

Анализ эффективности  
применения ТСМ кодирования в  
ЦСП на основе технологии  
мультиплексирования с  
ортогональным частотным  
разделением.

Выполнили Добрук А. ТК-41  
Шарай С.РЭ-41

# ТСМ

## кодирование

- Приблизительно с 1984 года возникает активный интерес к схемам, где модуляция объединяется с кодированием; такие схемы называются *решетчатым кодированием* (trellis-coded modulation — ТСМ).
- Эти схемы позволяют повысить достоверность передачи, не расширяя при этом полосу частот сигнала.
- При наличии шума AWGN схема ТСМ довольно просто может дать суммарную эффективность кодирования порядка 3 дБ по сравнению с не кодированной системой, а при увеличении сложности можно получить эффективность порядка 6 дБ

# Разбиение Унгербока

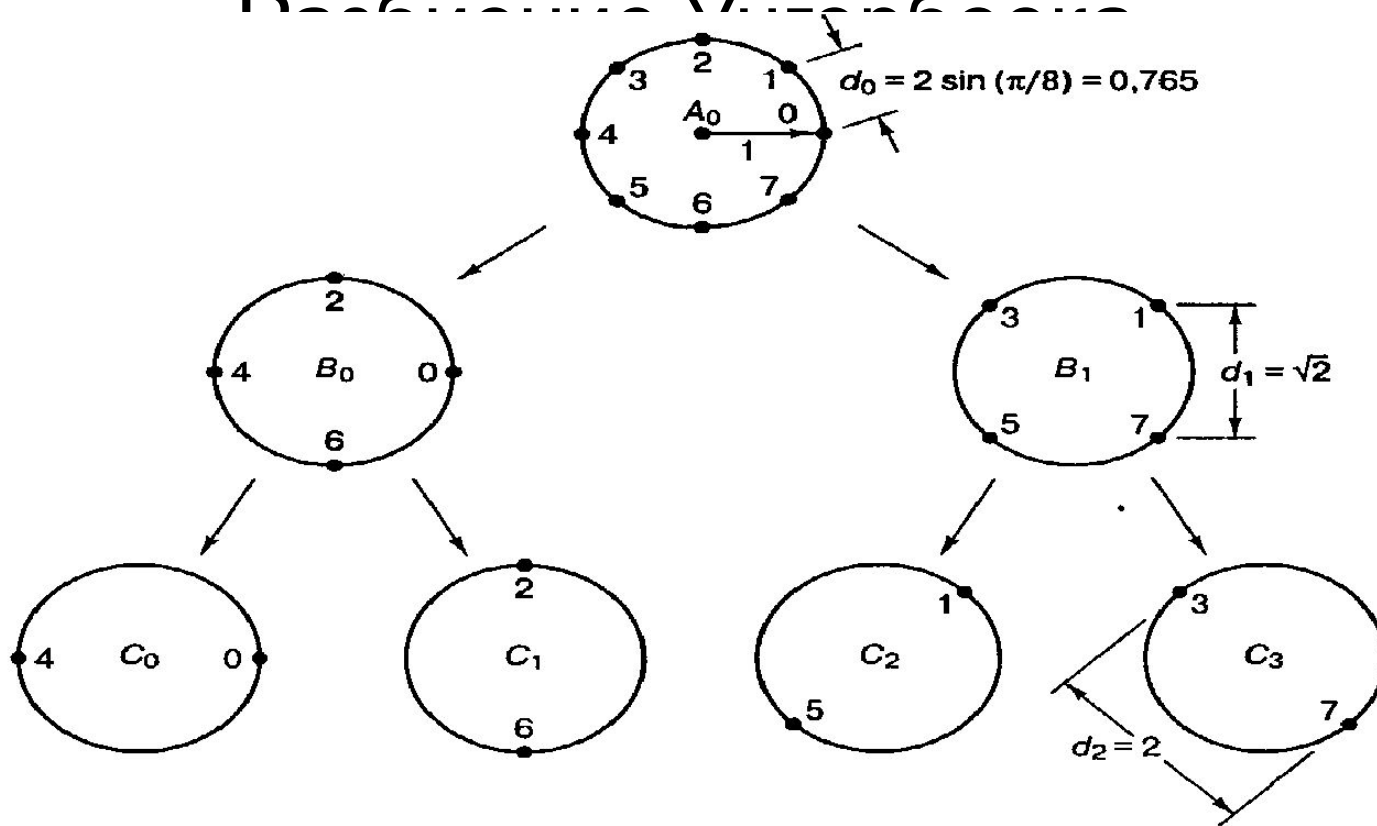


