ МГц}.$$

Тогда число поднесущих в полосе частот системы:

$$N = \Delta F / \Delta f,$$

$$N = 24 / 0,263 = 91 \text{ поднесущая}.$$

4. Требуемое значение числа поднесущих колебаний складывается из числа поднесущих, необходимых для передачи данных  $N_D$ , количества необходимых пилотных поднесущих  $N_P$  и поднесущих  $N_g$ , образующих защитные интервалы в частотной области. Количество  $N_D$  можно определить, исходя из отношения заданного значения скорости передачи системы и скорости следования OFDM символов.

При скорости передачи  $R = 32 \text{ Мб/с}$  и скорости следования OFDM символов  $R_{sym} = 1/T_{sym} = 1/4,56 = 0,219 \text{ Мсимвол/с}$  каждый OFDM символ должен переносить:

$$R/R_{sym} = 32 / 0,219 = 147 \text{ информационных бит}.$$

Это условие может быть выполнено применением различных комбинаций скорости помехоустойчивого кодирования и видом модуляции,



которые будут составлять сущность профилей физического уровня системы связи.

Из общего числа поднесущих ( $N=91$ ) зарезервируем под пилотные 10 поднесущих  $N_p = 10$ , а под поднесущие, образующие защитные интервалы в частотной области  $N_g=8$  (по 4 поднесущих по краям символа). При этом, необходимо учесть нулевую поднесущую в OFDM символе (обозначим  $N_0$ ).

Расстояние между пилотными поднесущими в OFDM символе, выраженное в количестве интервалов  $\Delta f$ :

$$N_{pf} < \frac{1}{T_m * \Delta f},$$

Где  $T_m$ - интервал избыточной задержки, величина которого должна быть в 2...6 раз меньше длительности защитного интервала  $\Delta_g = 760$  нс. Пусть  $T_m = 0,19$  мкс, тогда:  $N_{pf} < \frac{1}{0,19 * 0,263}$ , следовательно,  $N_{pf} < 21$ . Будем использовать схему организации  $N_p$  с постоянными пилотными поднесущими.

Таким образом, структура OFDM символа представлена на рис.2.

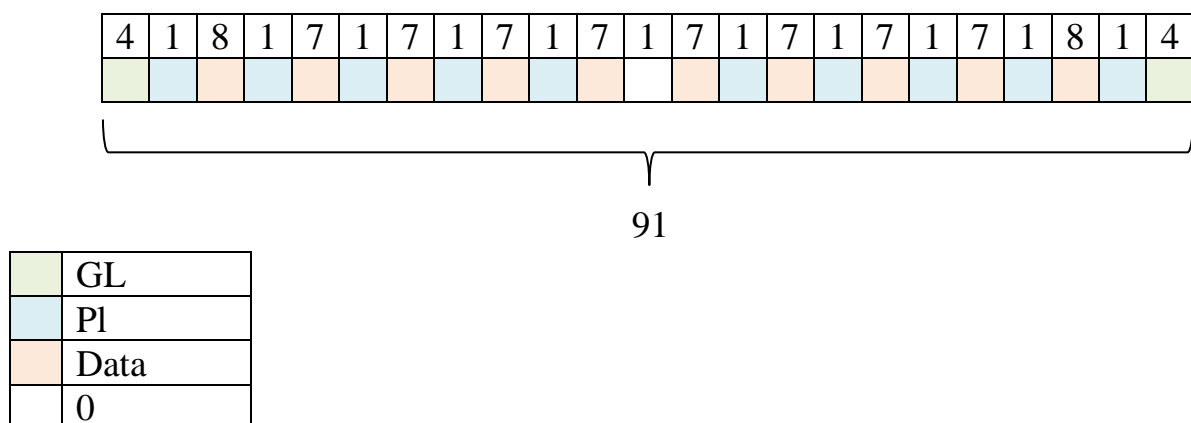


Рис.2 Структура OFDM символа

**5.** Рассмотрим 4 профиля физического уровня системы связи и рассчитаем для каждого необходимое число поднесущих, необходимую полосу частот системы и другие требуемые параметры.

