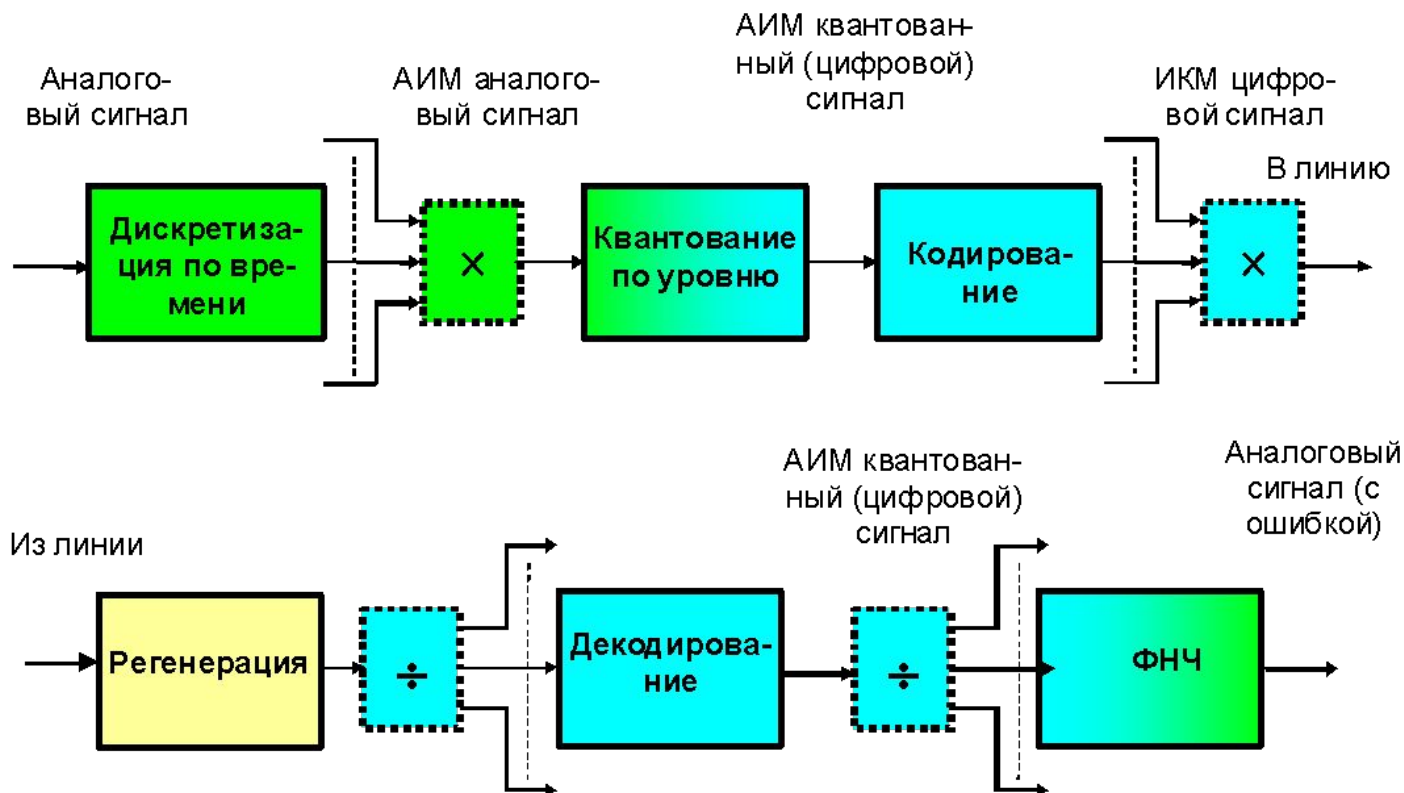
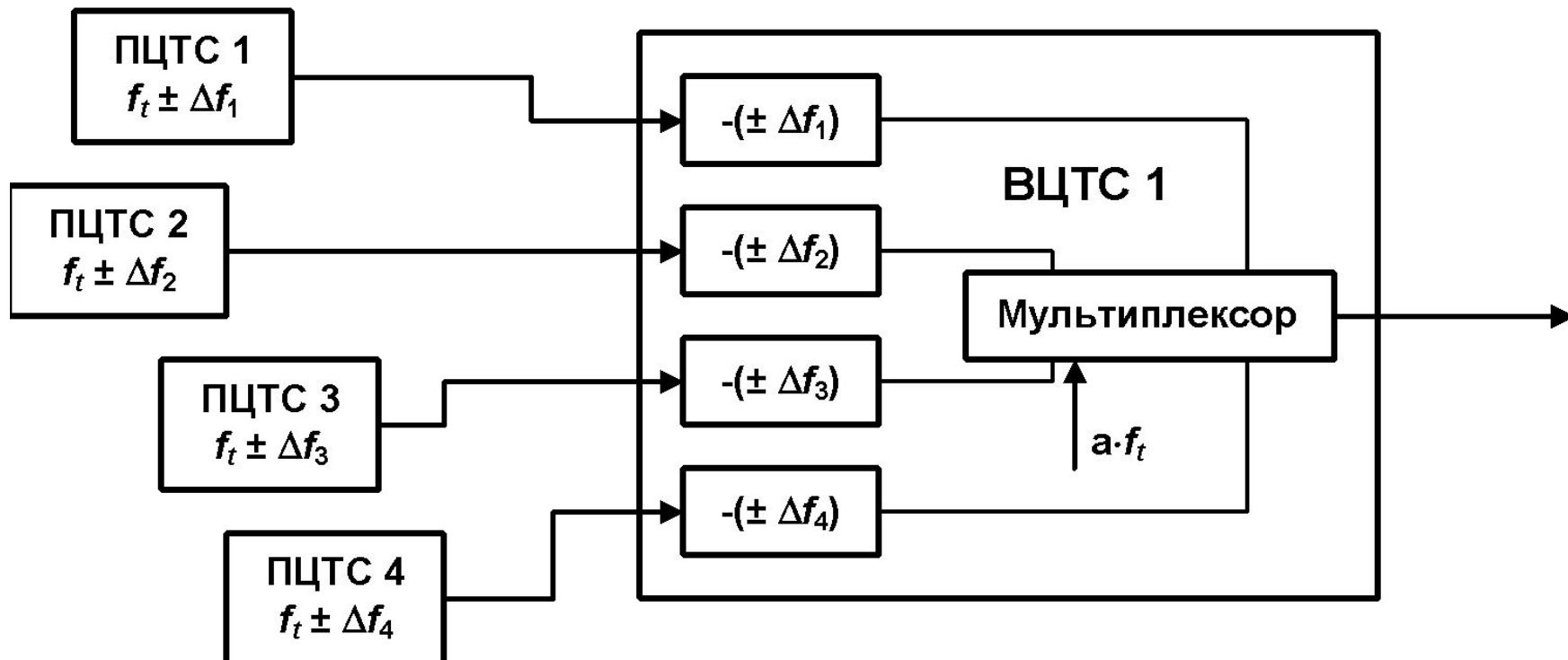


# Цифровая телекоммуникационная система

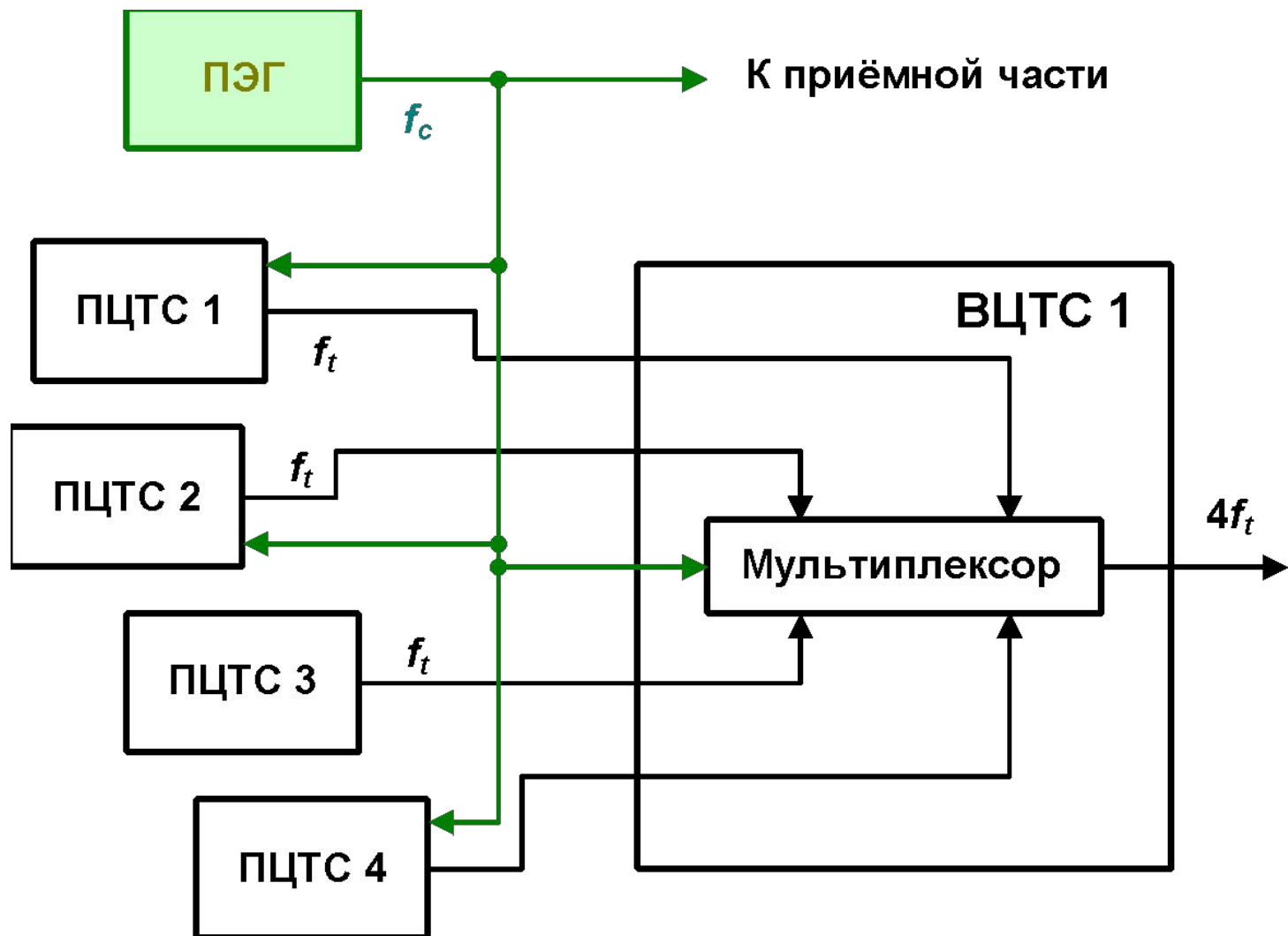


1. Дискретизация по времени
2. Квантование по уровню
3. Кодирование/декодирование
4. Регенерация R3
5. Мультиплексирование
6. Синхронизация (тактовая и кадровая)

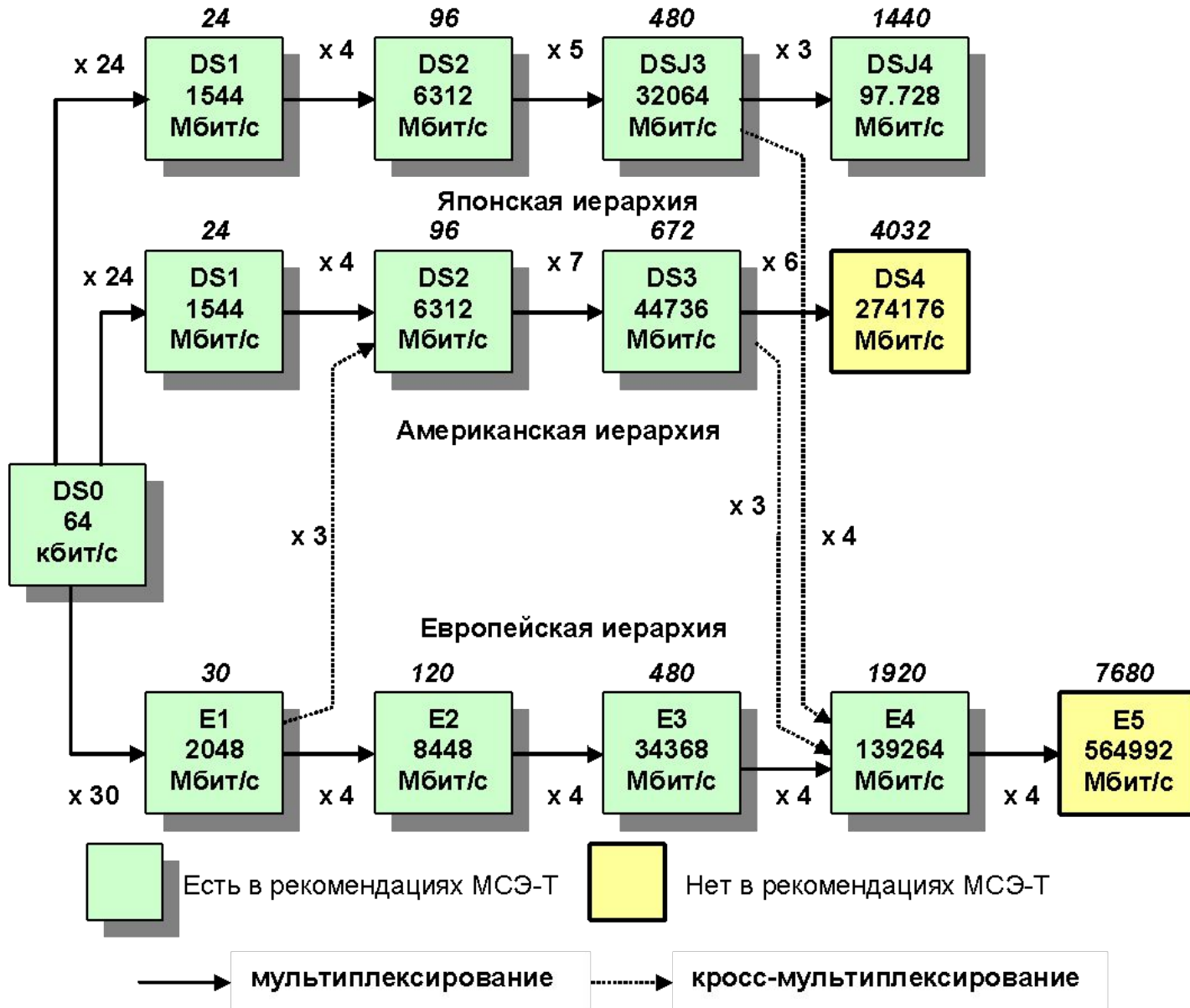
# Структура плезиохронной ВЦТС



# Структура синхронной ВЦТС

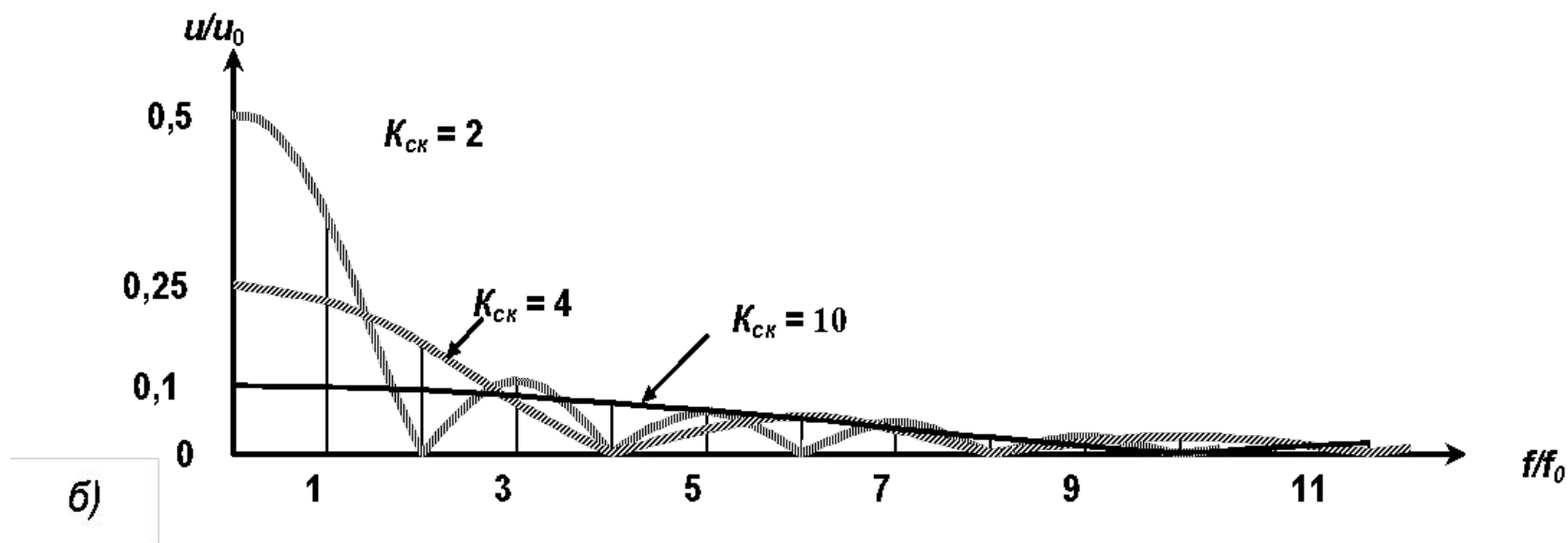
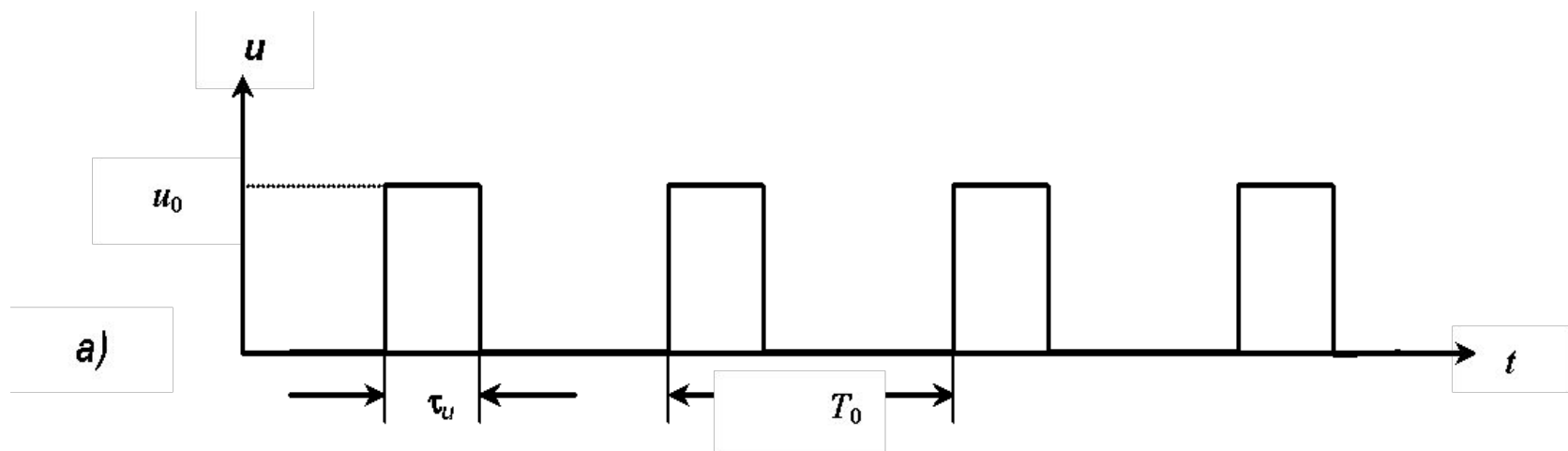


# Плезиохронная цифровая иерархия (ПЦИ)



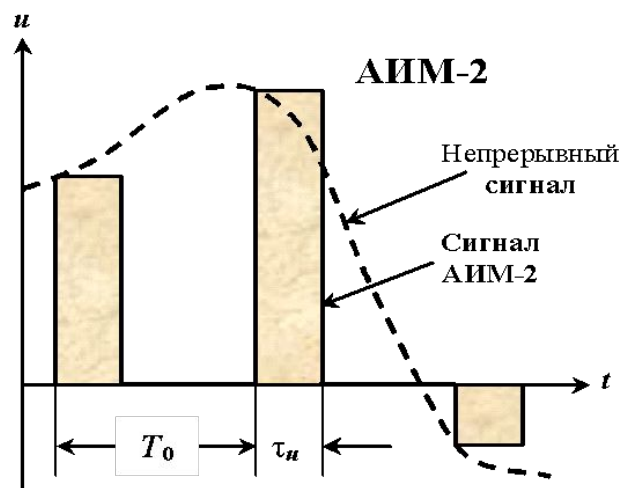
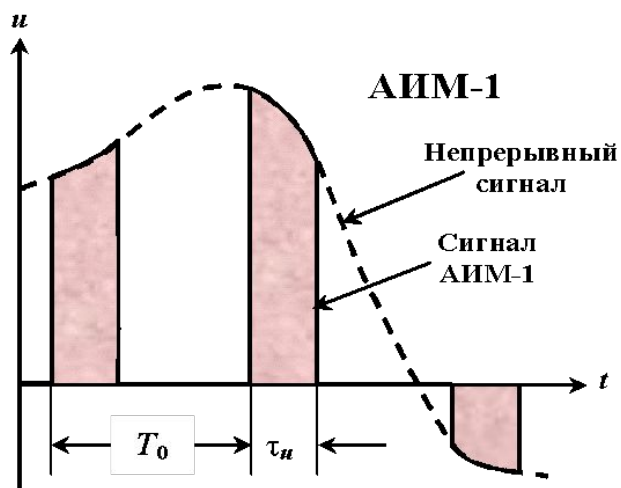
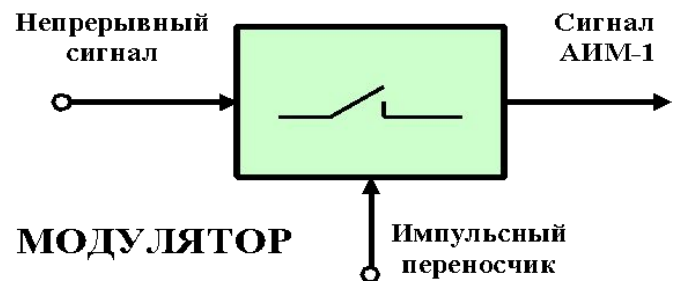
## Синхронная цифровая иерархия (СЦИ)

Уровень	STM-N	Скорость, кбит/с	Количество объединяемых потоков		
			E1	E3	E4
1	STM-1	155 520	63	3	1
2	STM-4	622 080	252	12	4
3	STM-16	2 448 320	1 008	48	16
4	STM-64	9 953 280	4 032	192	64
5	STM-256	39 813 120	16 128	768	256
6	STM-1024	159 252 480	64 512	3 072	1 024