Рис. 9.22. Разбиение Унгербока набора сигналов 8-PSK

- Отображение кода в сигнал, следующее из последовательного разбиения множества модулирующих сигналов на подмножества с возрастающими минимальными расстояниями  $d_0 < d_1 < d_2 \dots$  между элементами подмножеств
- Для схемы ТСМ переходы в решетке помечаются модулирующими сигналами.

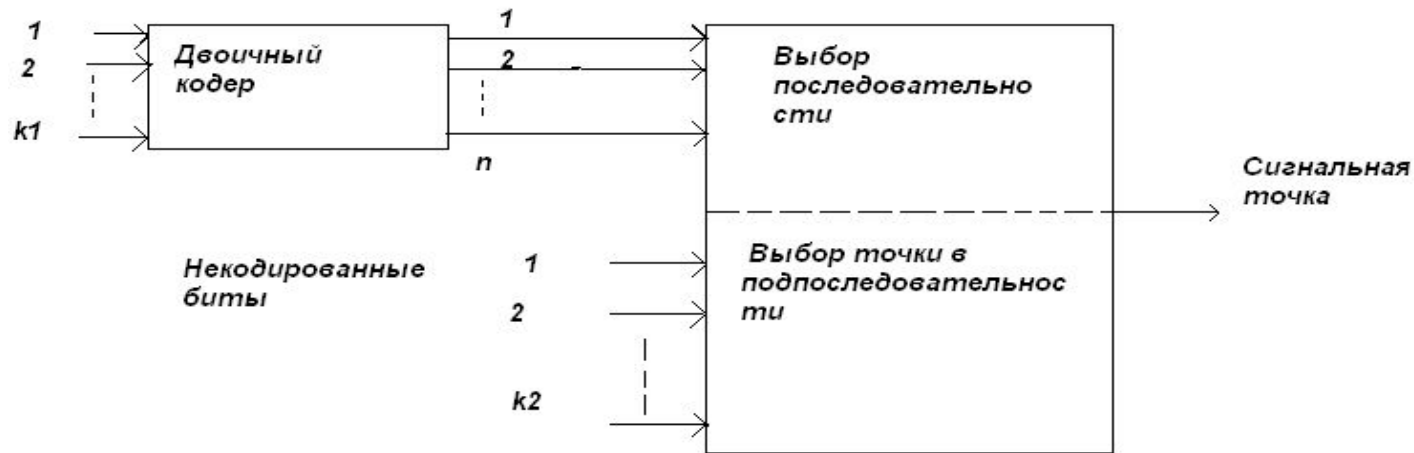
# Отображение сигналов на переходы решетки

Унгербок разработал эвристический набор правил назначения сигналам соответствующих ветвей переходов решетки для получения эффективности кодирования, который позволяет сделать адекватный выбор состояний решетки. Правила построения решетки и разбиения множества сигнала (для модуляции 8-PSK) можно кратко изложить следующим образом.