#### 5.1. Профиль с использованием модуляции 16-QAM и помехоустойчивого кода со скоростью 3/4.

В этом случае каждый канальный IQ символ переносит 4 бита. Тогда каждый канальный символ может переносить  $4 \times (3 / 4) = 3$  бита информации. В этом случае потребуется 49 поднесущих  $N_D$  для того, чтобы один OFDM символ переносил 147 информационных бита.



Однако, т.к. ранее были зарезервированы  $N_p = 10$  и  $N_g=8$ , получим, что количество поднесущих для передачи данных  $N_D = N - N_p - N_g = 91-10-8=73$ . Это означает, что фактическая скорость передачи битов при использовании данного профиля окажется выше 40 Мб/с. Следовательно, необходимо рассчитать фактическую канальную скорость.

При  $N_D = 73$  и количестве информационных бит, которое может переносить каждый канальный символ, равное 3-м, получим, что один OFDM символ должен переносить  $73 \times 3 = 219$  информационных бит. Тогда при рассчитанной ранее скорости следования OFDM символов  $R_{sym}=0,219$  Мсимвол/с, получим скорость передачи:  $R = 219 \times 0,219 = 47,96$  Мб/с.

Аналогичным образом рассчитаем параметры для остальных профилей физического уровня системы связи.

#### 5.2. Профиль с использованием модуляции 64-QAM и помехоустойчивого кода со скоростью 2/3.

В этом случае каждый канальный IQ символ переносит 6 битов. Тогда каждый канальный символ может переносить  $6 \times (2 / 3) = 4$  бита информации. В этом случае потребуется 37 поднесущих  $N_D$  для того, чтобы один OFDM символ переносил 147 информационных бит.

При  $N_D = 73$  и количестве информационных бит, которое может переносить каждый канальный символ = 4, получим, что один OFDM символ должен переносить  $73 \times 4 = 292$  информационных битов. Тогда при рассчитанной ранее скорости следования OFDM символов  $R_{sym}=0,219$  Мсимвол/с, получим скорость передачи:  $R=292 \times 0,219=63,95$  Мб/с.

#### 5.3. Профиль с использованием модуляции $\pi/4$ - DQPSK и помехоустойчивого кода со скоростью 3/4.

В этом случае каждый канальный IQ символ переносит 3 бита. Тогда каждый канальный символ может переносить  $3 \times (3 / 4) = 2,25$  бита информации. В этом случае потребуется 66 поднесущих  $N_D$  для того, чтобы один OFDM символ переносил 147 информационных бит.

При  $N_D = 73$  и количестве информационных бит, которое может переносить каждый канальный символ = 2,25, получим, что один OFDM символ должен переносить  $73 \times 2,25 = 164,25$  информационных бит. Тогда при рассчитанной ранее скорости следования OFDM символов  $R_{sym}=0,219$  Мсимвол/с, получим скорость передачи:  $R=164,25 \times 0,219=35,97$  Мб/с.



#### 5.4. Профиль с использованием модуляции 32-QAM и помехоустойчивого кода со скоростью 3/4.

В этом случае каждый канальный IQ символ переносит 4 бита. Тогда каждый канальный символ может переносить  $5 \times (3 / 4) = 3,75$  бита информации. В этом случае потребуется 40 поднесущих  $N_D$  для того, чтобы один OFDM символ переносил 147 информационных бит.

При  $N_D = 73$  и количестве информационных бит, которое может переносить каждый канальный символ = 3,75, получим, что один OFDM символ должен переносить  $73 \times 3,75 = 273,75$  информационных битов. Тогда при рассчитанной ранее скорости следования OFDM символов  $R_{sym} = 0,219$  Мсимвол/с, получим скорость передачи:  $R = 273,75 \times 0,219 = 59,95$  Мб/с.

Результаты расчётов по каждому профилю сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты расчётов для каждого профиля.