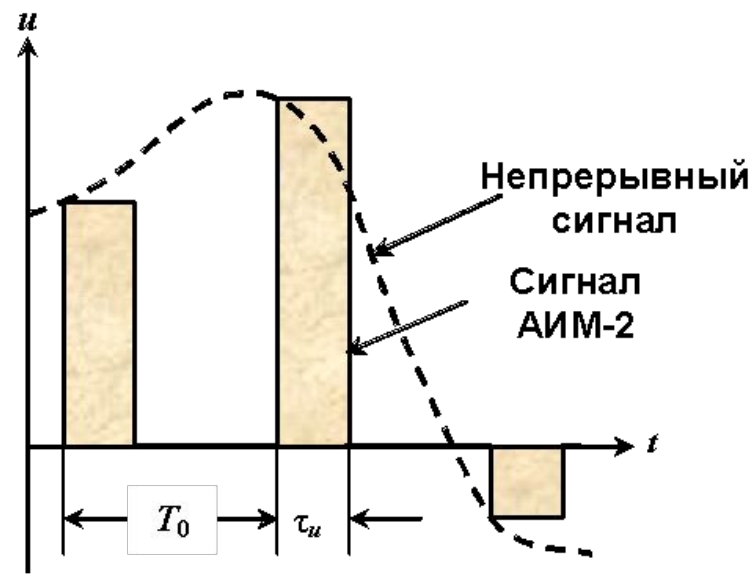
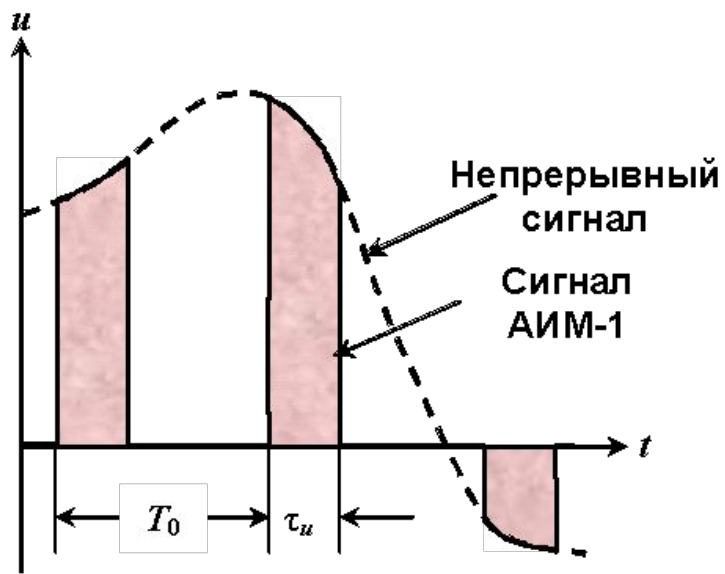
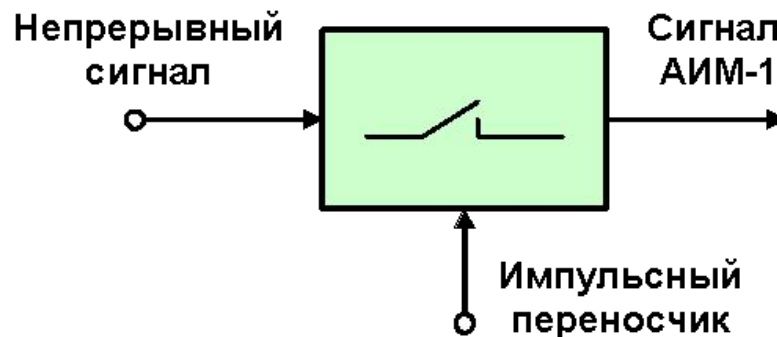


Последовательность прямоугольных импульсов (а) и спектральный состав таких последовательностей с различными  $K_{ск}$  (б)

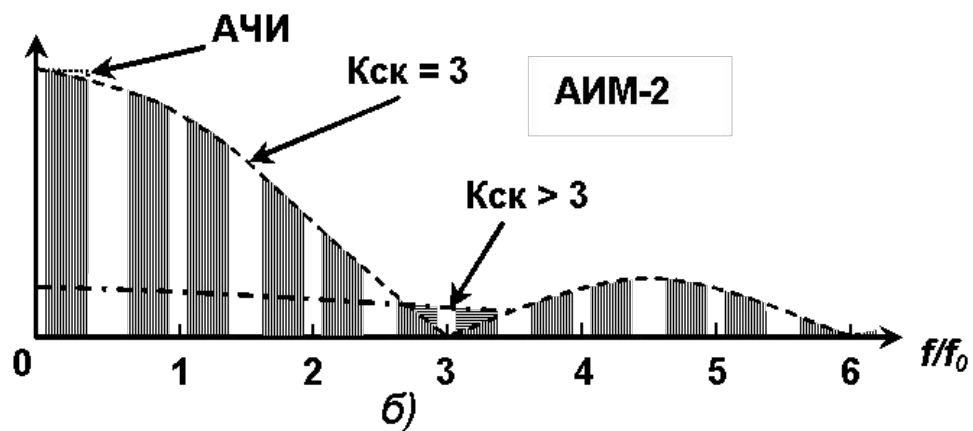
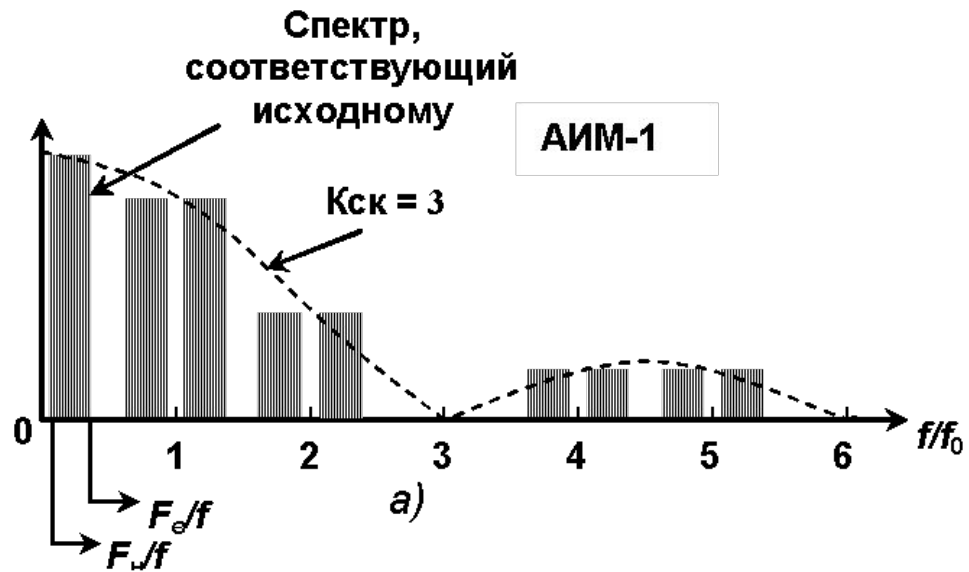
# Виды амплитудно-импульсной модуляции



# Виды амплитудно-импульсной модуляции

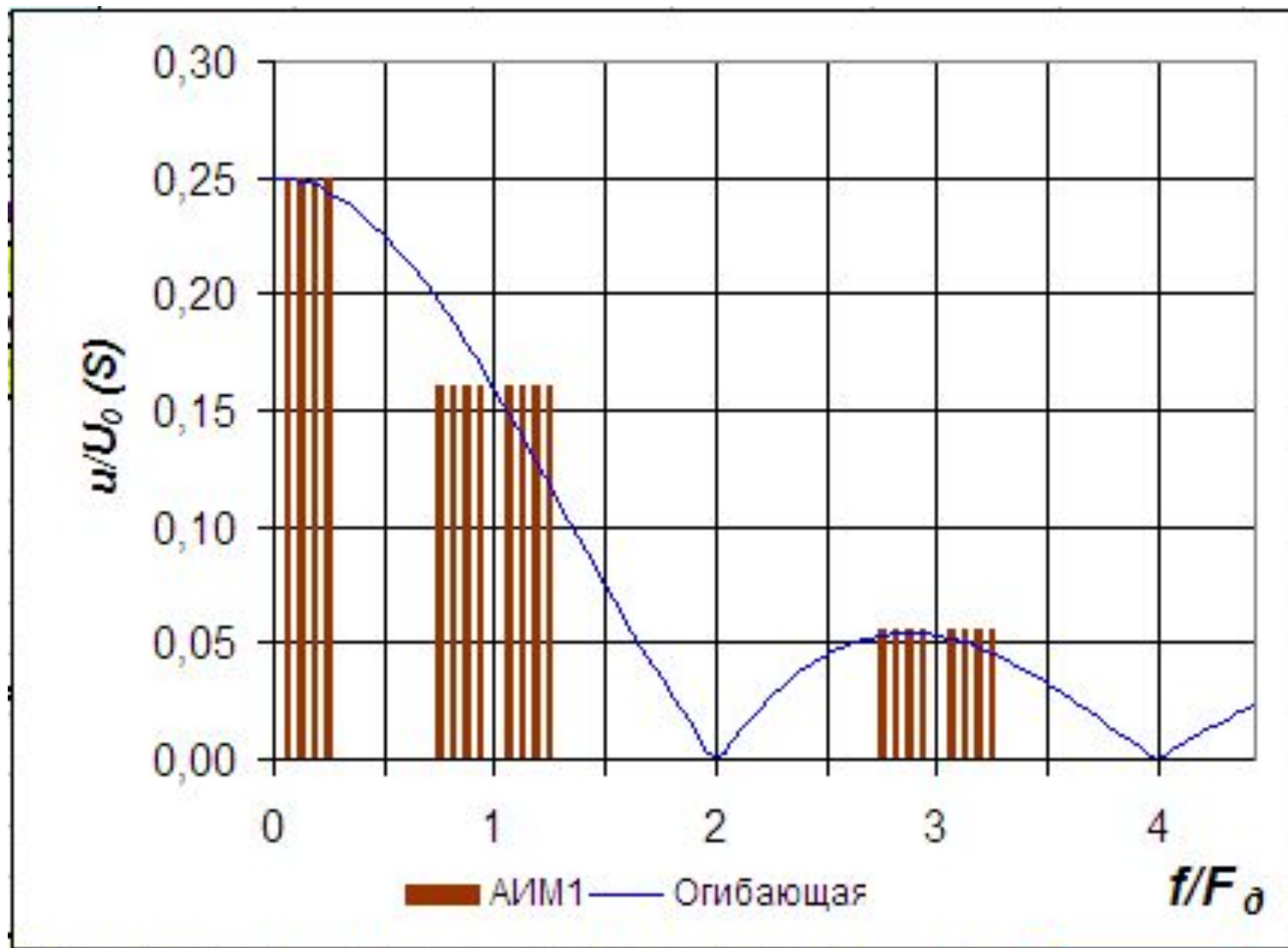


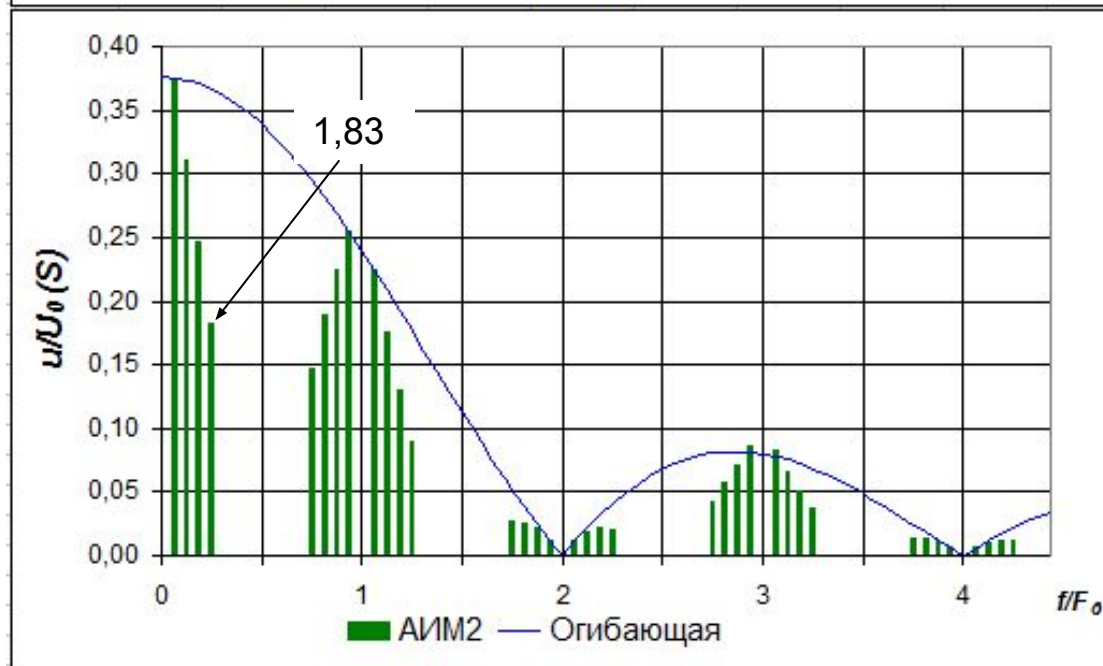
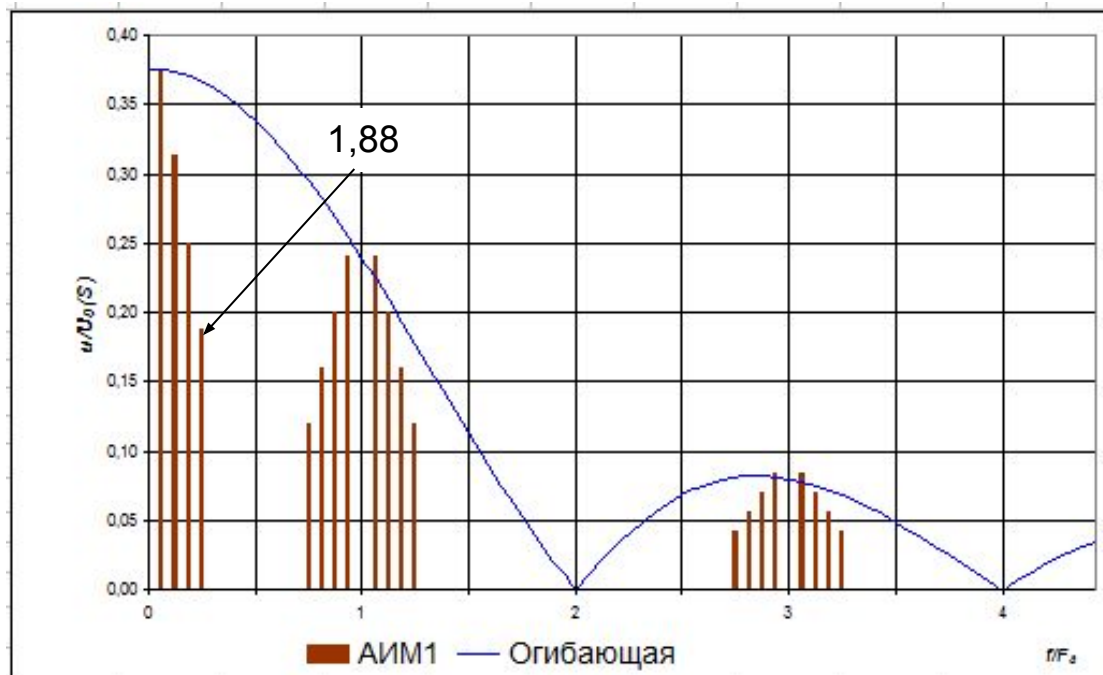




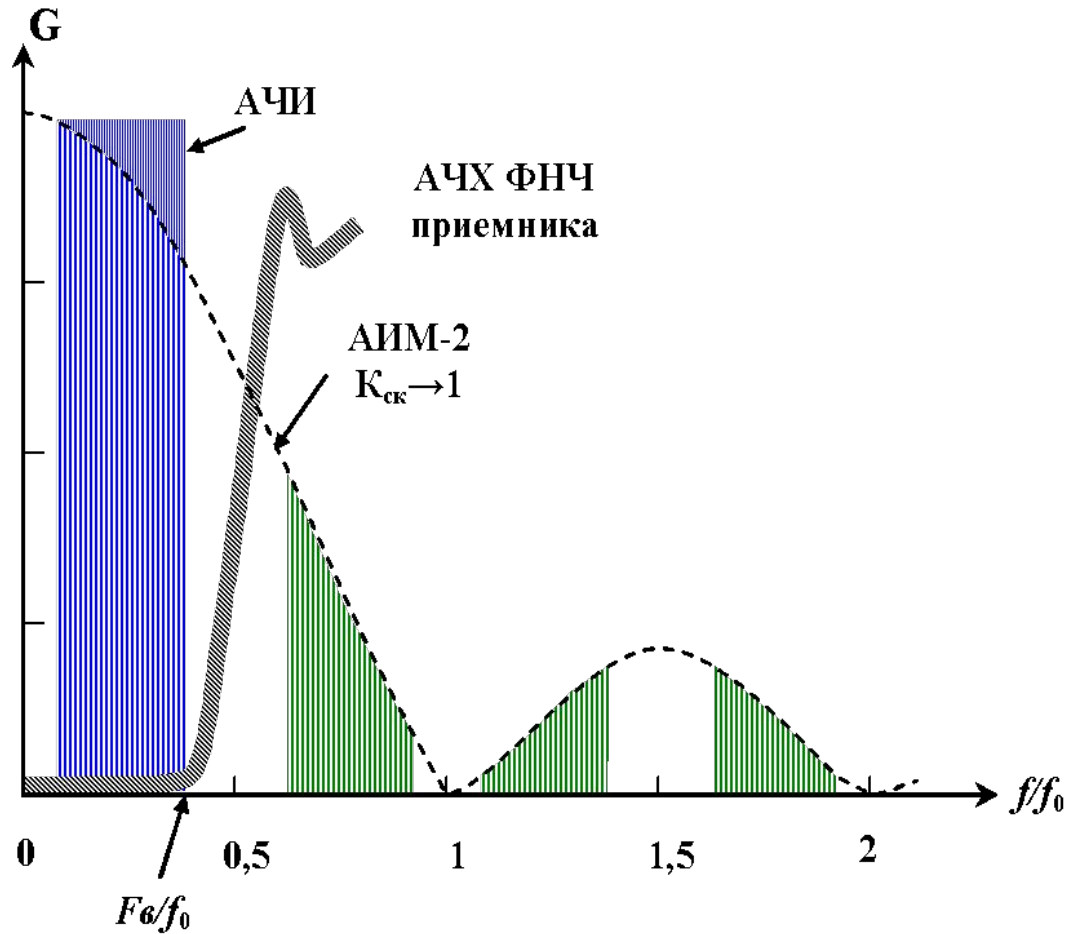
Спектры сигналов: при АИМ-1 (а), при АИМ-2 (б)

# Спектр АИМ-1

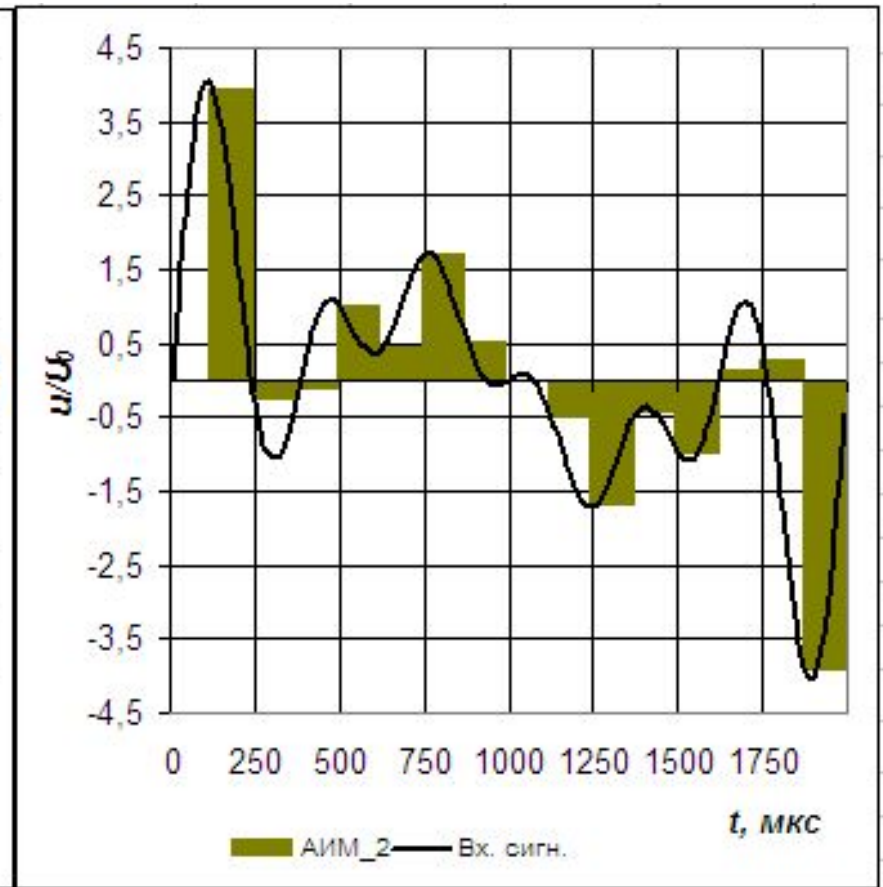
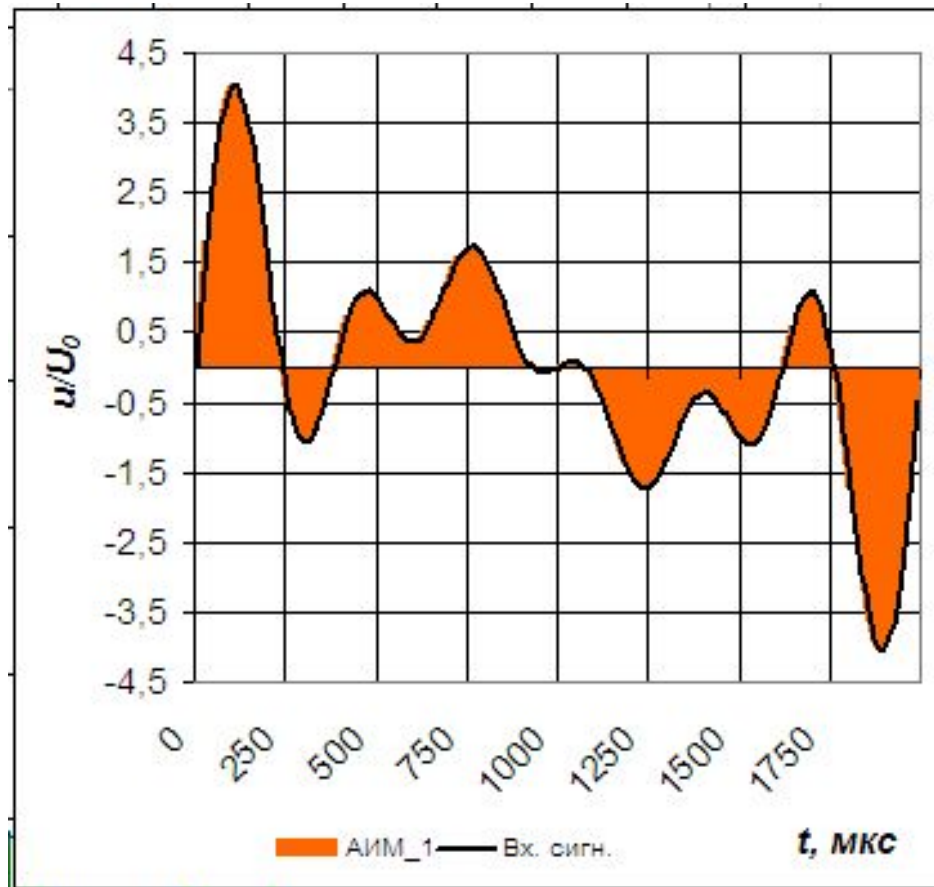