- *1. Если за один интервал модуляции кодируется  $k$  бит, решетка должна разрешать для каждого состояния  $2^k$  возможных переходов в последующее состояние.*
- *2. Между парой состояний может существовать более одного перехода.*
- *3. Все сигналы должны появляться с равной частотой и обладать высокой регулярностью и симметрией.*
- *4. Переходы с одинаковым исходным состоянием присваиваются сигналам либо из подмножества  $V_0$ , либо  $V_1$  — их смешение недопустимо.*
- *5. Переходы с одинаковым конечным состоянием присваиваются сигналам либо из подмножества  $V_0$ , либо  $V_1$  — их смешение недопустимо.*
- *6. Параллельные переходы присваиваются сигналам либо из подмножества  $S_0$ , либо  $S_1$  либо  $S_2$ , либо  $S_3$  — их смешение недопустимо.*

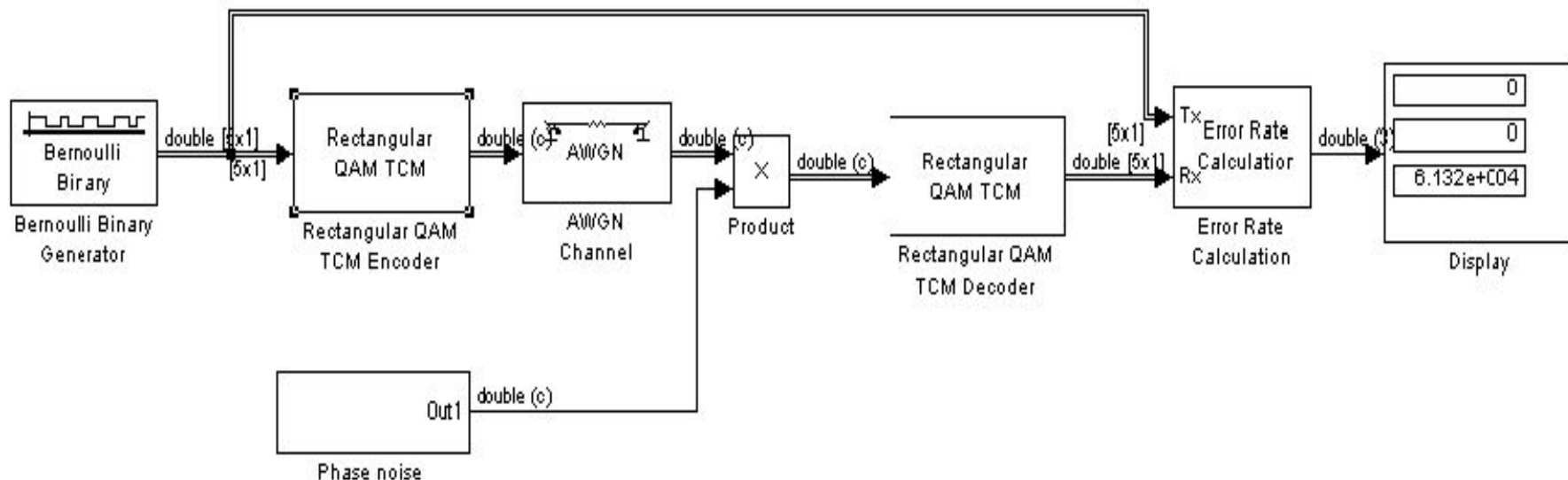


# Общая структура комбинированного кодера/модулятора



- Блок из  $t$  информационных символов делится на две группы длиной  $k1$  и  $k2$ .  $k1$  символов кодируются в  $n$  символов, в то время как  $k2$  символа остаются не кодированными. Затем  $n$  символа кодера используются для выбора одного из  $2^n$  возможных подобразов в расчлененном ансамбле сигналов, в то время как  $k2$  символа используются для выбора одной из  $2^{k2}$  сигнальных точек в каждом подобразе.
- Если  $k2 = 0$ , все  $t$  информационных символа кодируются.