Профиль работы	16-QAM+FEC 3/4	64-QAM+FEC 2/3	$\pi/4$ -DQPSK+ FEC 3/4	32- QAM+FEC 3/4
Инф. бит	3	4	2,25	3,75
Число поднесущих колебаний $N_D$	49	37	66	40
Количество инф. битов, которое должен переносить один OFDM символ при требуемом $N_D = 73$	219	292	164,25	273,75
Необходимая канальная скорость R при требуемом $N_D = 73$ , Мб/с	47,96	63,95	35,97	59,95

#### 6. Расчёт дополнительных параметров.

Для обеспечения возможности использования быстрых алгоритмов обратного дискретного преобразования Фурье (ОБДПФ) в передатчике и прямого быстрого дискретного преобразования Фурье (ПБДПФ) в рамках профиля придется добавить 37 нулевых комплексных коэффициентов, не



подлежащих передаче по радиоканалу. Однако эта добавка имеет и положительный эффект, так как увеличивает частоту дискретизации комплексной огибающей OFDM символа, в результате чего устраняется эффект наложения спектров при дискретизации.

Дополнительное требование, которое существенно влияет на выбор значений параметров системы, состоит в том, чтобы на интервалах ОБДПФ и ПБДПФ  $T$  укладывалось целое число временных отсчетов спектра и комплексной огибающей OFDM символа соответственно.

Так, в данной работе необходимо иметь 128 выборок, приходящихся на интервал  $T$ , т.е. 128 интервалов дискретизации  $T_s = T/128$ , которые обеспечивают ортогональность поднесущих колебаний. Т.е. необходимо, чтобы частота дискретизации по времени комплексной огибающей OFDM символа была равна:  $f_s = 1/T_s = 128/T = 128/3,8 = 33,68$  МГц. Однако при такой частоте дискретизации на интервале времени, равном длительности OFDM символа  $T_{sym}$ , укладывается нецелое число интервалов дискретизации  $T_{sym}/T_s = 4,56/(T / 128) = 153,6$ , что недопустимо.

Единственный способ для устранения этого недостатка состоит в том, чтобы незначительно изменить интервал дискретизации так, чтобы на интервале длительностью  $T_{sym}$  укладывалось целое число интервалов дискретизации; пусть  $T_{sym}/T_s = 154$ , тогда  $T_s = T_{sym}/154 = 0,0296$  мкс и частота дискретизации:  $f_s = 1/T_s = 1/0,0296 = 33,78$  МГц незначительно увеличивается.

Интервалы прямого и обратного ДПФ также несколько изменяются:  
 $T = 128 \times T_s = 128 \times 0,0296 = 3,789$  мкс.

В результате защитный интервал  $\Delta_g = T_{sym} - T = 0,771$  мкс и интервал между частотами соседних поднесущих колебаний  $\Delta f = 1/T = 0,264$  МГц незначительно увеличатся.

Результаты расчета сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Результаты расчёта дополнительных параметров.

Параметр	Число интервалов дискретизации $T_{sym}/T_s$	Интервал дискретизации $T_s$ , мкс	Частота дискретизации $f_s$ , МГц	Интервалы прямого и обратного ДПФ $T$ , мкс	Защитный интервал $\Delta_g$ , мкс	Интервал между частотами соседних поднесущих колебаний $\Delta f$ , МГц
Величина параметра	128	0,0296	33,78	3,789	0,771	0,264



## **Выводы**

В ходе выполнения данной самостоятельной работы был произведен выбор и расчет параметров OFDM сигнала на основе предоставленных исходных данных. В качестве профилей физического уровня системы связи были взяты: модуляция 16-QAM+FEC 3/4; модуляция 64-QAM+FEC 2/3; модуляция  $\pi/4$ -DQPSK+ FEC 3/4, модуляция 32-QAM+FEC 3/4 т.к. их параметры удовлетворяют исходным данным. Для каждого профиля были рассчитаны количество информационных бит на символ, число поднесущих, а также канальная скорость, необходимая для удовлетворения условиям при выборе количества поднесущих. Также был подобран интервал дискретизации для того, чтобы на длительности OFDM символа укладывалось целое число интервалов дискретизации. Все расчёты были произведены с учётом исходных данных.