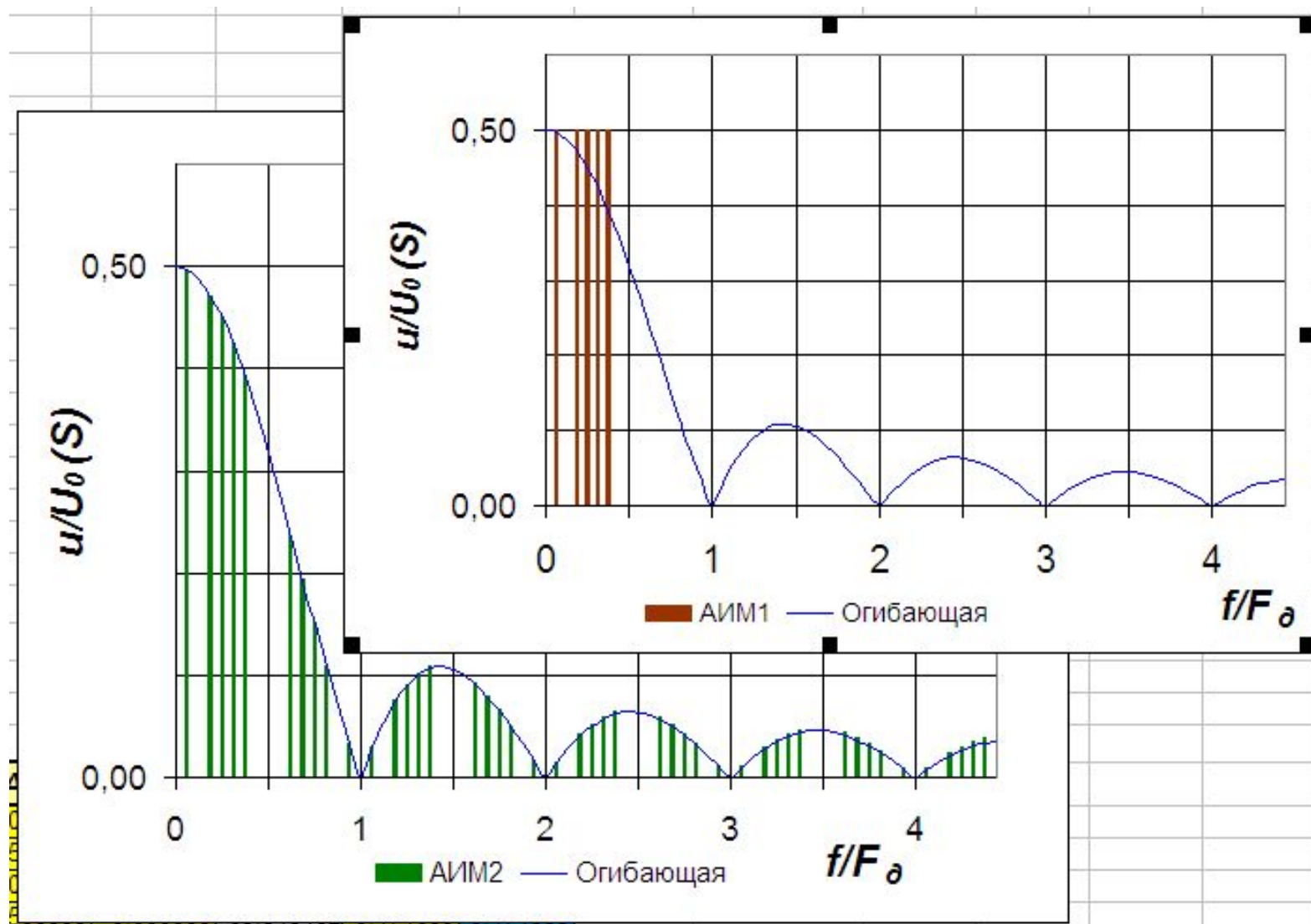
# Спектры АИМ-1 и АИМ-2 при $K_{ск}$ , стремящемся к единице



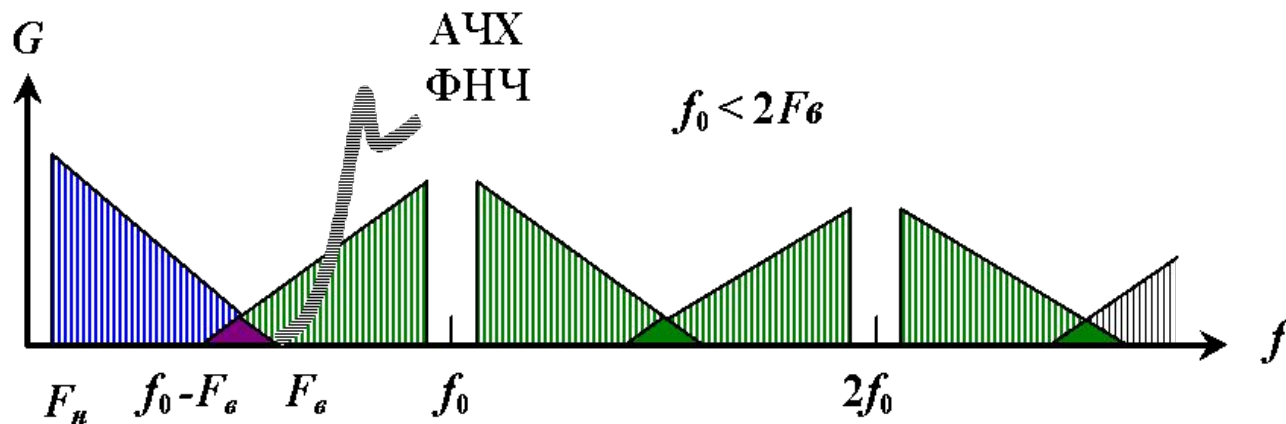
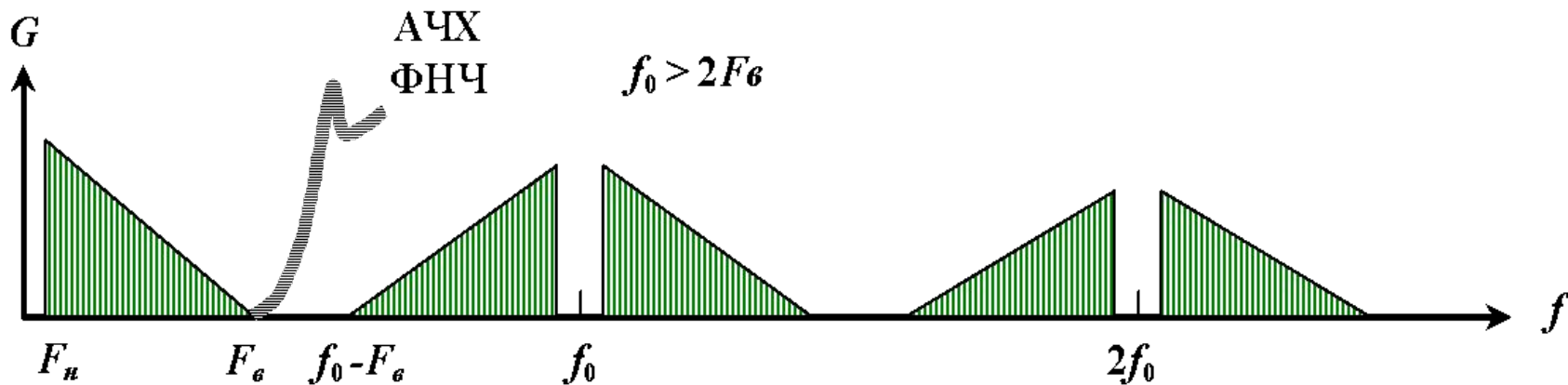
# Сигналы при АИМ-1 и АИМ-2 и $K_{СК} = 1$



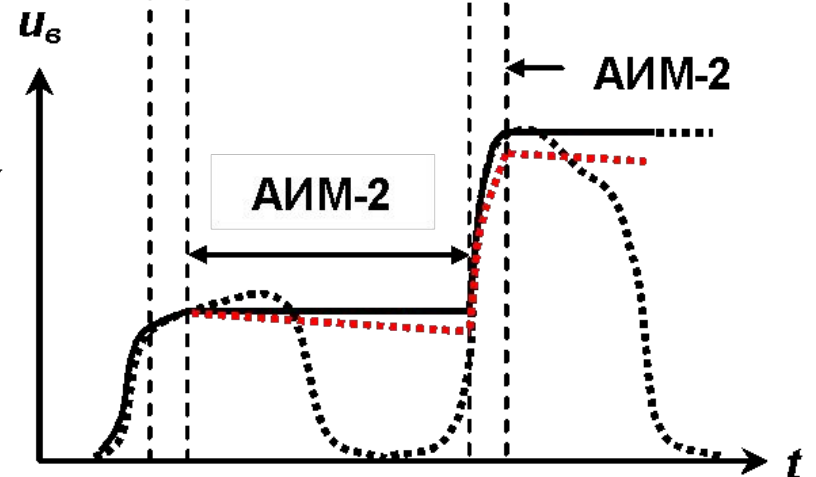
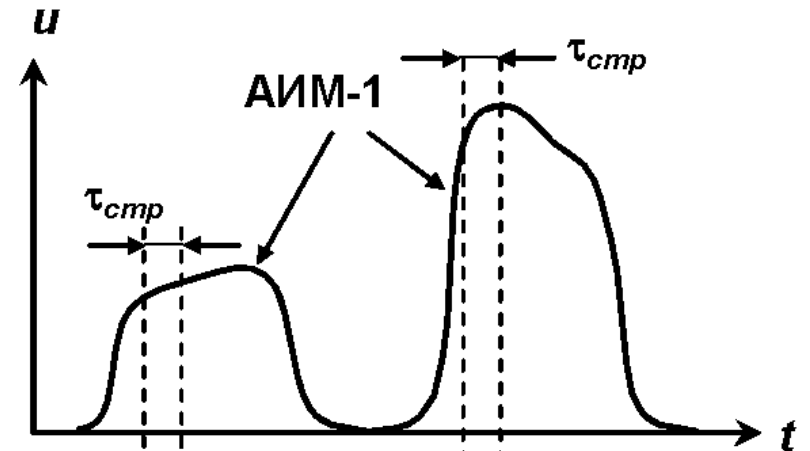
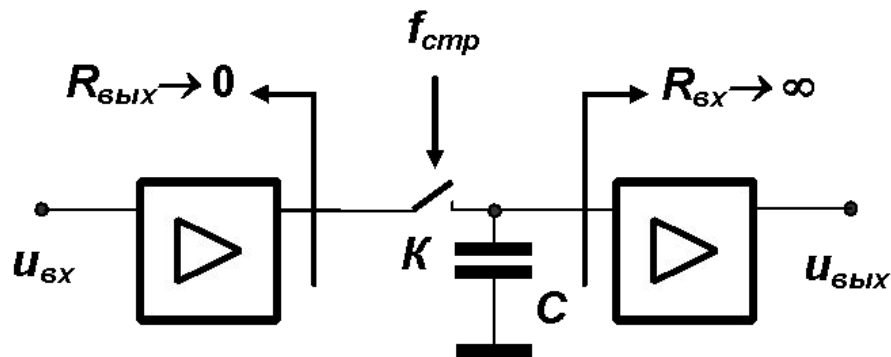
# Спектры сигналов при АИМ-1 и АИМ-2 и $K_{СК} = 1$



# Спектры АИМ сигнала при различных соотношениях $F_e$ и $f_0$

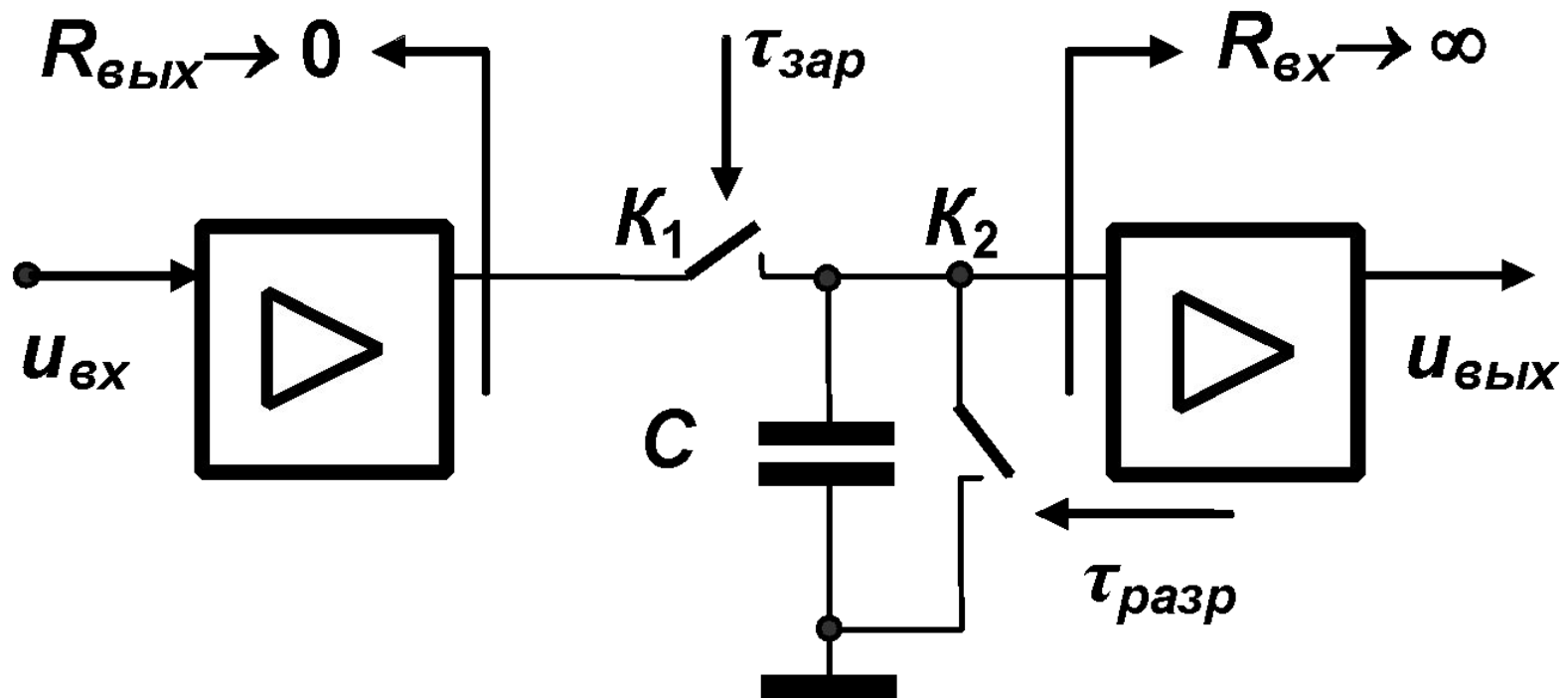


# Схема преобразователя АИМ-1 в АИМ-2 и диаграммы работы преобразователя

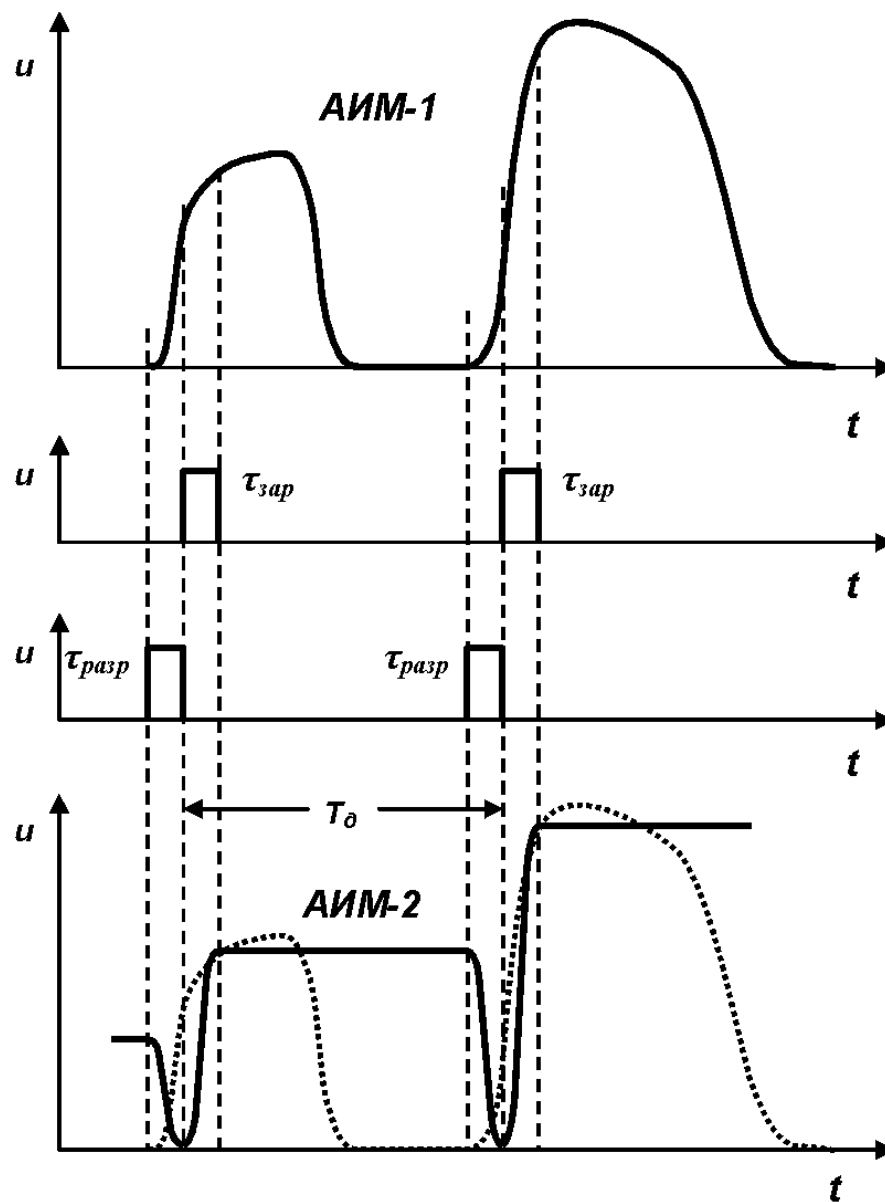




# Модернизированная схема преобразователя АИМ-1 в АИМ-2



# Диаграммы работы модернизированного преобразователя



# Дискретизация узкополосного сигнала

$$f_{\partial u} \leq f_{\partial} \leq f_{\partial k},$$

где  $f_{\partial k} = 2F_{\partial}$ ,

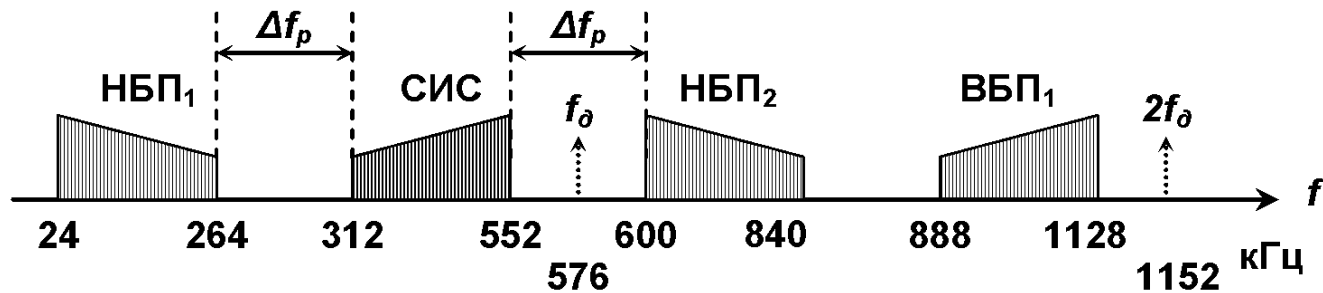
$f_{\partial u} = 2(F_{\partial} - F_{\partial n})$  — частота дискретизации при  $F_{\partial n} = 0$ ,

$$f_{\partial} = \frac{2(F_{\partial} + F_{\partial n})}{2n + 1} \text{ — искомая частота дискретизации,}$$

$n$  — целое число.

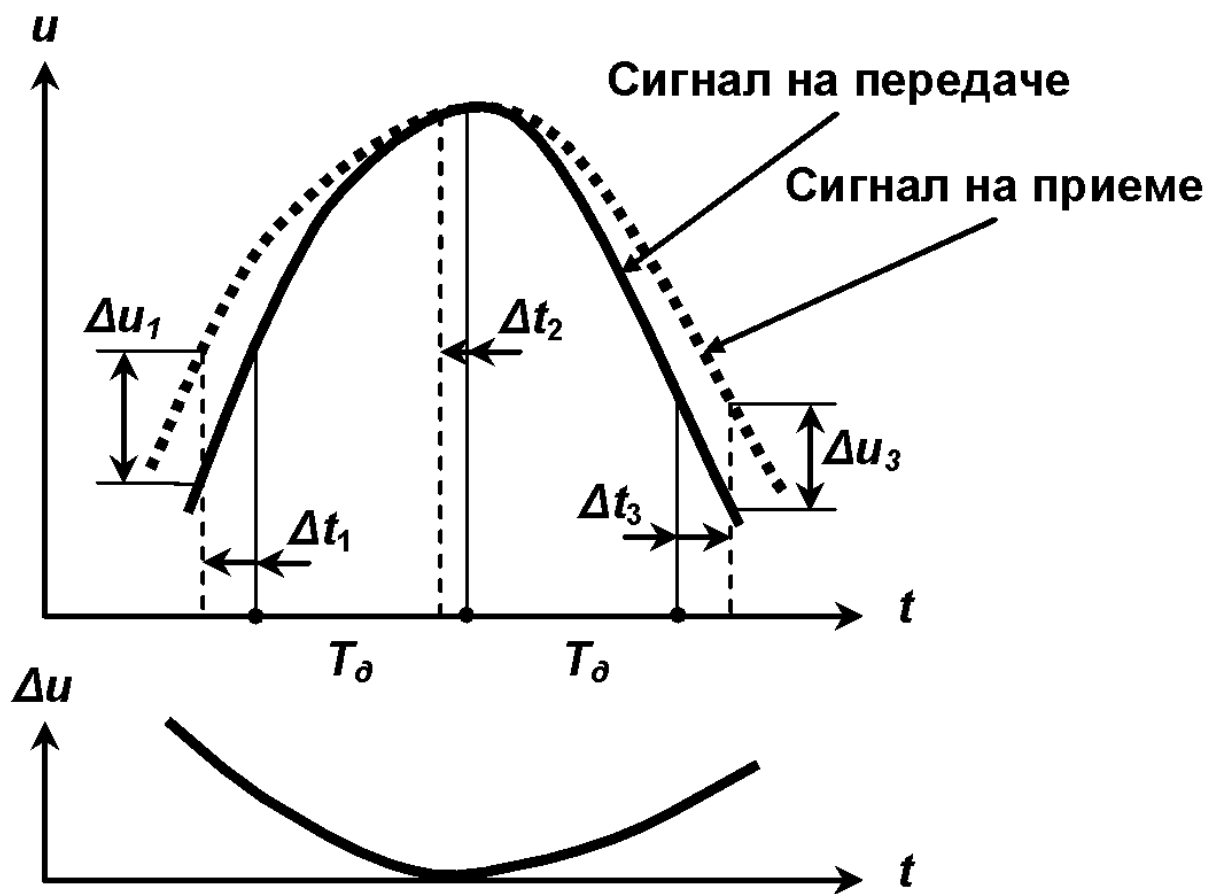
Полоса расфильтровки (расстояние от исходного спектра до ближайших преобразованных составляющих)