# Модель TCM кодирования



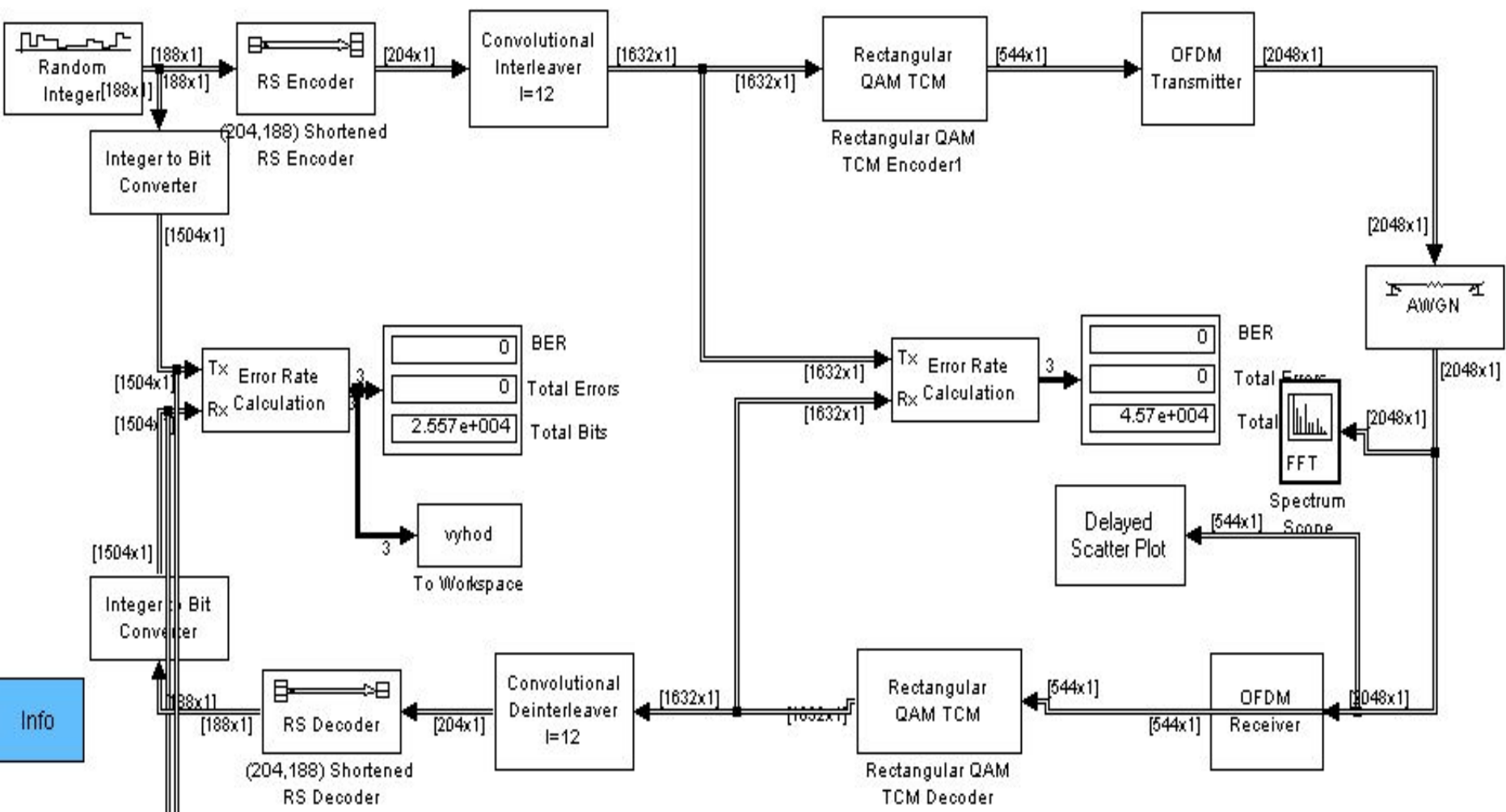
# Сравнение модуляторов для различных значений С/Ш