$$\Delta f_p = \frac{f_{\partial}}{2} - f_{\partial u}.$$

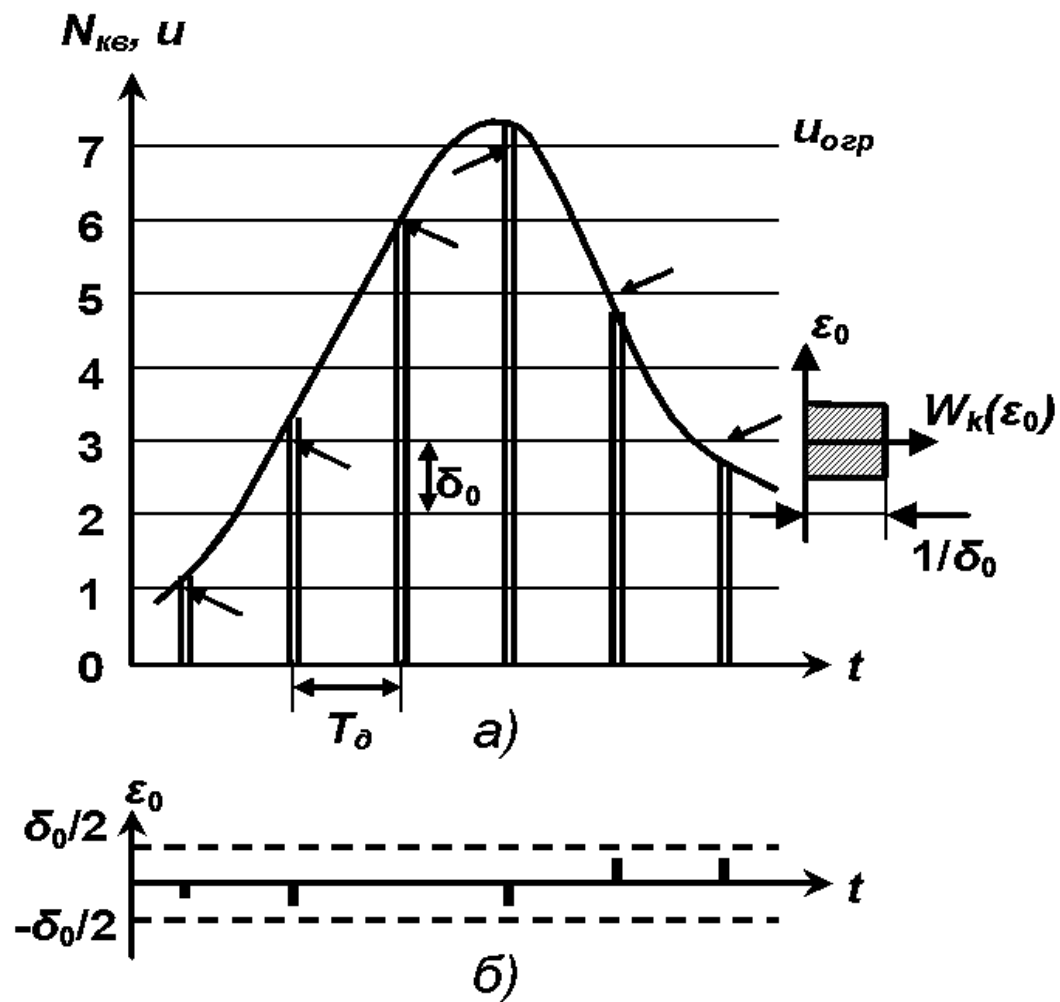


Спектр дискретизированного группового сигнала

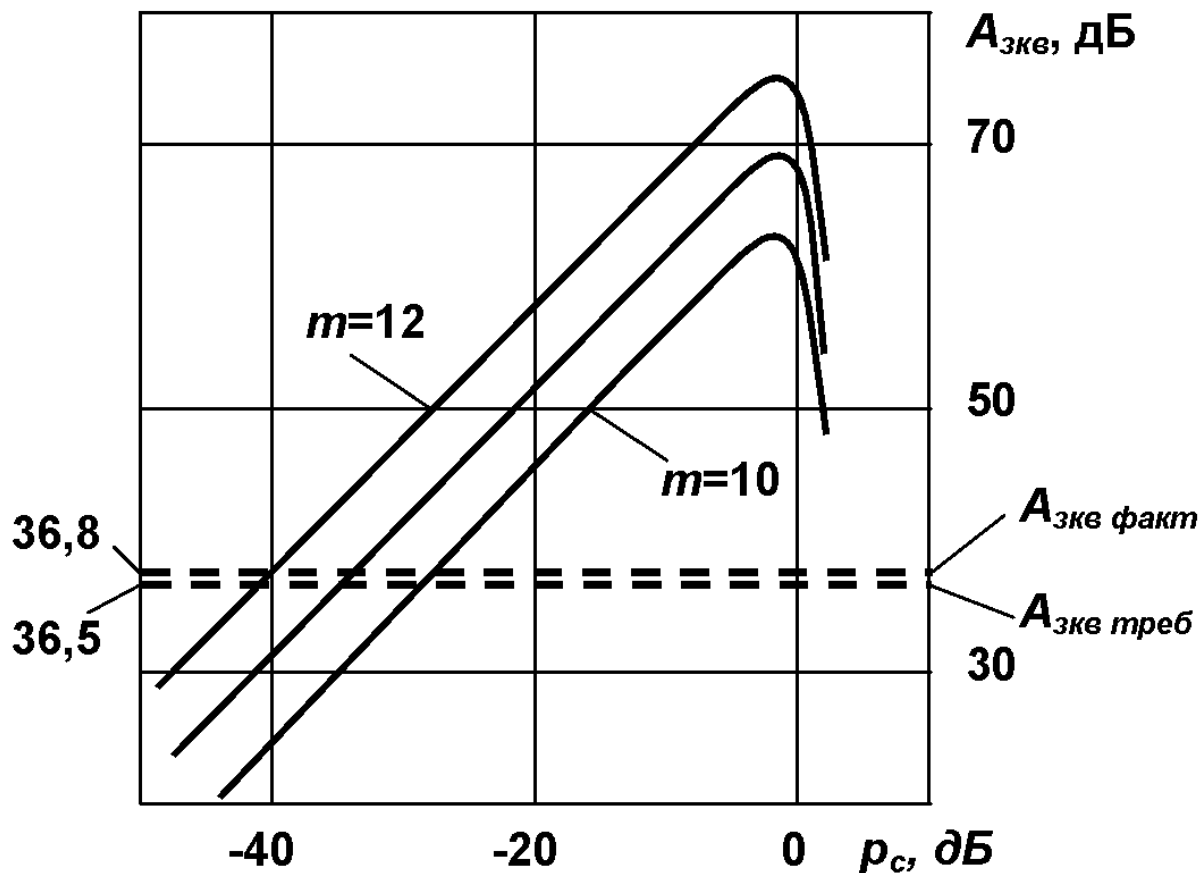
# Возникновение ошибки дискретизации



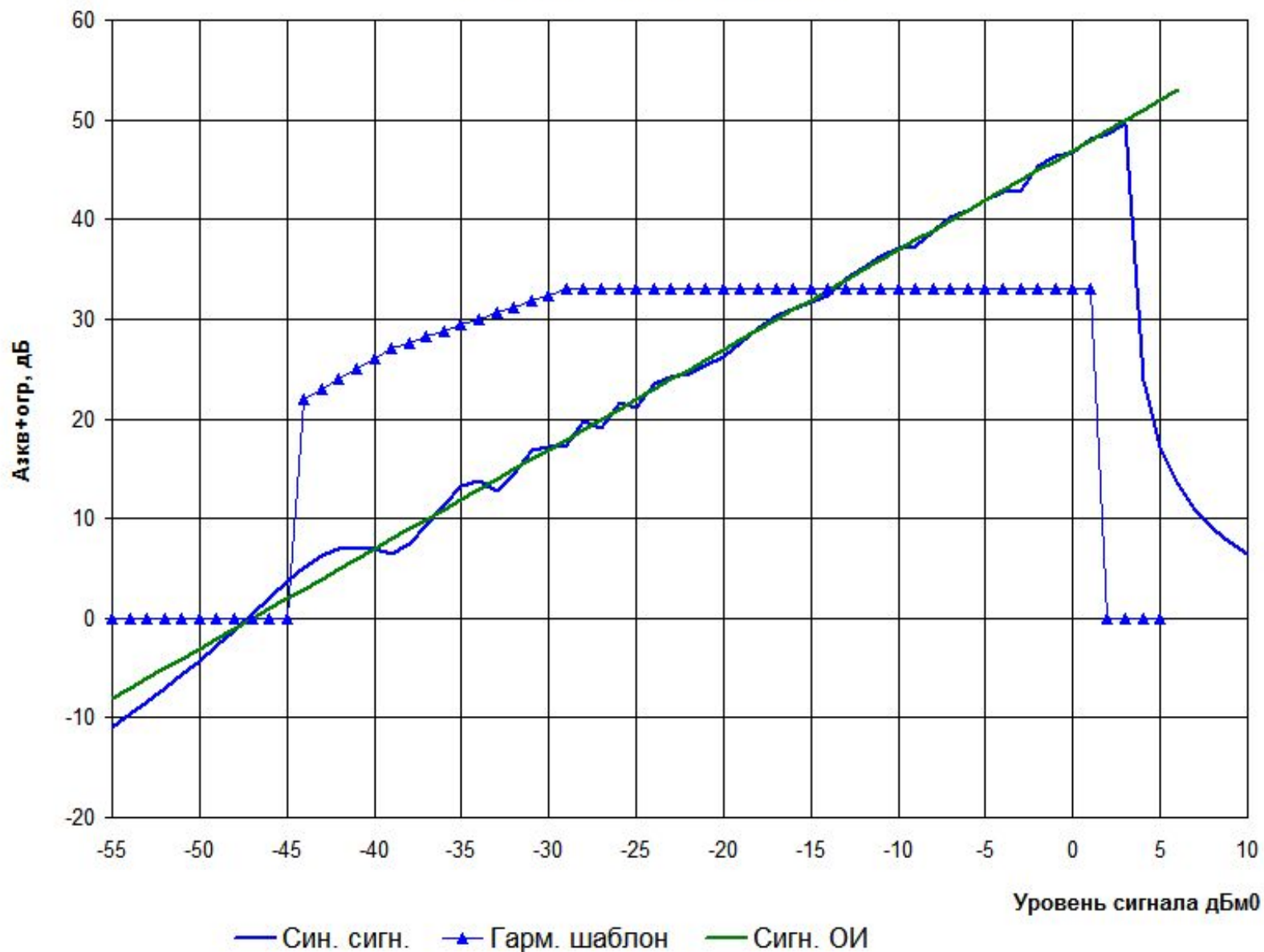
# Возникновение ошибки квантования



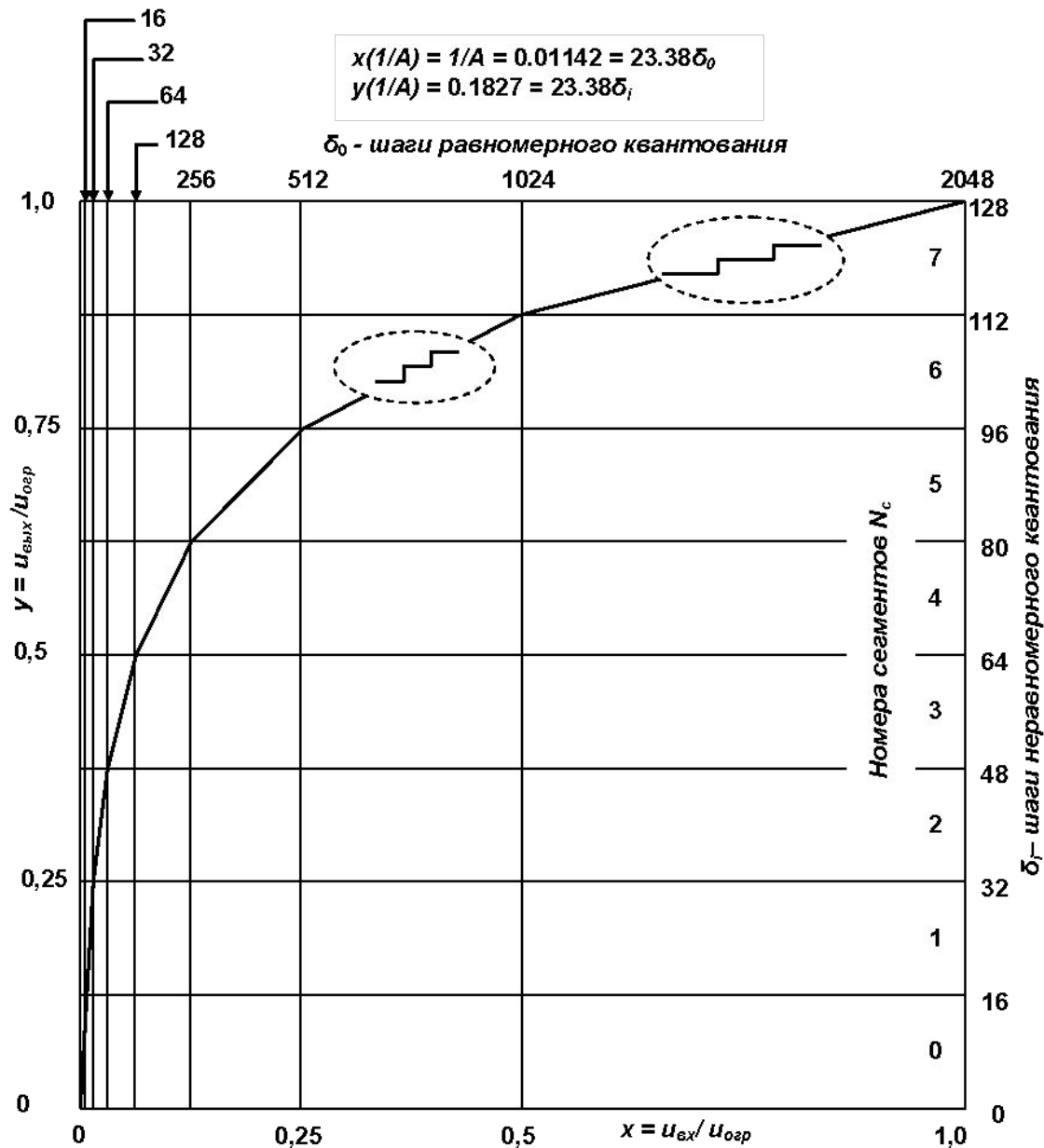
# Защищенность от шумов квантования при равномерном квантовании



Линейный кодек (8 разрядов)

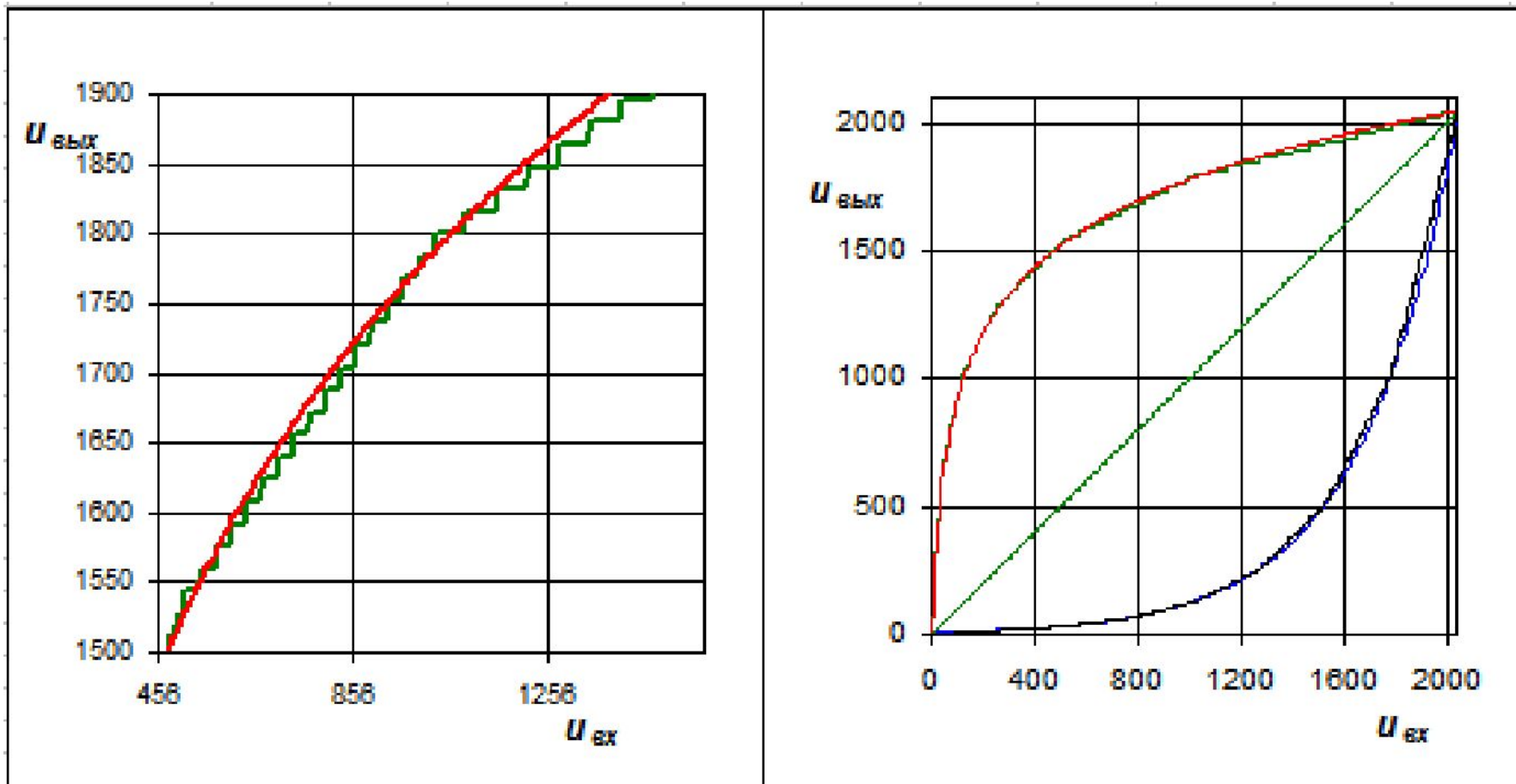


# A-характеристика неравномерного квантующего устройства





# Реализация А-характеристики квантования



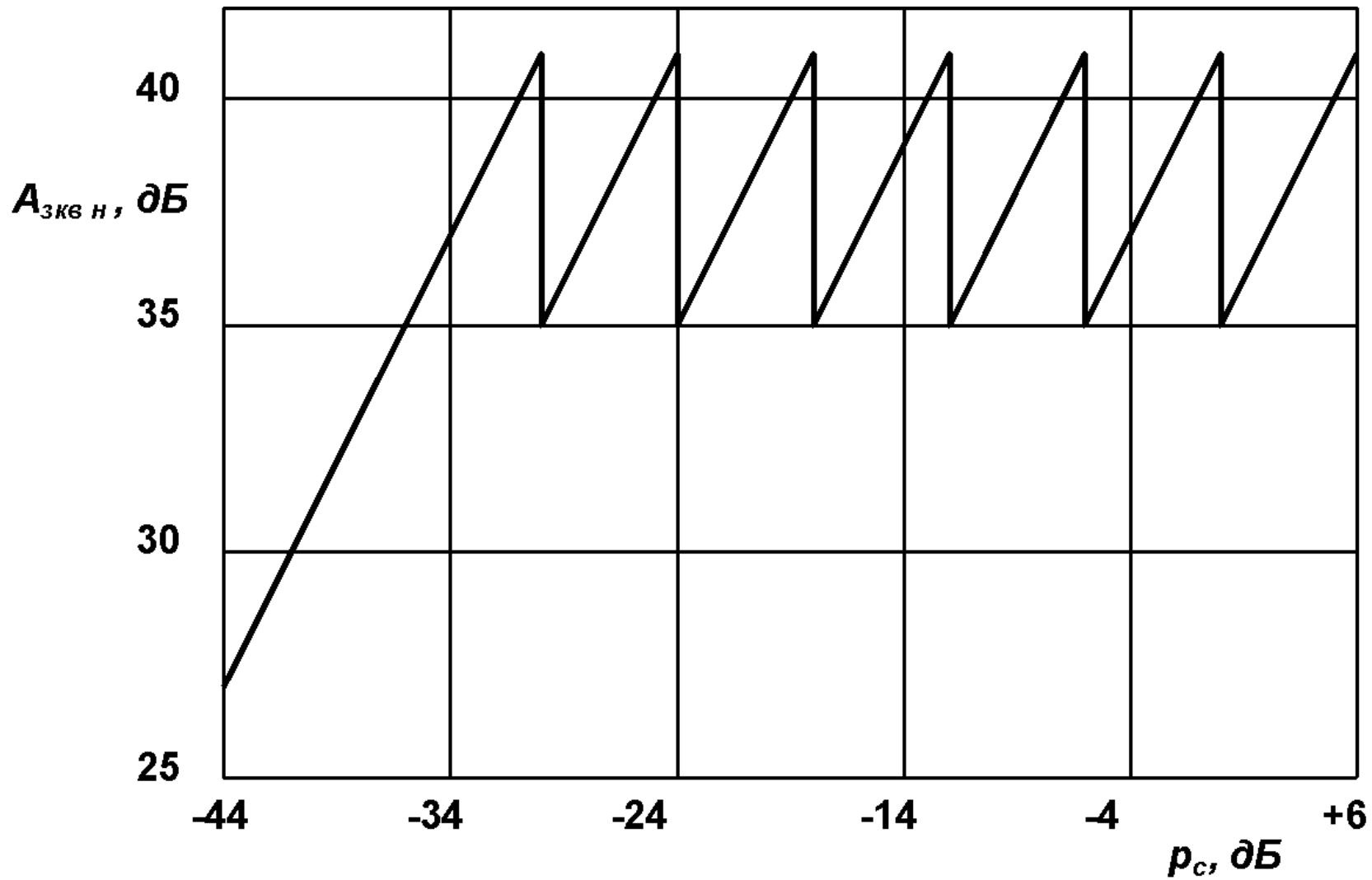
## Параметры А-характеристики

$$A_{зкв1,2} = 10 \lg \frac{(u_{озп} x)^2}{\delta_0^2 / 12} \cong 20 \lg x + 77$$