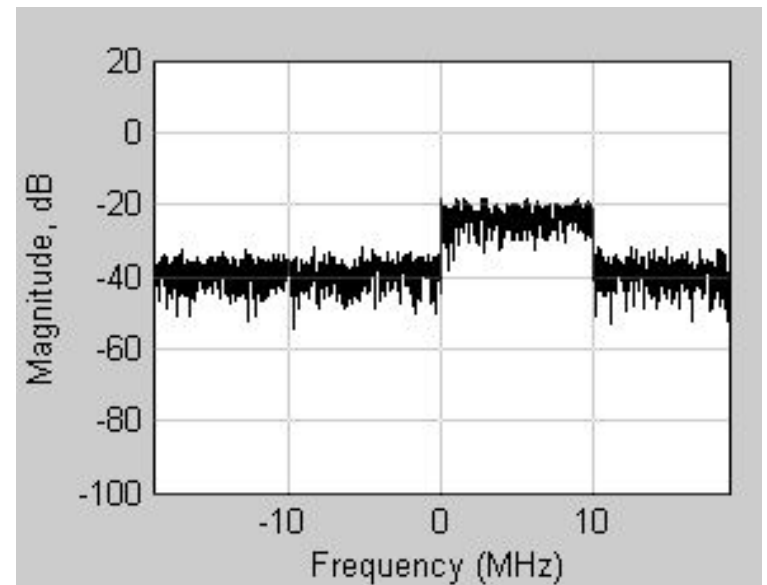
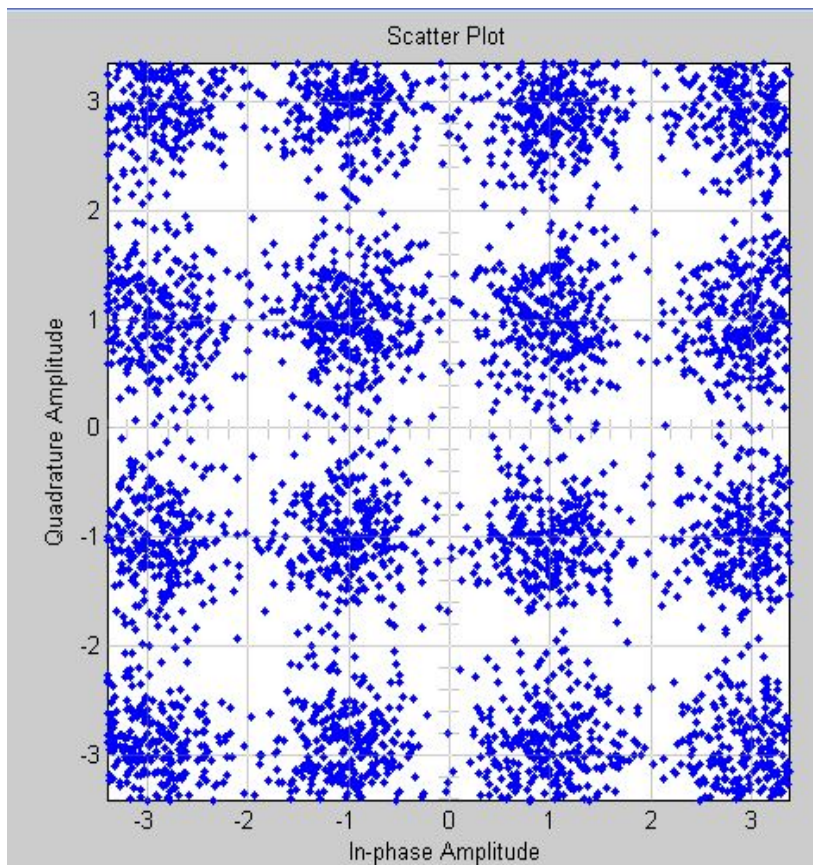
модулятор	С/Ш	error
TCM-64	100	0.005464
	50	0.005628
	10	0.007321
	1	0.0579
	0.1	0.09143
QAM-16	1000	0.006383
	10	0.5253
	100	0.4998
	1000	0.5032
	50	0.5008
	1	0.6737
QPSK	0.1	0.6899
	10	0.5397
	100	0.5015
	1000	0.4983
	50	0.4992
	1	0.6566
TCM-32	0.1	0.662
	10	0.5
	100	0.4964
	1000	0.4976
	50	0.4977
	1	0.501
	0.1	0.5003