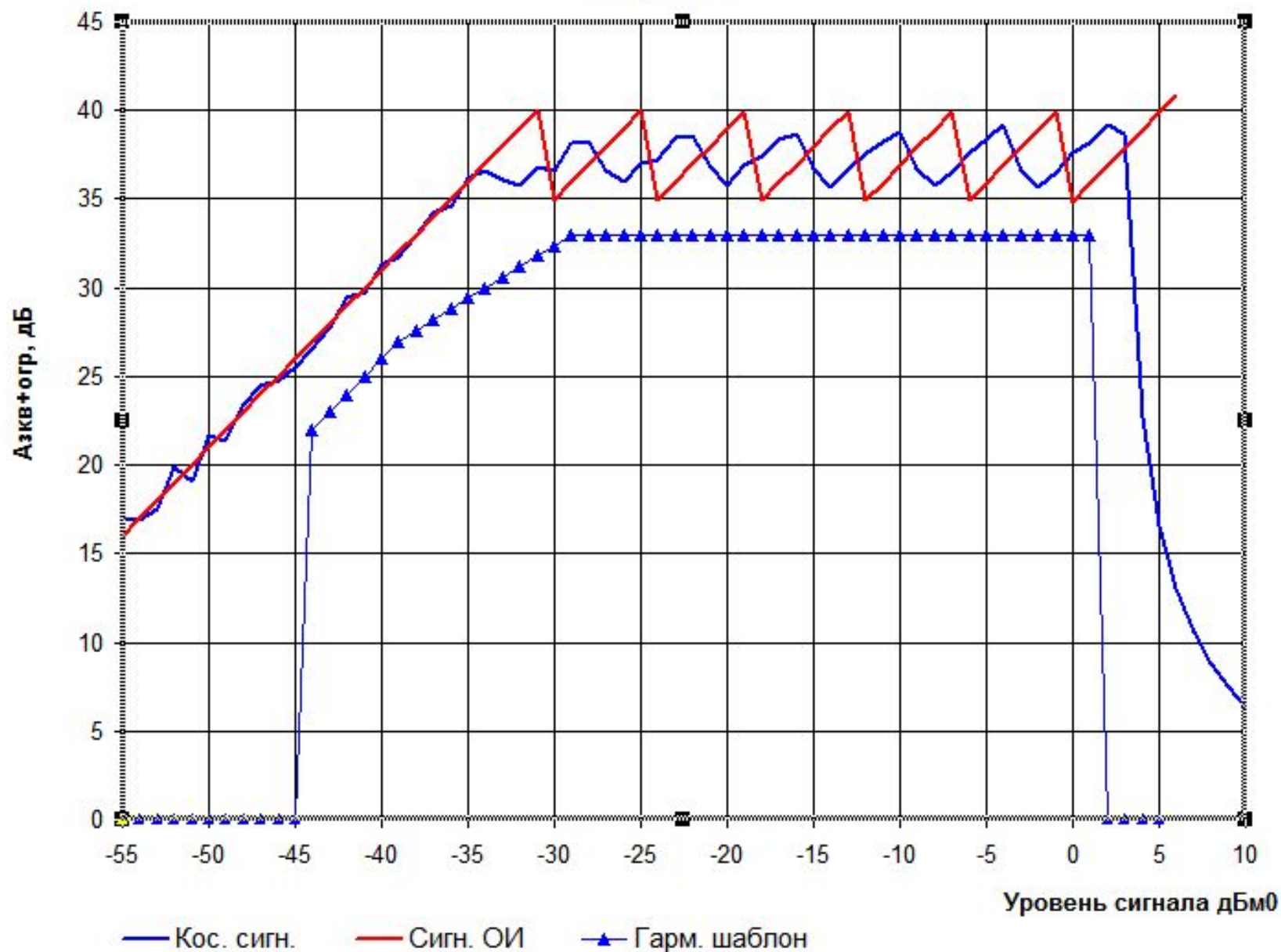
$$A_{зкв>2} = 10 \lg \frac{(u_{озп} x)^2}{(\delta_0 2^{i-1})^2 / 12} \cong 20 \lg(x \cdot 2^{1-i}) + 77$$

Параметры амплитудной характеристики квантующего устройства (положительная ветвь) А87,6/13			
Номер сегмента	Размер шага квантования	Нижняя граница сегмента	Верхняя граница сегмента
0	$\delta_0$	$0\delta_0$	$16\delta_0$
1	$\delta_0$	$16\delta_0$	$32\delta_0$
2	$2\delta_0$	$32\delta_0$	$64\delta_0$
3	$4\delta_0$	$64\delta_0$	$128\delta_0$
4	$8\delta_0$	$128\delta_0$	$256\delta_0$
5	$16\delta_0$	$256\delta_0$	$512\delta_0$
6	$\delta 32_0$	$512\delta_0$	$1024\delta_0$
7	$64\delta_0$	$1024\delta_0$	$2048\delta_0$

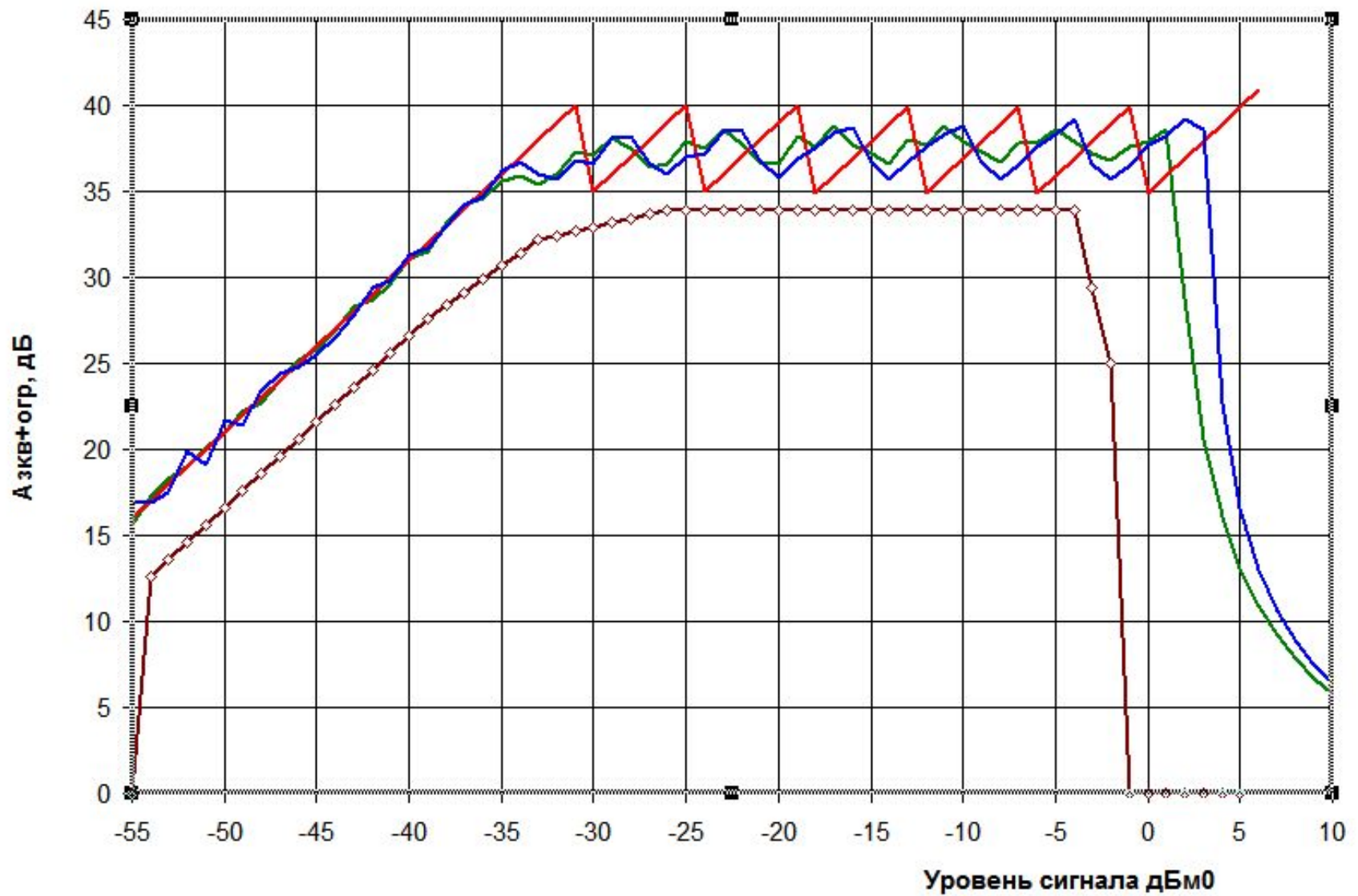
# Теоретическая зависимость $A_{зкв}(p_c)$



# A87,6/13

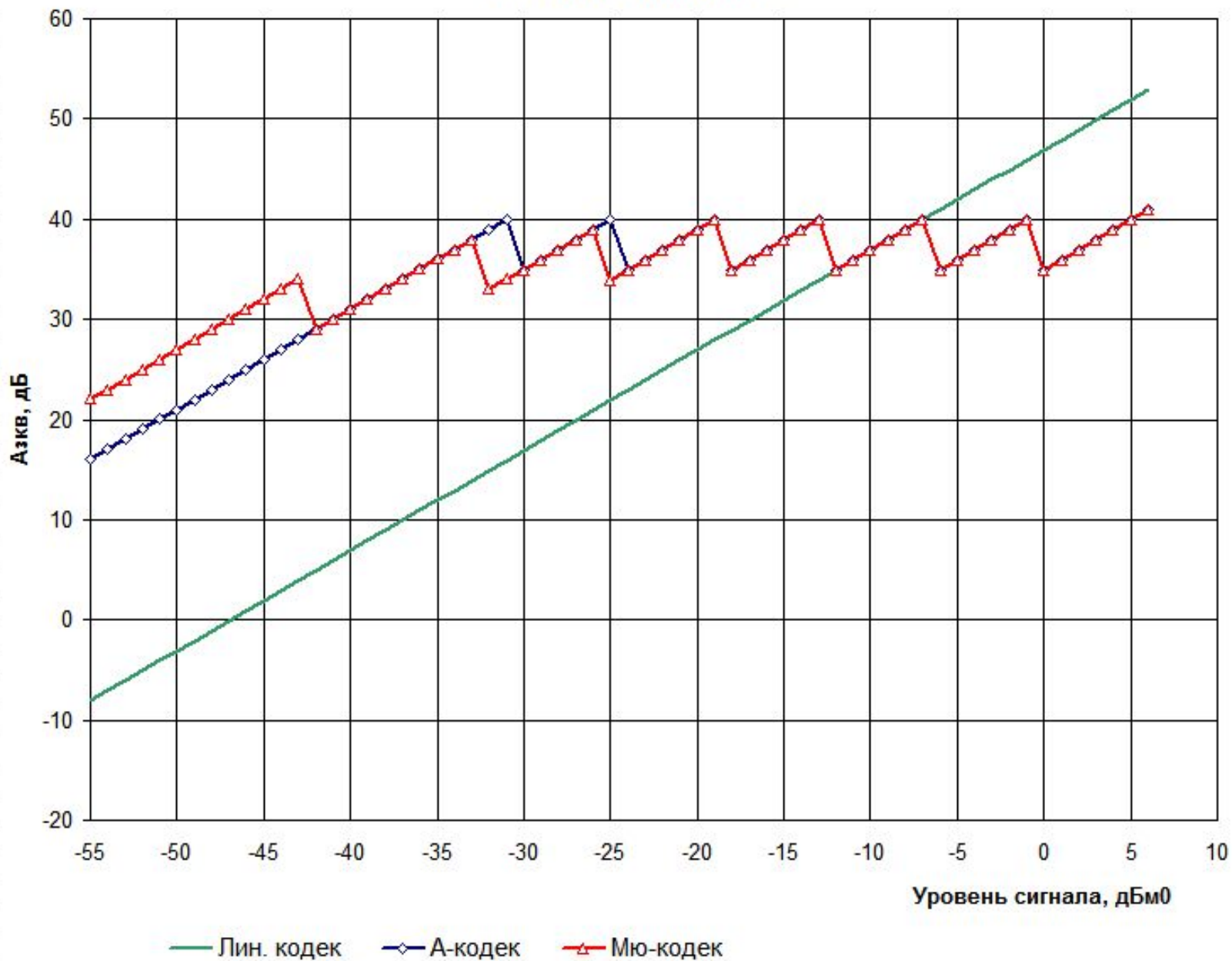


# A87,6/13

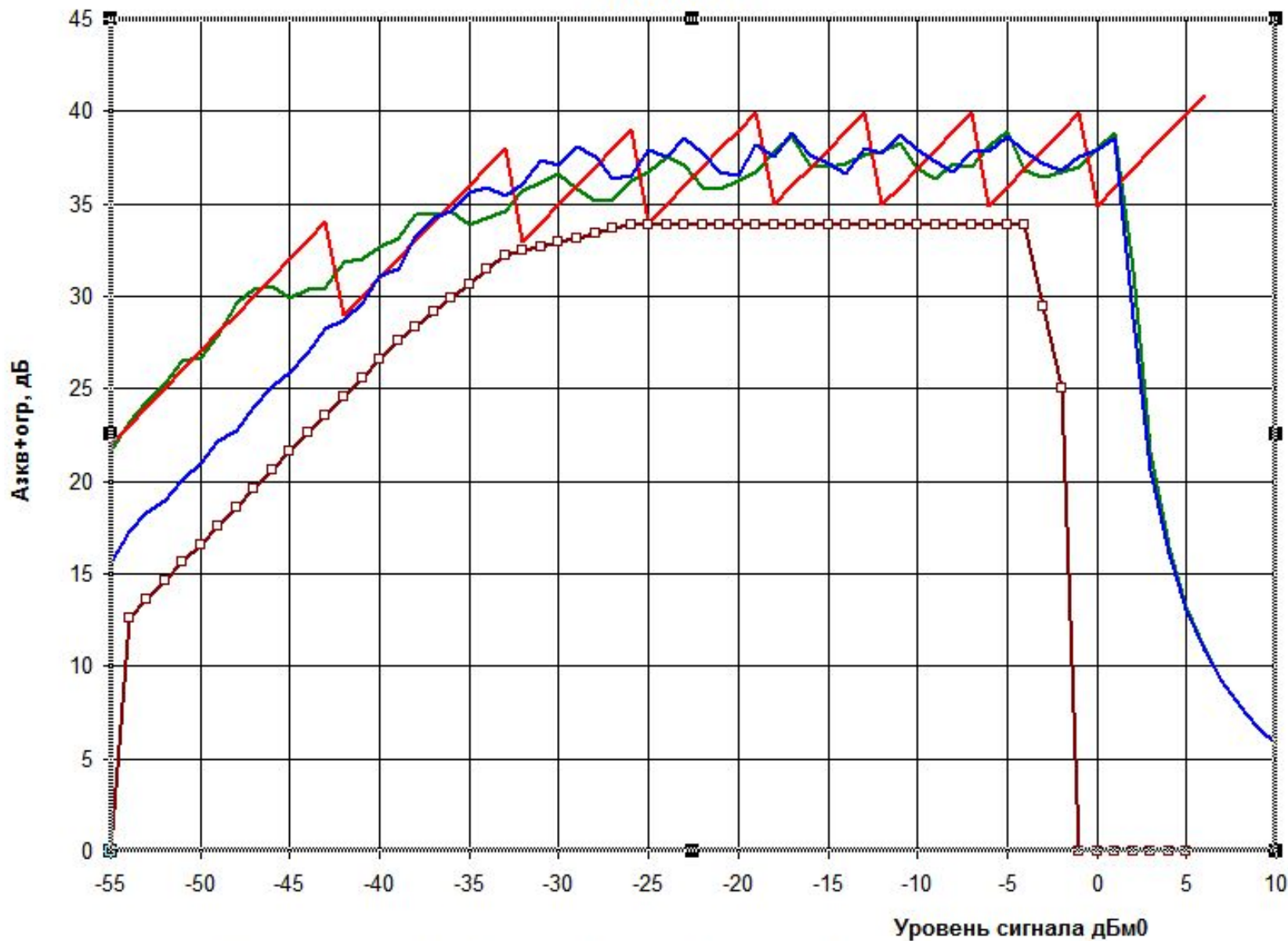


— Равн. распр.    — Сигн. ОИ    —◇— Случ. шабл.    — Гарм. сигн.

Лин., А87,6/13, Мю235/15

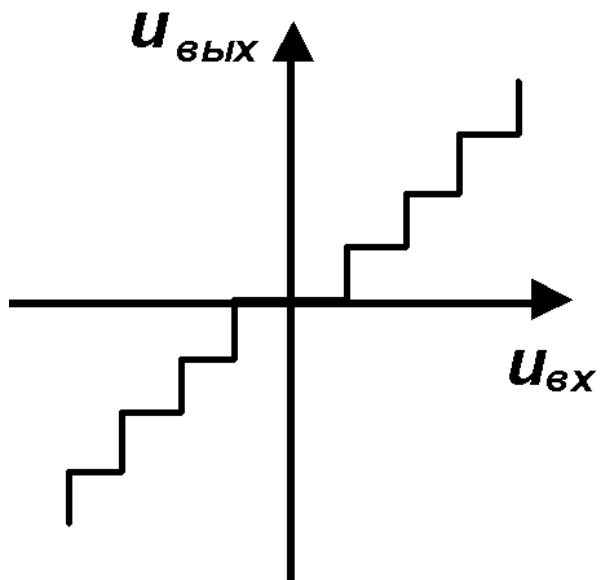


# Мю235/15

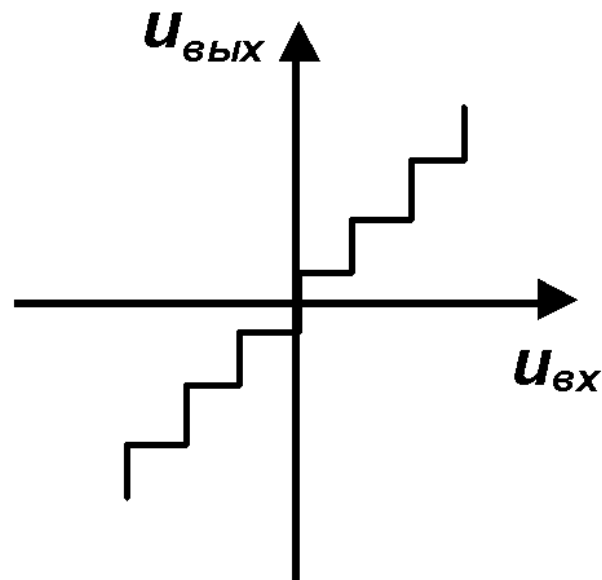


— Мю случ. — Мю ОИ —□— Случ. шабл. — А случ.

# Начальные участки амплитудных характеристик квантования



a)

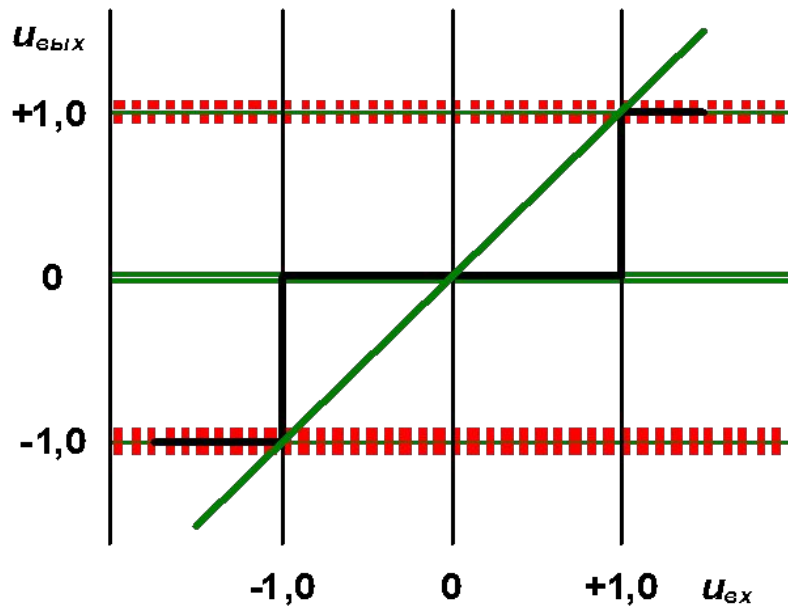


б)

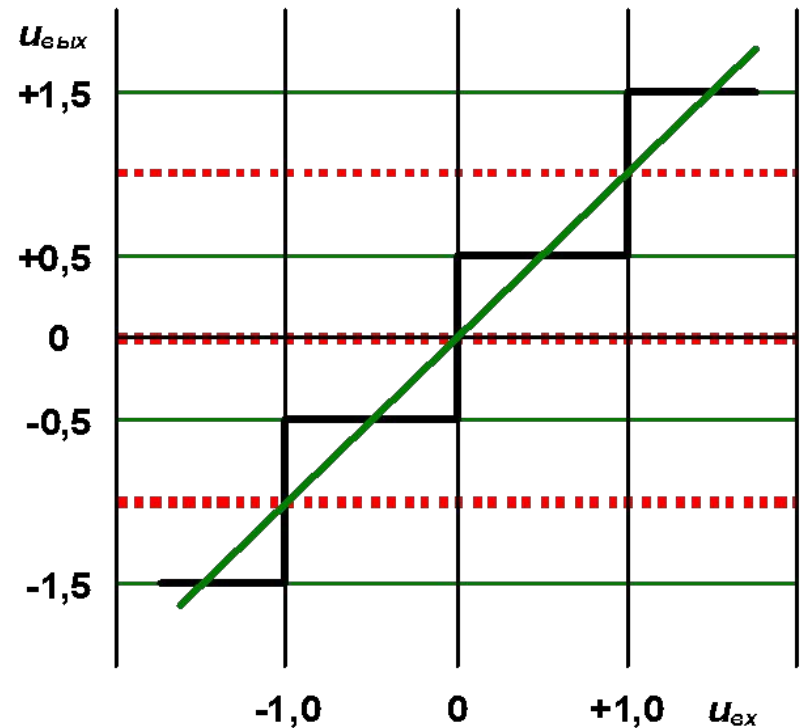


# Детализация начального участка АХ квантующего устройства

$$N_{ке} = 2^m - 2, m = 2, \delta = 1$$



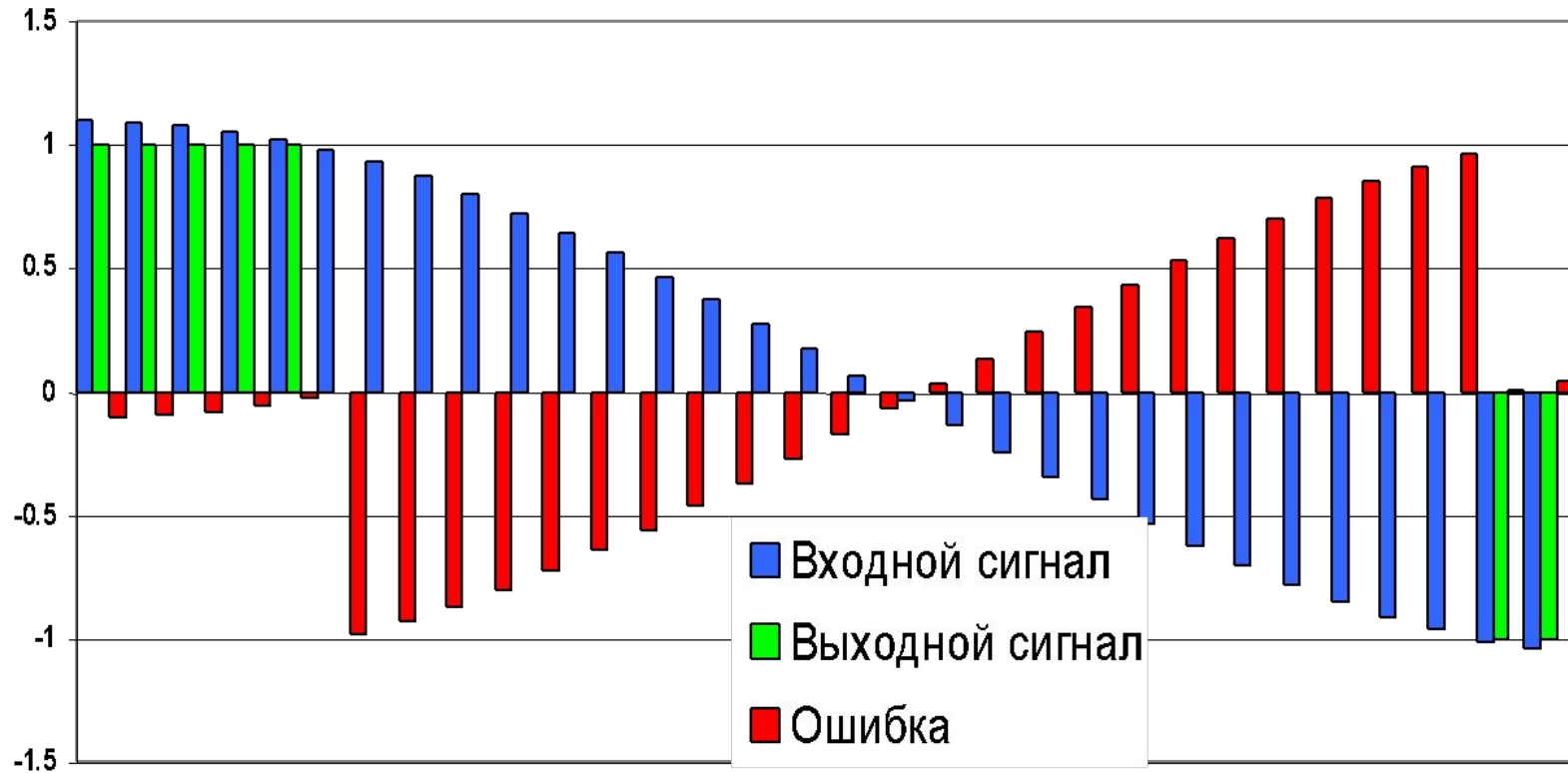
$$N_{ке} = 2^m - 1, m = 2, \delta = 1$$



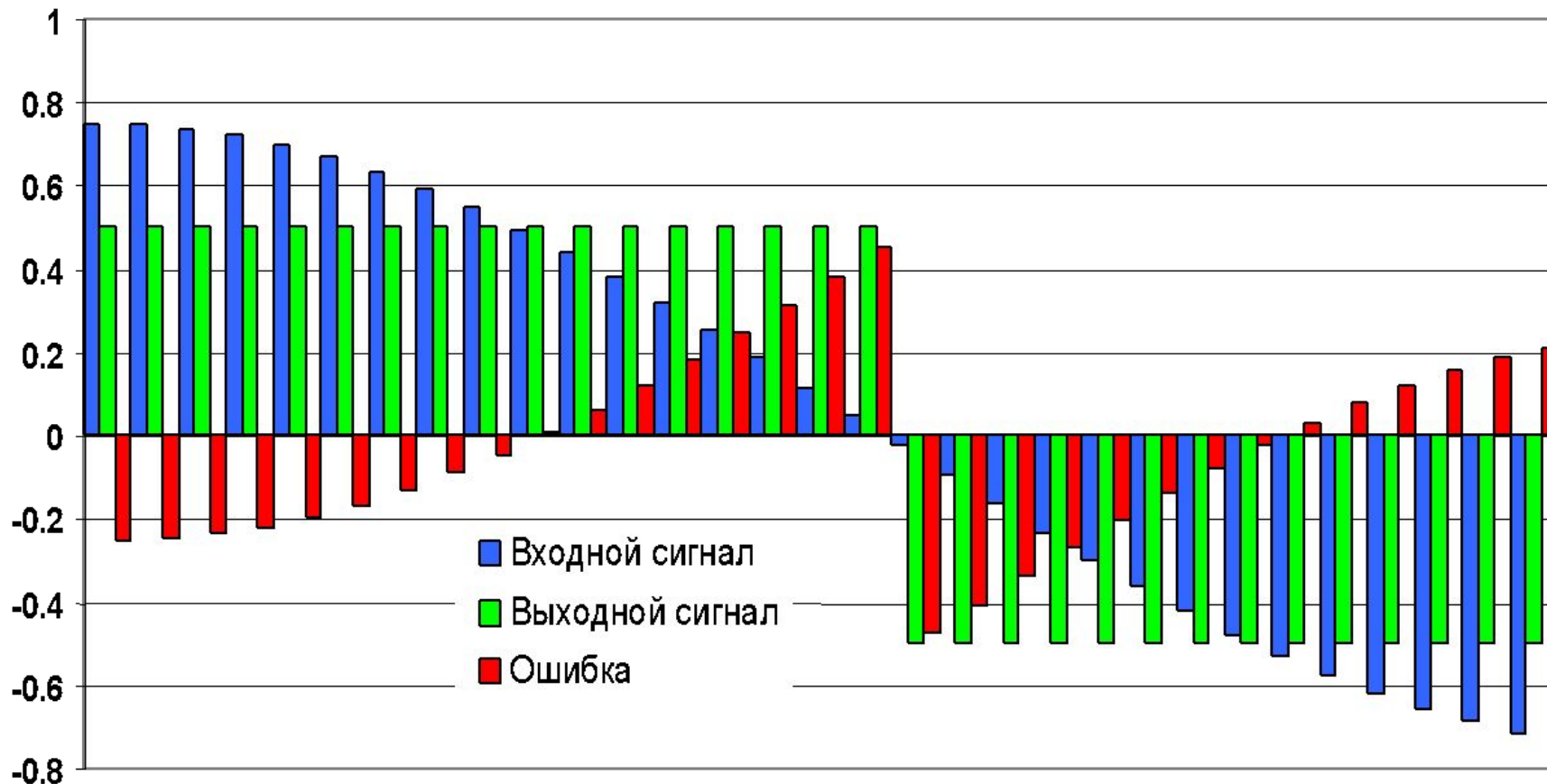
— Разрешённые уровни

- - - - - Уровни квантования

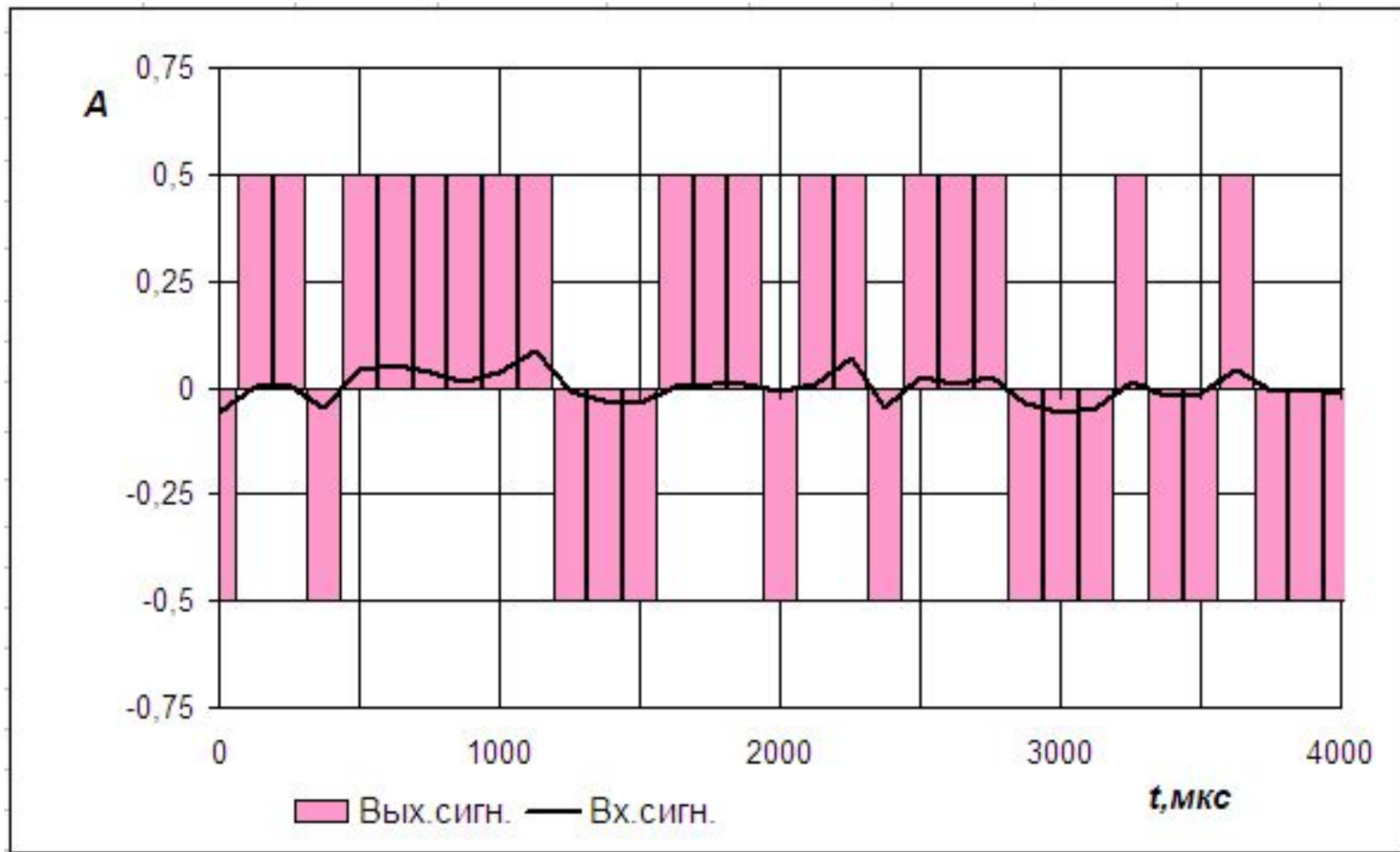
# Участок АХ системы кодер/декодер (без коррекции)



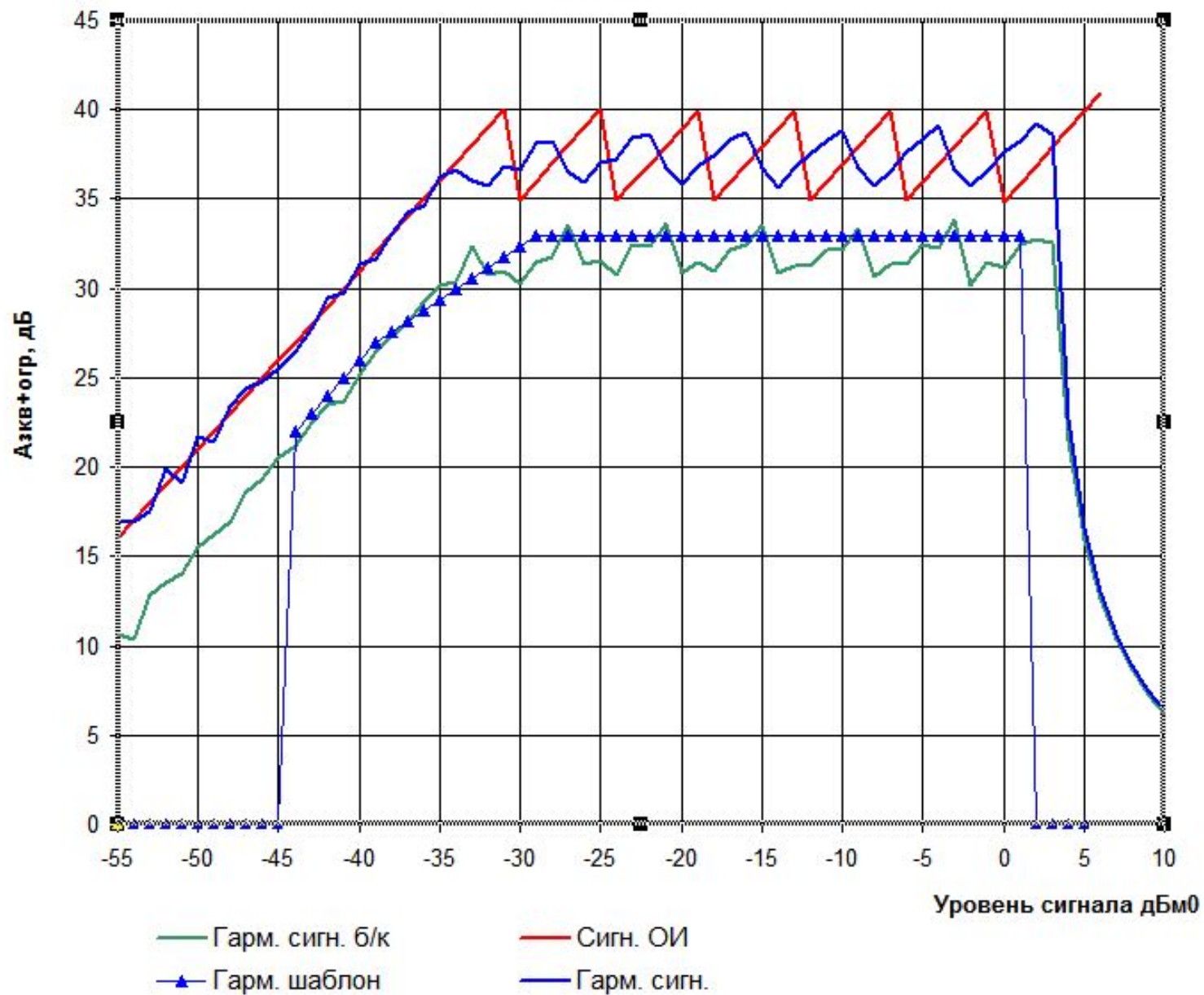
# Участок АХ системы кодер/декодер (с коррекцией)



## Сигнал незанятого канала на выходе декодера



# A87,6/13

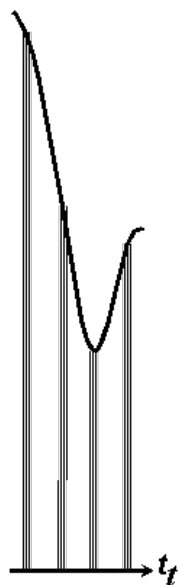


# Разновидности двоичного кода

№№ шагов квантования	№№ разрядов			
	1	2	3	4
15	1	1	1	1
14	1	1	1	0
13	1	1	0	1
12	1	1	0	0
11	1	0	1	1
10	1	0	1	0
9	1	0	0	1
8	1	0	0	0
7	0	1	1	1
6	0	1	1	0
5	0	1	0	1
4	0	1	0	0
3	0	0	1	1
2	0	0	1	0
1	0	0	0	1
0	0	0	0	0
	8	4	2	1

Натуральный

$$N_{кв} = \sum_{i=1}^m a_i 2^{m-i}$$



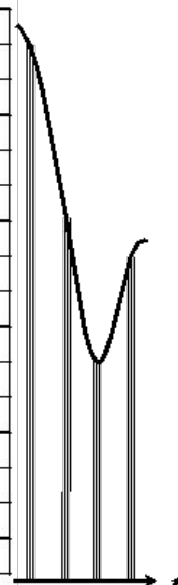
№№ шагов квантования	№№ разрядов			
	1	2	3	4
7	1	1	1	1
6	1	1	1	0
5	1	1	0	1
4	1	1	0	0
3	1	0	1	1
2	1	0	1	0
1	1	0	0	1
0	1	0	0	0
-0	0	0	0	0
-1	0	0	0	1
-2	0	0	1	0
-3	0	0	1	1
-4	0	1	0	0
-5	0	1	0	1
-6	0	1	1	0
-7	0	1	1	1
	8	4	2	1

Натуральн.симметричный

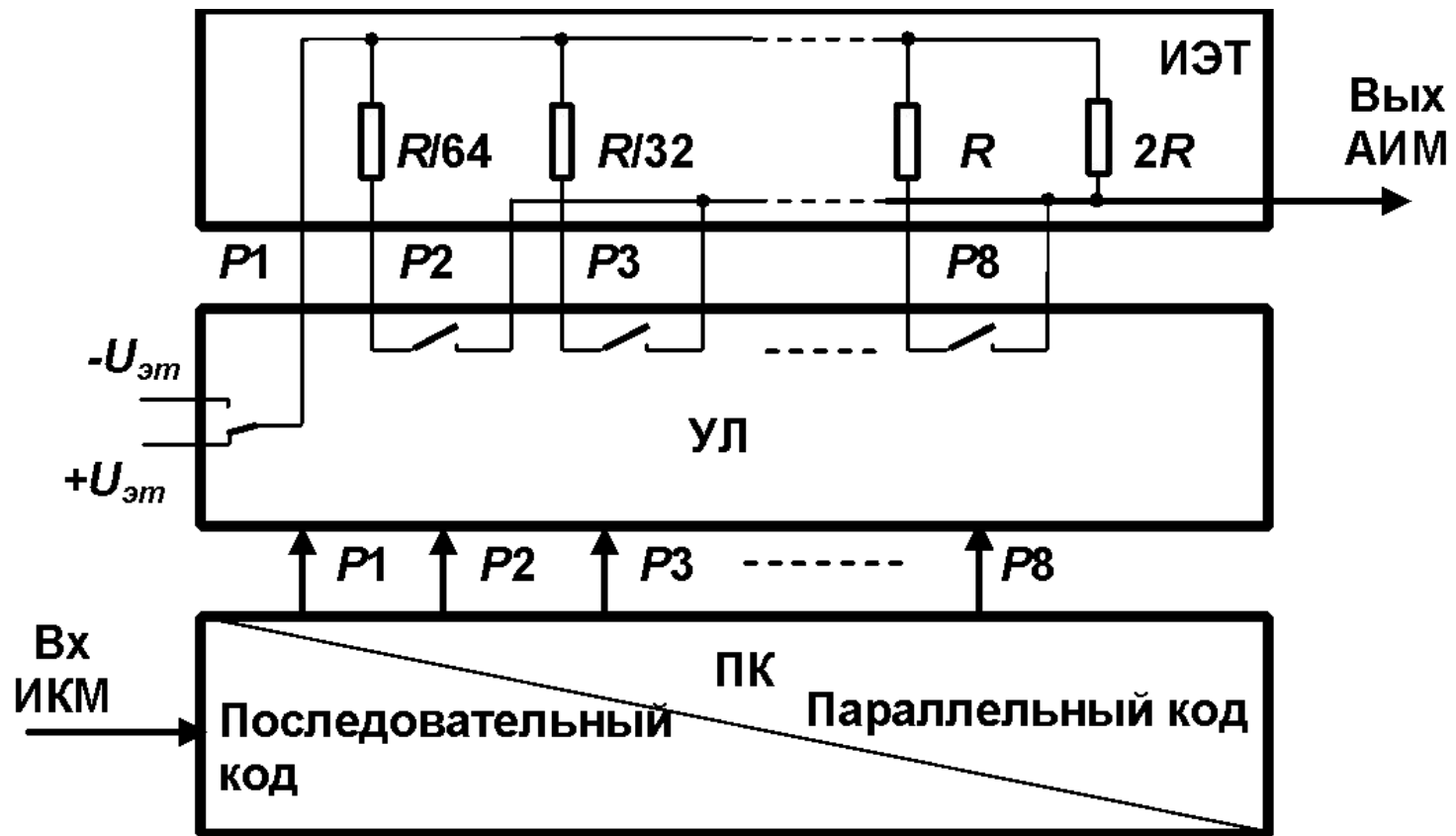


№№ шагов квантования	№№ разрядов			
	1	2	3	4
15	1	0	0	0
14	1	0	0	1
13	1	0	1	1
12	1	0	1	0
11	1	1	1	0
10	1	1	1	1
9	1	1	0	1
8	1	1	0	0
7	0	1	0	0
6	0	1	0	1
5	0	1	1	1
4	0	1	1	0
3	0	0	1	0
2	0	0	1	1
1	0	0	0	1
0	0	0	0	0
	8	4	2	1