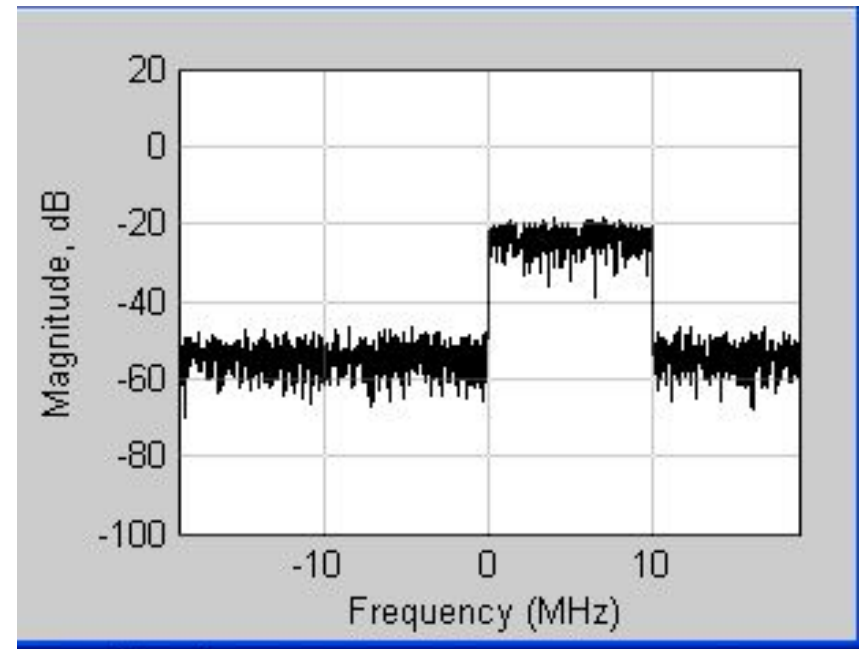
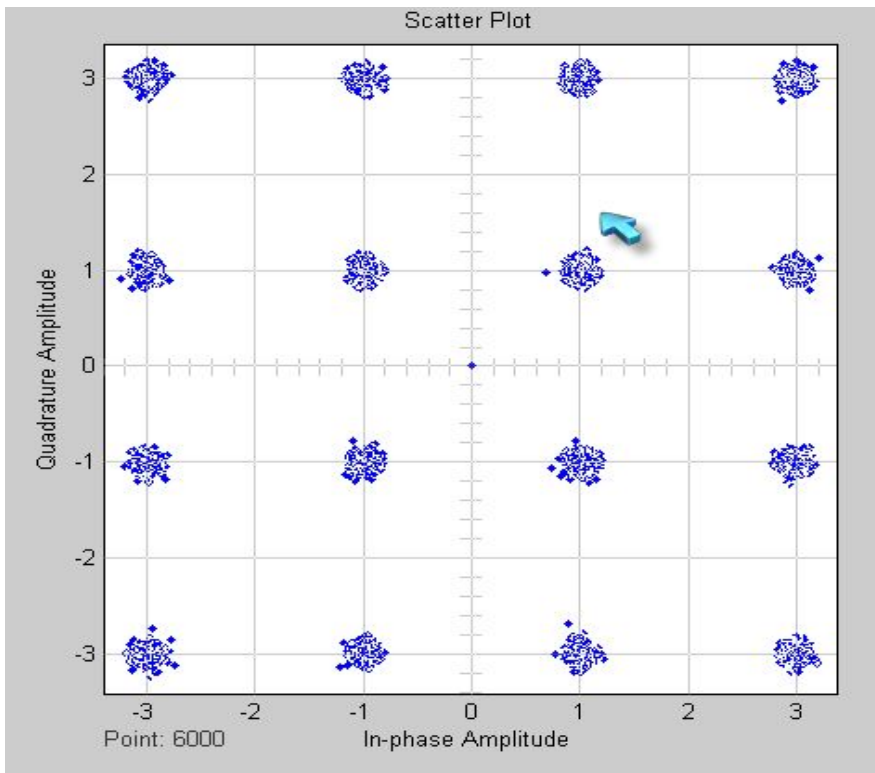
# Digital Video Broadcasting-Terrestrial