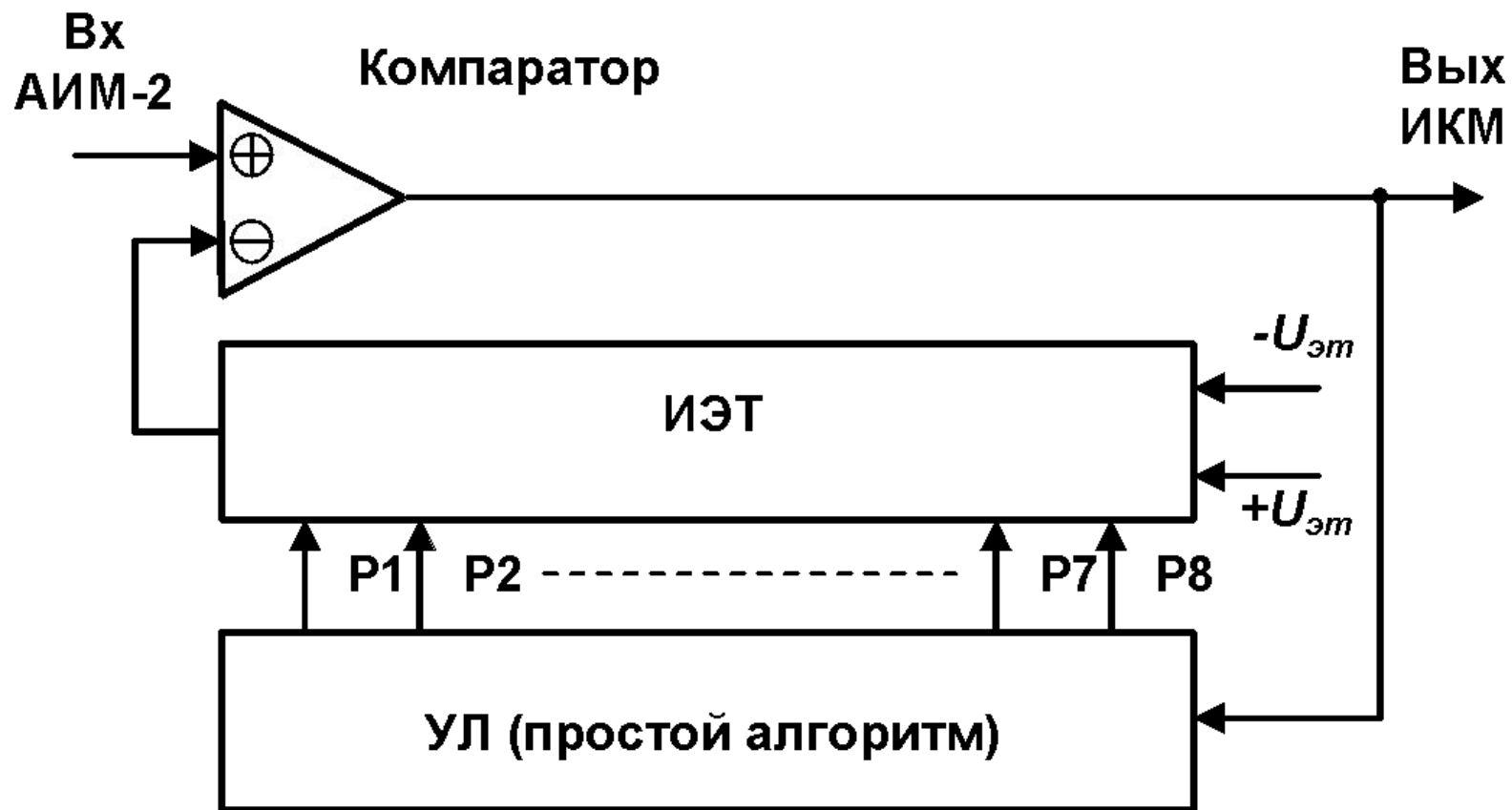
Рефлексный



# Декодер кодека с линейным квантованием



# Кодер кодека с линейным квантованием





# Структура кодового слова в кодеке с нелинейным управлением

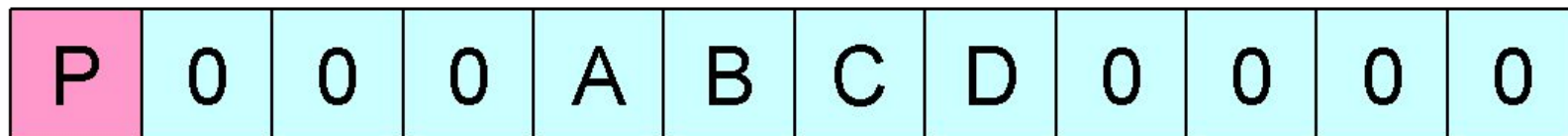


*Исходное слово*

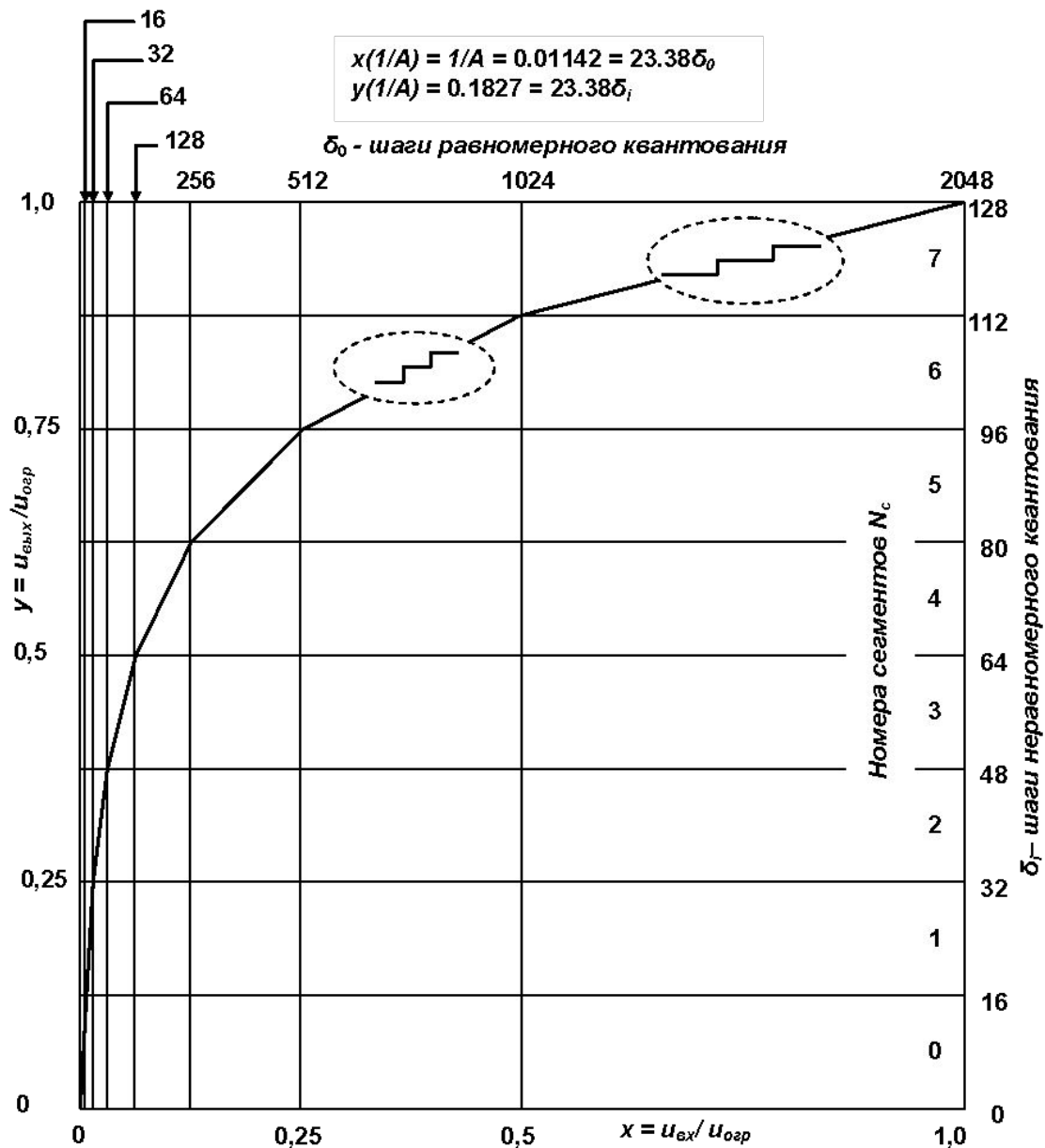
*Переданное слово*



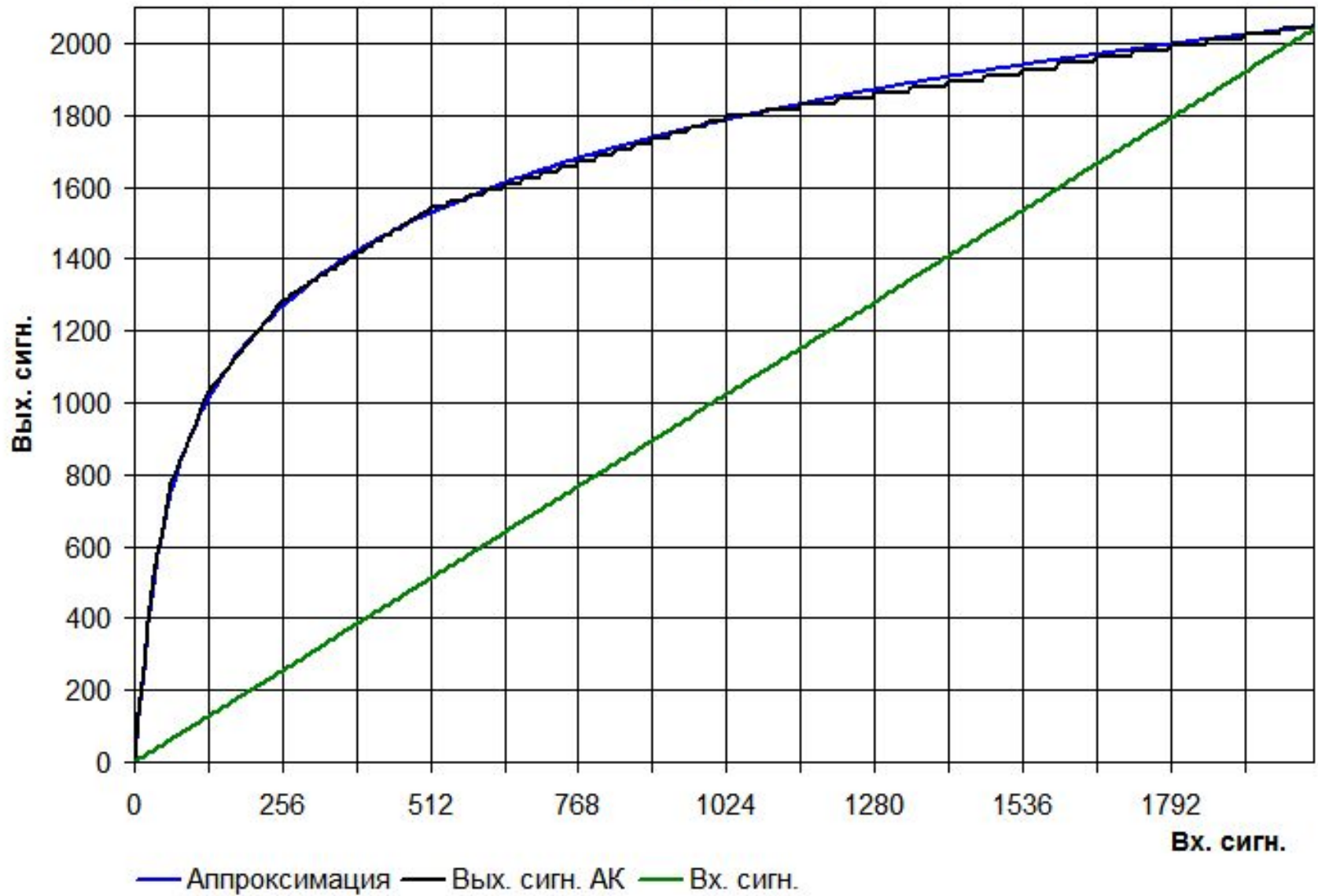
*Восстановленное слово*



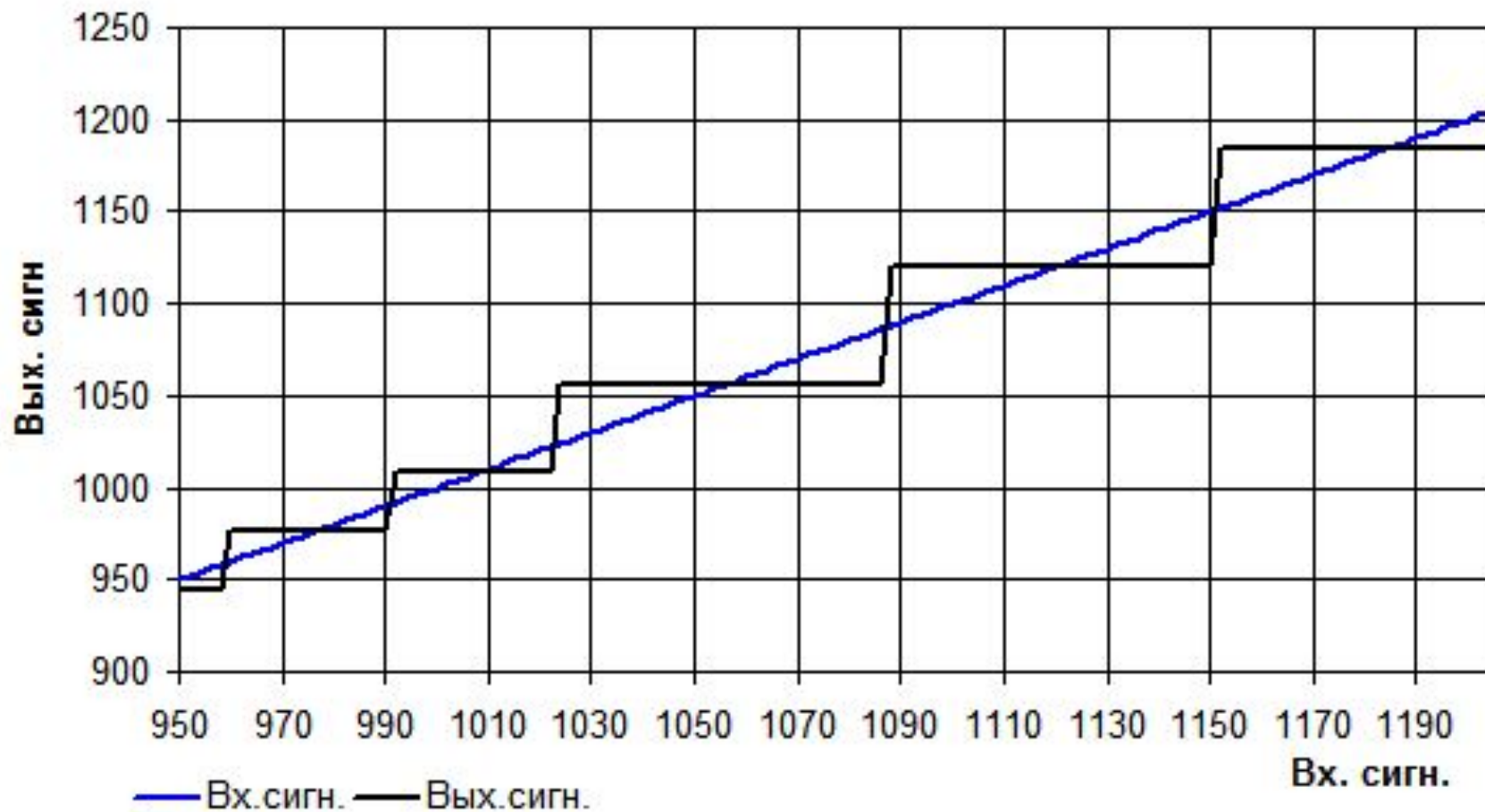
# A-характеристика неравномерного квантующего устройства



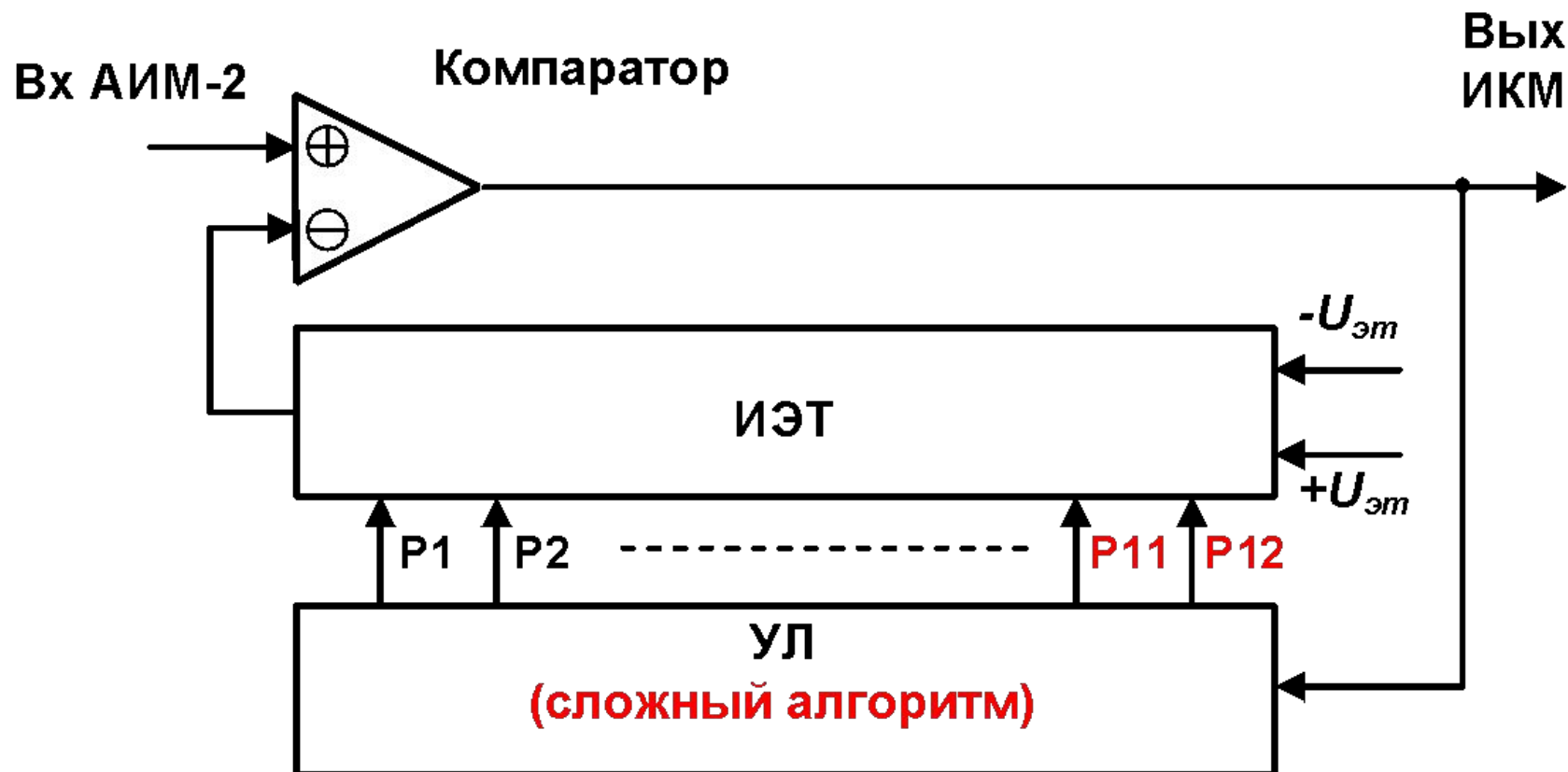
### АХ А-кодера



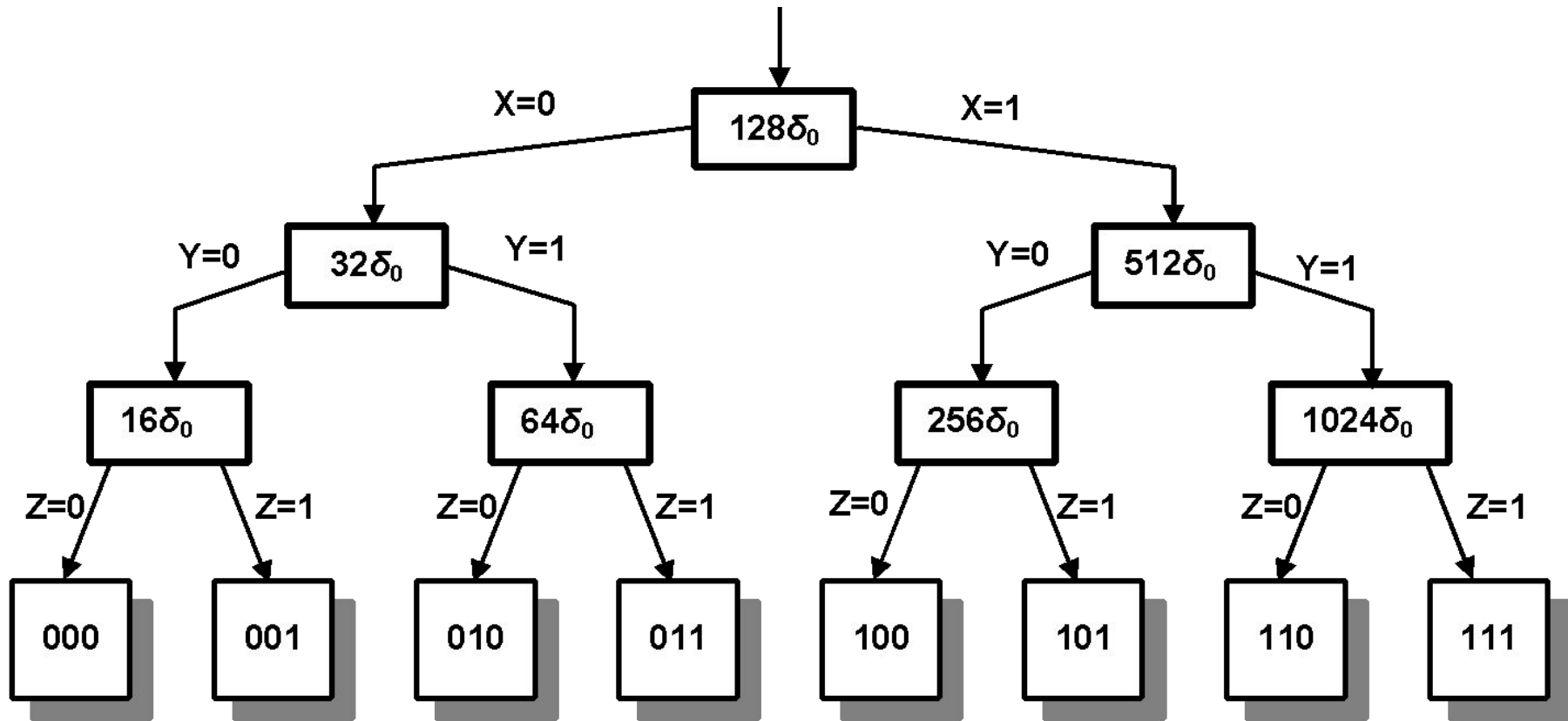
### Амплитудная характеристика



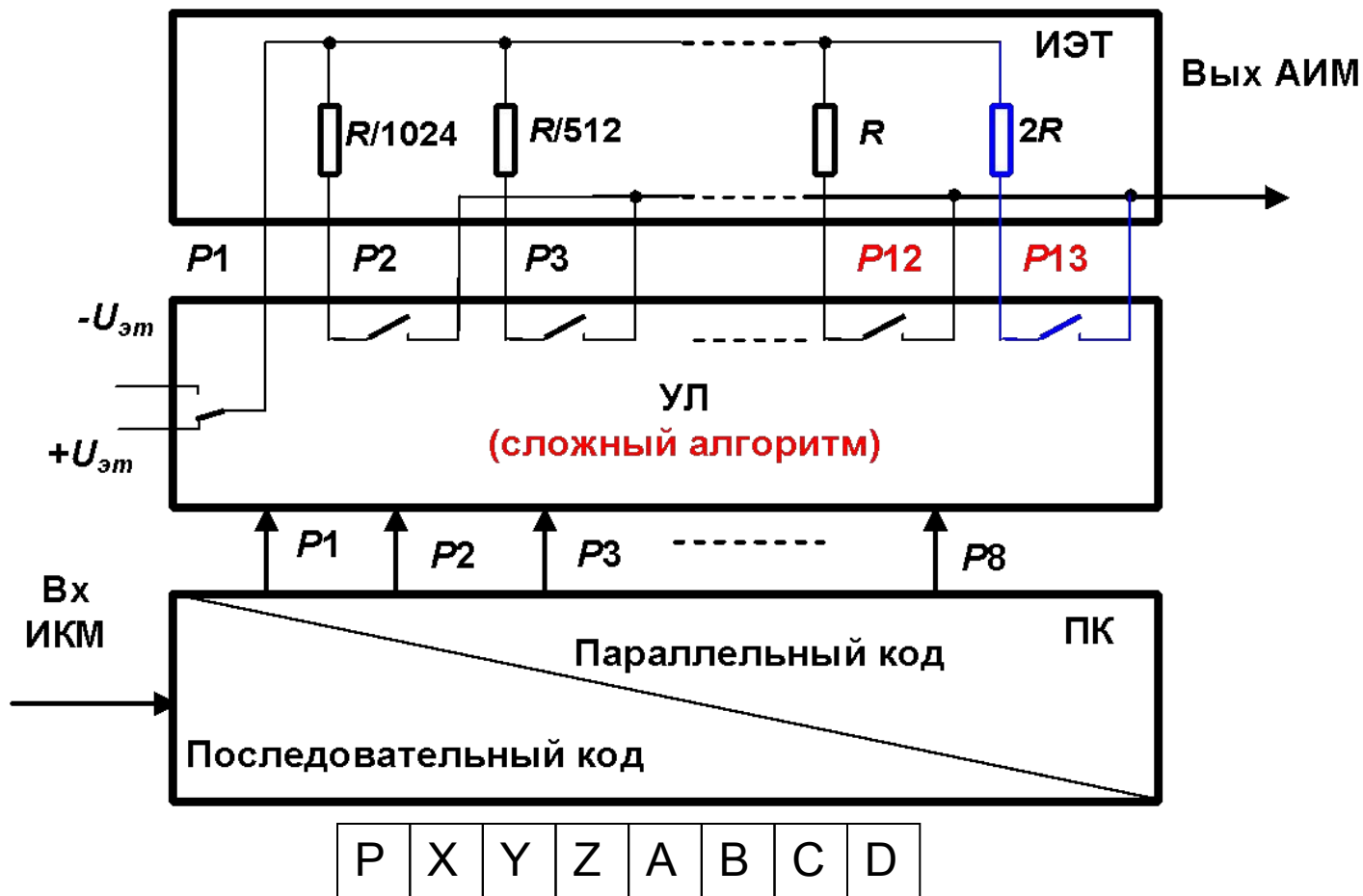
# Кодер кодека с нелинейным квантованием



# Алгоритм формирования кода сегмента



# Декодер кодека с нелинейным квантованием



## Параметры А-характеристики

$$A_{зкв1,2} = 10 \lg \frac{(u_{озп} x)^2}{\delta_0^2 / 12} \cong 20 \lg x + 77$$