## 2k Mode, Nonhierarchical Transmission

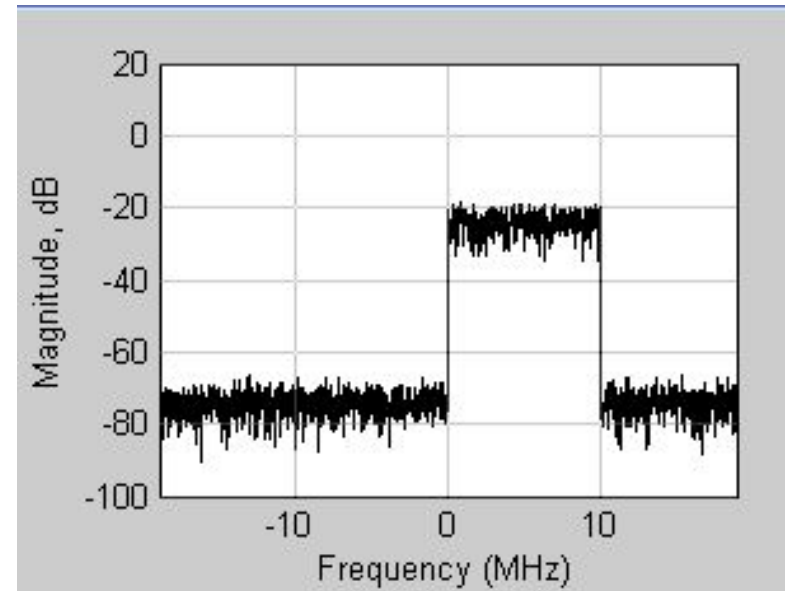
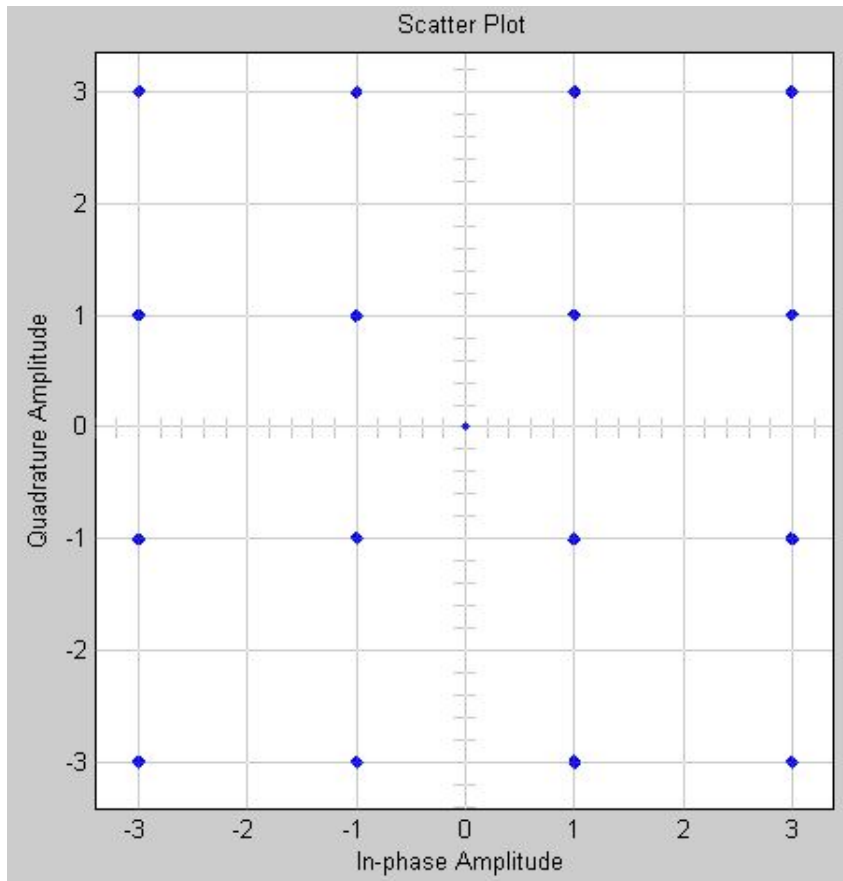




- Созвездие и энергетический спектр сигнала при отношении  $C/\text{Ш} = 5$  дБ в схеме с TCM-16

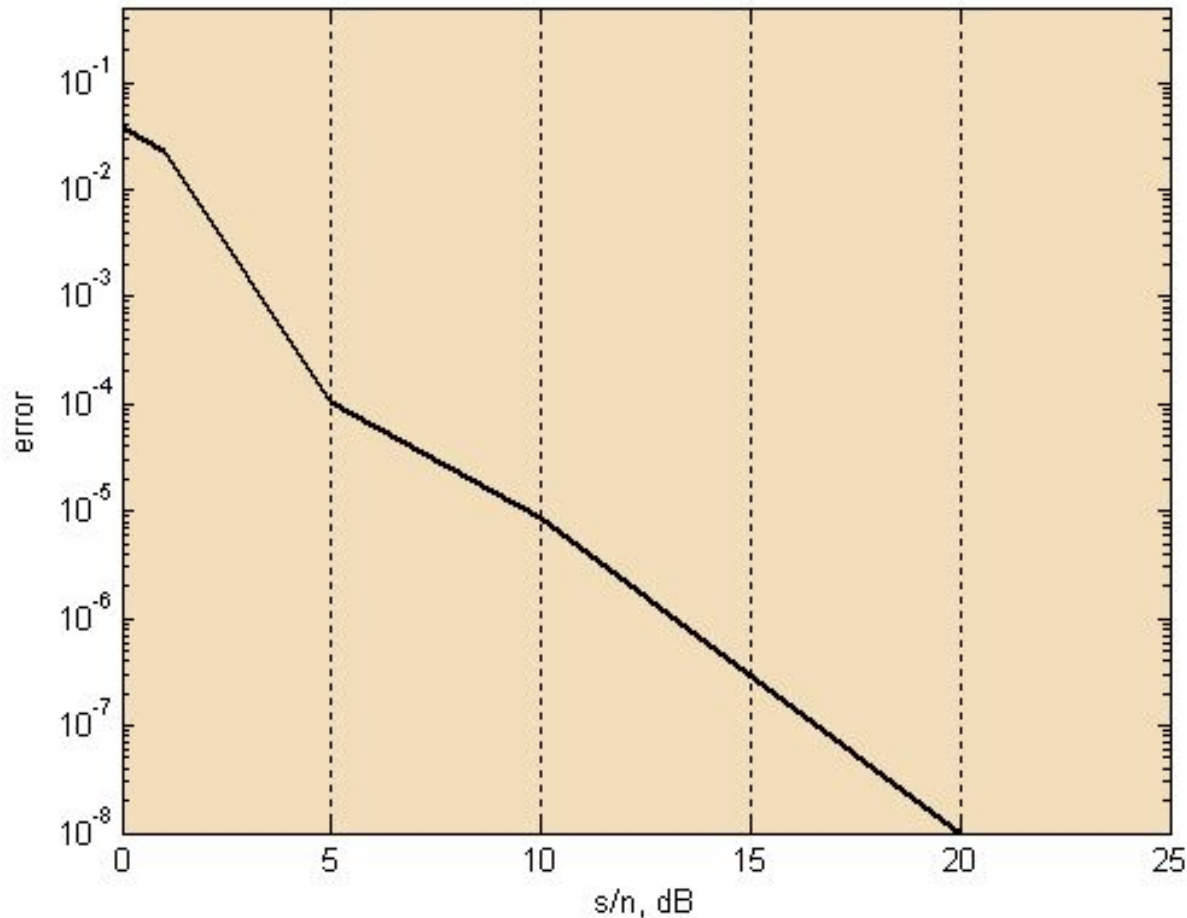


- Созвездие и энергетический спектр сигнала при  $C/\text{Ш} = 20$  дБ в схеме с TSM-16.



- Созвездие и энергетический спектр сигнала при  $C/\text{Ш} = 40\text{дБ}$  в схеме с TSM-16

# Зависимость отношения С/Ш от количества ошибок в канале с АБГШ



# Зависимость величины доплеровского рассеяния от количества ошибок в канале с замираниями Релея.