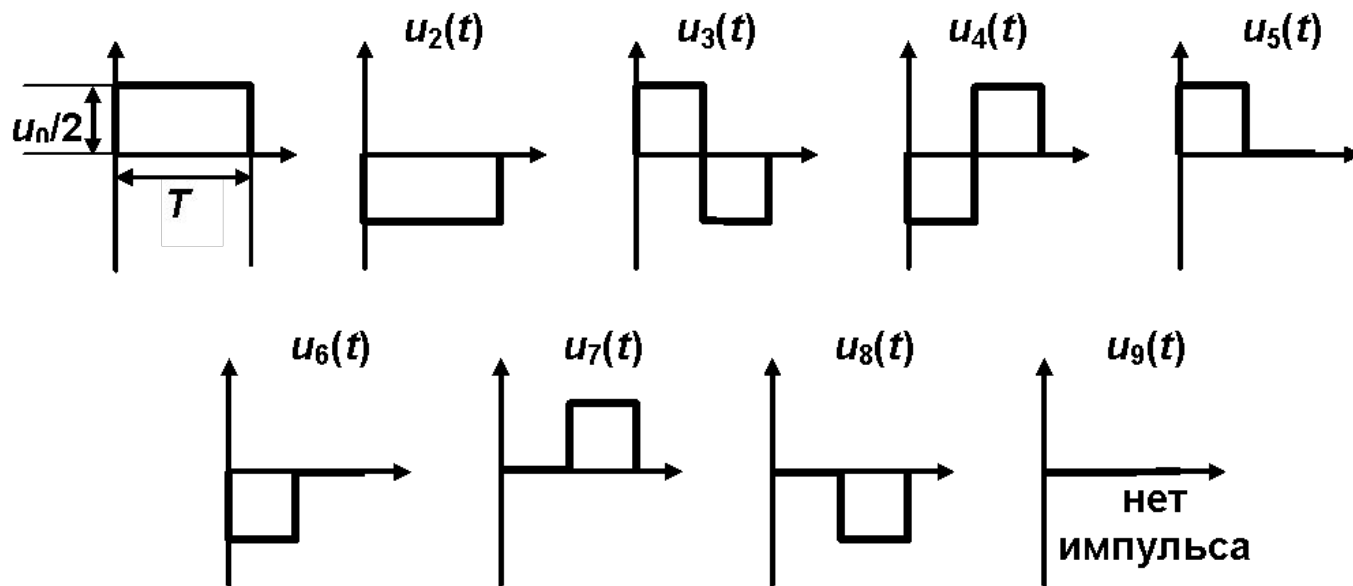
$$A_{зкв>2} = 10 \lg \frac{(u_{озп} x)^2}{(\delta_0 2^{i-1})^2 / 12} \cong 20 \lg(x \cdot 2^{1-i}) + 77$$

Параметры амплитудной характеристики квантующего устройства (положительная ветвь) А87,6/13			
Номер сегмента	Размер шага квантования	Нижняя граница сегмента	Верхняя граница сегмента
0	$\delta_0$	$0\delta_0$	$16\delta_0$
1	$\delta_0$	$16\delta_0$	$32\delta_0$
2	$2\delta_0$	$32\delta_0$	$64\delta_0$
3	$4\delta_0$	$64\delta_0$	$128\delta_0$
4	$8\delta_0$	$128\delta_0$	$256\delta_0$
5	$16\delta_0$	$256\delta_0$	$512\delta_0$
6	$32\delta_0$	$512\delta_0$	$1024\delta_0$
7	$64\delta_0$	$1024\delta_0$	$2048\delta_0$



# Элементы видеоимпульсных сигналов

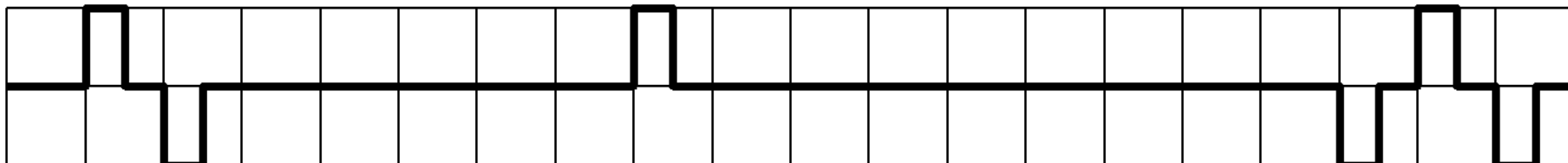
Формирование требуемого энергетического спектра может быть осуществлено соответствующим изменением структуры импульсной последовательности и выбором импульсов нужной формы.



$$C_9^2 = \frac{9!}{2! \cdot (9-2)!} = 36$$

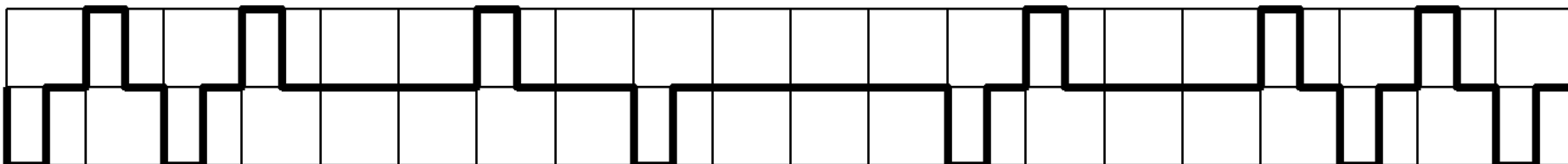
# Коды с чередованием полярности импульсов

0 1 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1



Код ЧПИ (АМІ)  
 $S_5(t)/S_6(t) - S_9(t)$

0 1 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1



V B V V B V

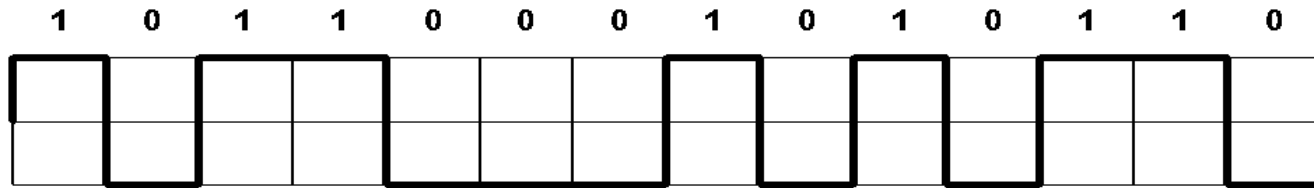
Код МЧПИ (HDB-3)

## Вставки кодов МЧПИ

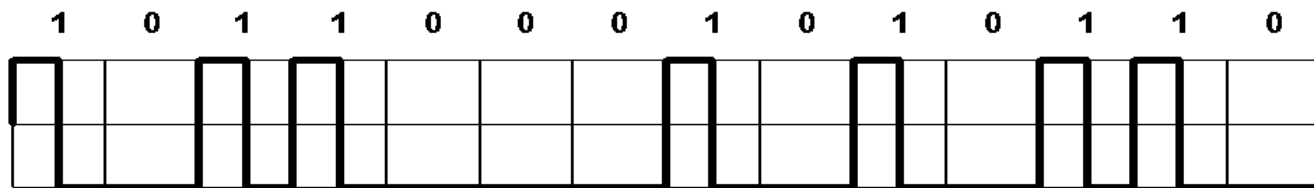
<b>Знак преды- дущего V- импульса</b>	<b>HDB-3 (КВП-3)</b>		<b>B3ZS</b>	
	<b>Число V-импульсов после V-импульса</b>			
	<b>нечет- ное</b>	<b>четное</b>	<b>нечет- ное</b>	<b>четное</b>
<b>-</b>	0 0 0+1	+1 0 0+1	0 0+1	+1 0+1
<b>+</b>	0 0 0-1	-1 0 0-1	0 0-1	-1 0-1

Вставка кода B6ZS - 0VB0VB, кода B8ZS - 000VB0VB.

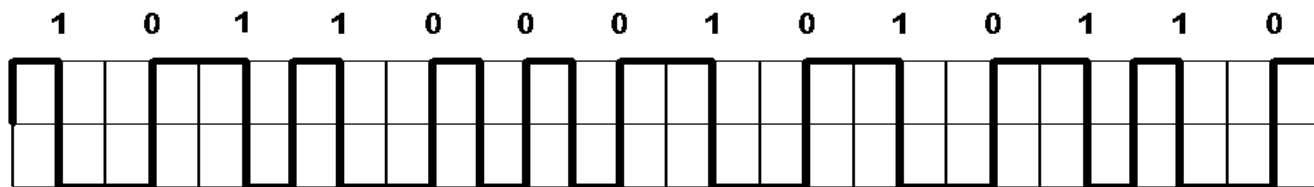
# Двухуровневые коды



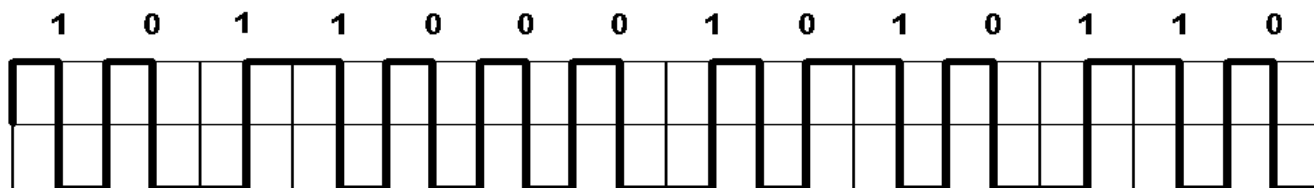
Код БВН (NRZ)  
 $u_1(t) - u_2(t)$



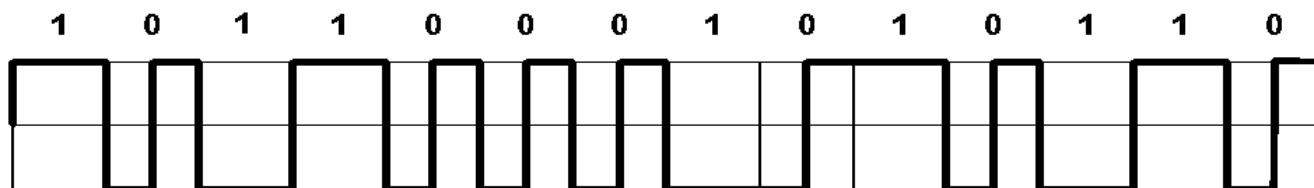
Код ВН (RZ)  
 $u_3(t) - u_2(t)$



Код АБК (BIL)  
 $u_3(t) - u_4(t)$



Код ОБК (DBI)  
 $u_3(t) - u_4(t)$



Код ИТП (CMI)  
 $u_1(t) / u_2(t) - u_4(t)$

## Основные параметры некоторых кодов

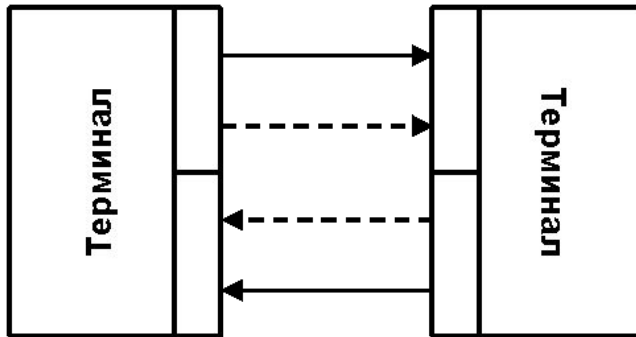
Код	Элементы сигналов используемые для передачи		$B/\Delta f$ , (бит/с)/Гц	$P_{\Sigma}$	$p_t$	$K_t$
	«1»	«0»				
БВН (NRZ)	$u_1(t)$	$u_2(t)$	2	$u_0^2$	0,5	0
АБК	$u_3(t)$	$u_4(t)$	1,33	$u_0^2$	1	1
Дв П (2)	$u_5(t)$	$u_9(t)$	1	$u_0^2/8$	0,5	0
Дв П (1)	$u_1(t)$	$u_9(t)$	2	$u_0^2/4$	0,25	0
ЧПИ (AMI)	$u_5(t) u_6(t)$	$u_9(t)$	2	$u_0^2/8$	0,5	0
СМІ	$u_1(t) u_2(t)$	$u_4(t)$	1,7	$u_0^2$	0,62	0,5

## Запрещенные комбинации в коде 8B10B

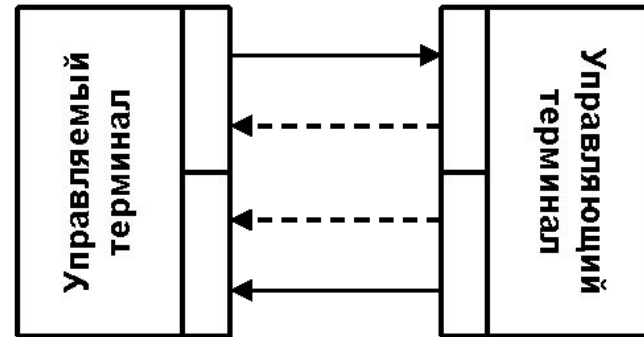
Значение байта			Комбинация 10B	
двоичное	десятичное	шестнадцатиричное	RD-	RD+
00011100	28	1C	001111 0100	110000 1011
00111100	60	3C	001111 1001	110000 1010
01011100	92	5C	001111 0101	110000 1100
01111100	124	7C	001111 0011	110000 1101
10011100	156	9C	001111 0010	110000 0101
10111100	188	BC	001111 1010	110000 1001
11011100	220	DC	001111 0110	110000 0111
11111100	252	FC	001111 1000	110000 0111
11110111	247	F7	111010 1000	000101 0111
11111011	251	FB	110110 1000	001001 0111
11111101	253	FD	101110 1000	010001 0111
11111110	254	FE	011110 1000	100001 0111

# Интерфейсы ОЦК

Сонаправленный



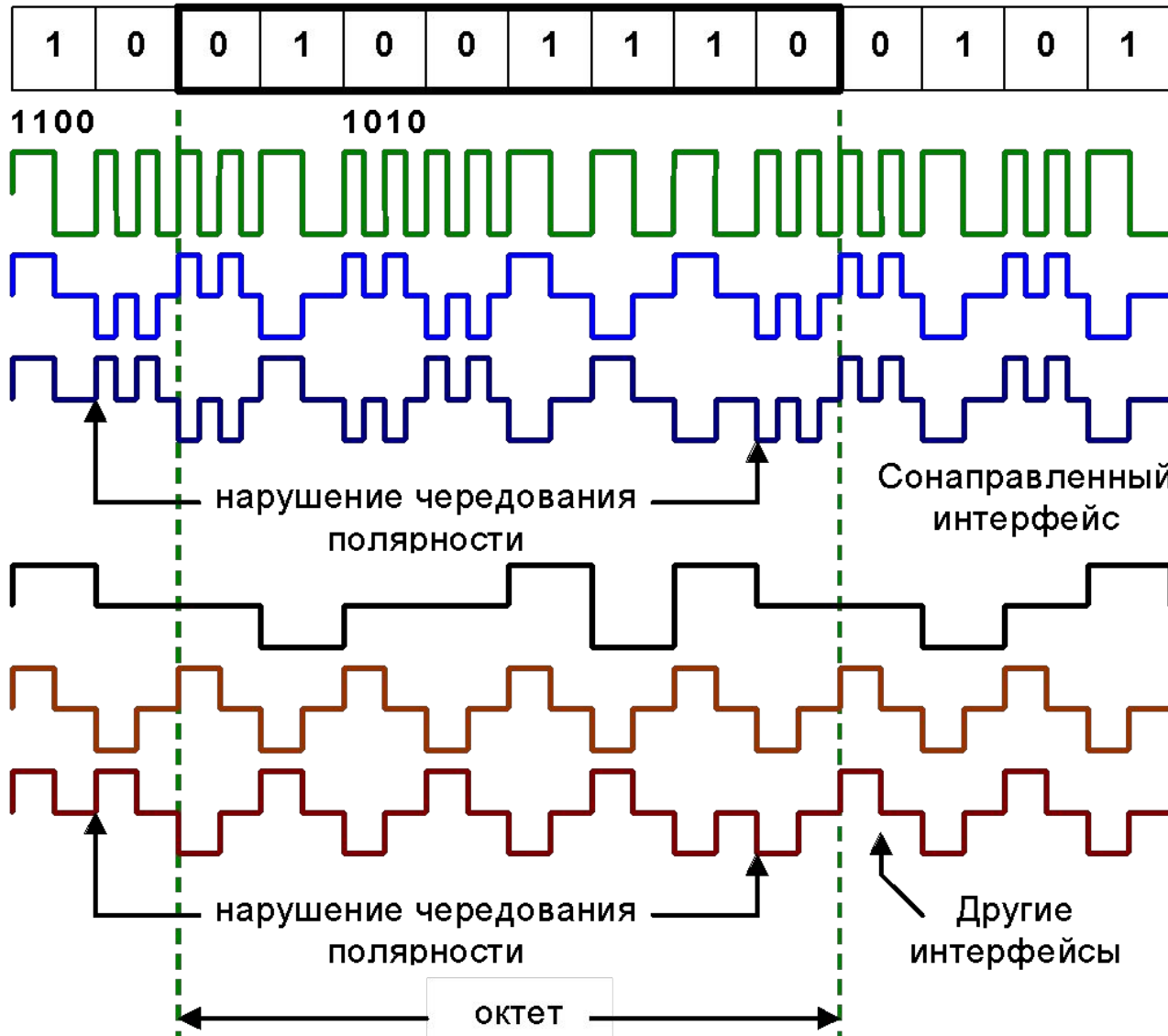
Противонаправленный



С центральным генератором

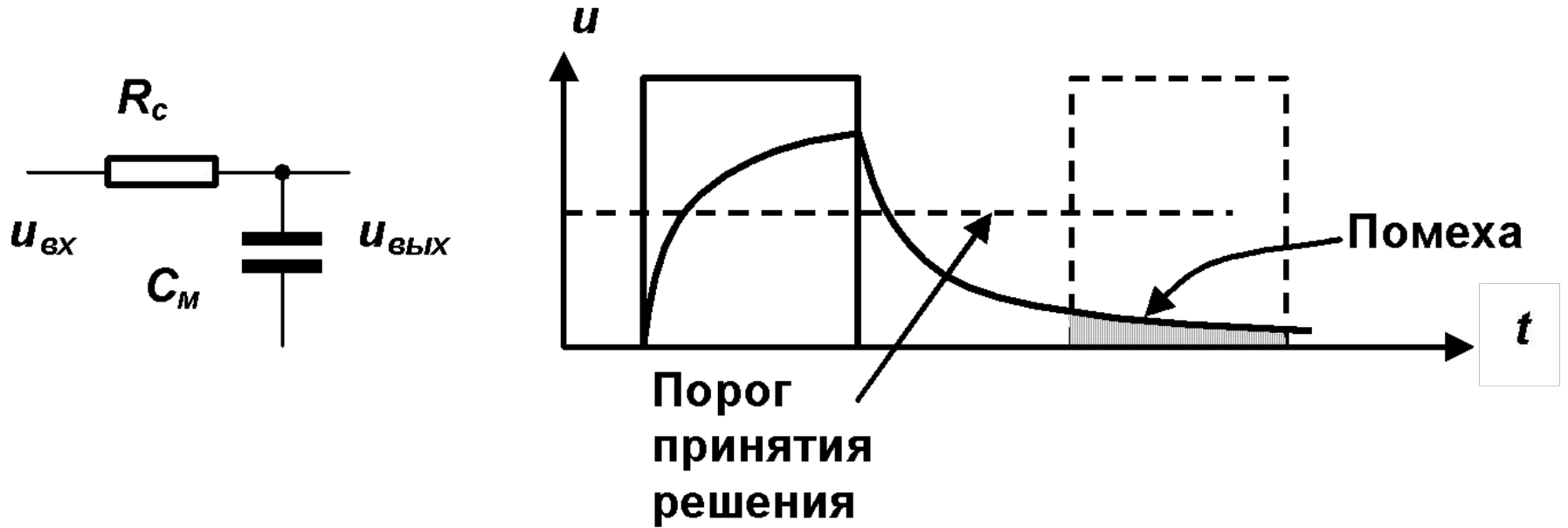


# Стыковые коды ОЦК



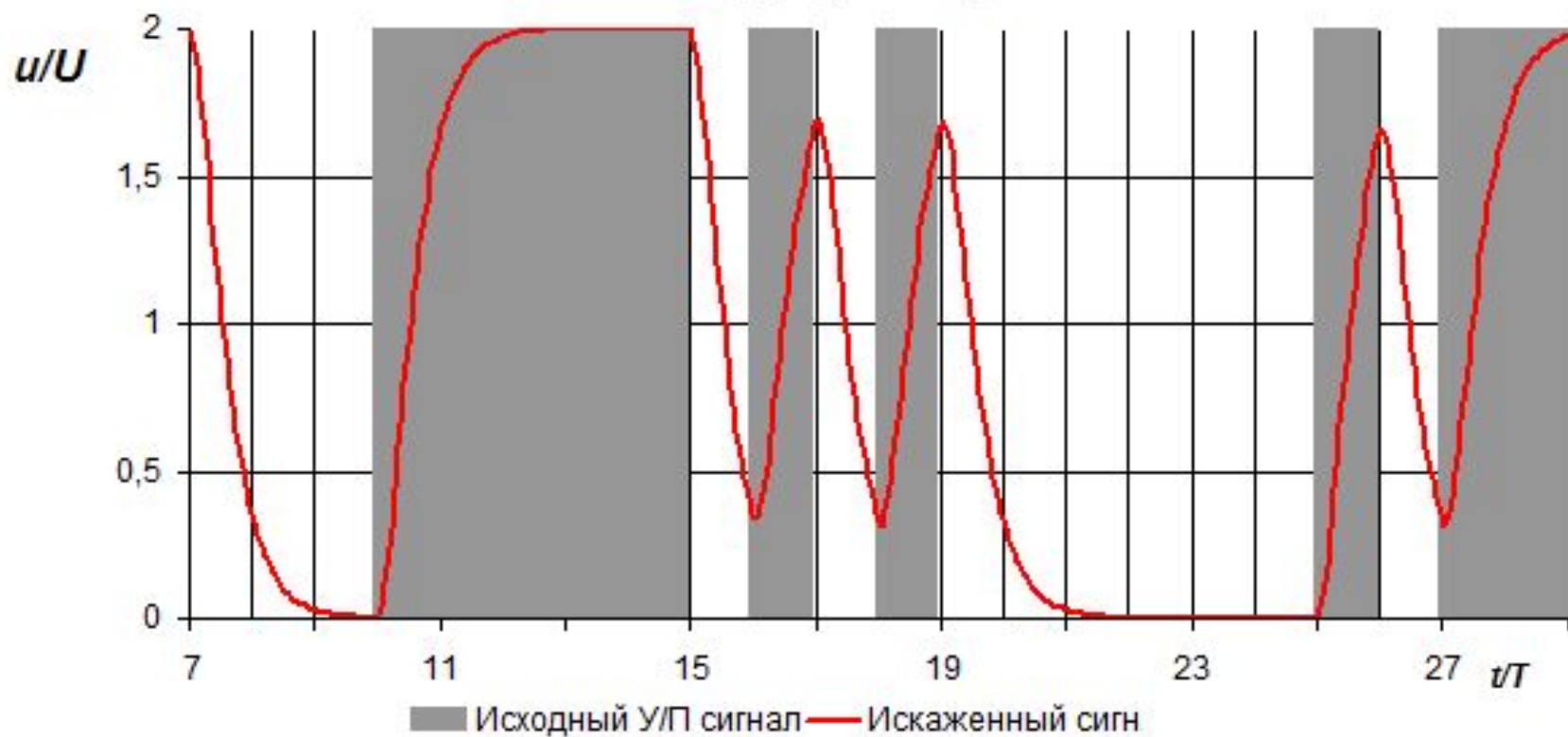


# МСИ I рода

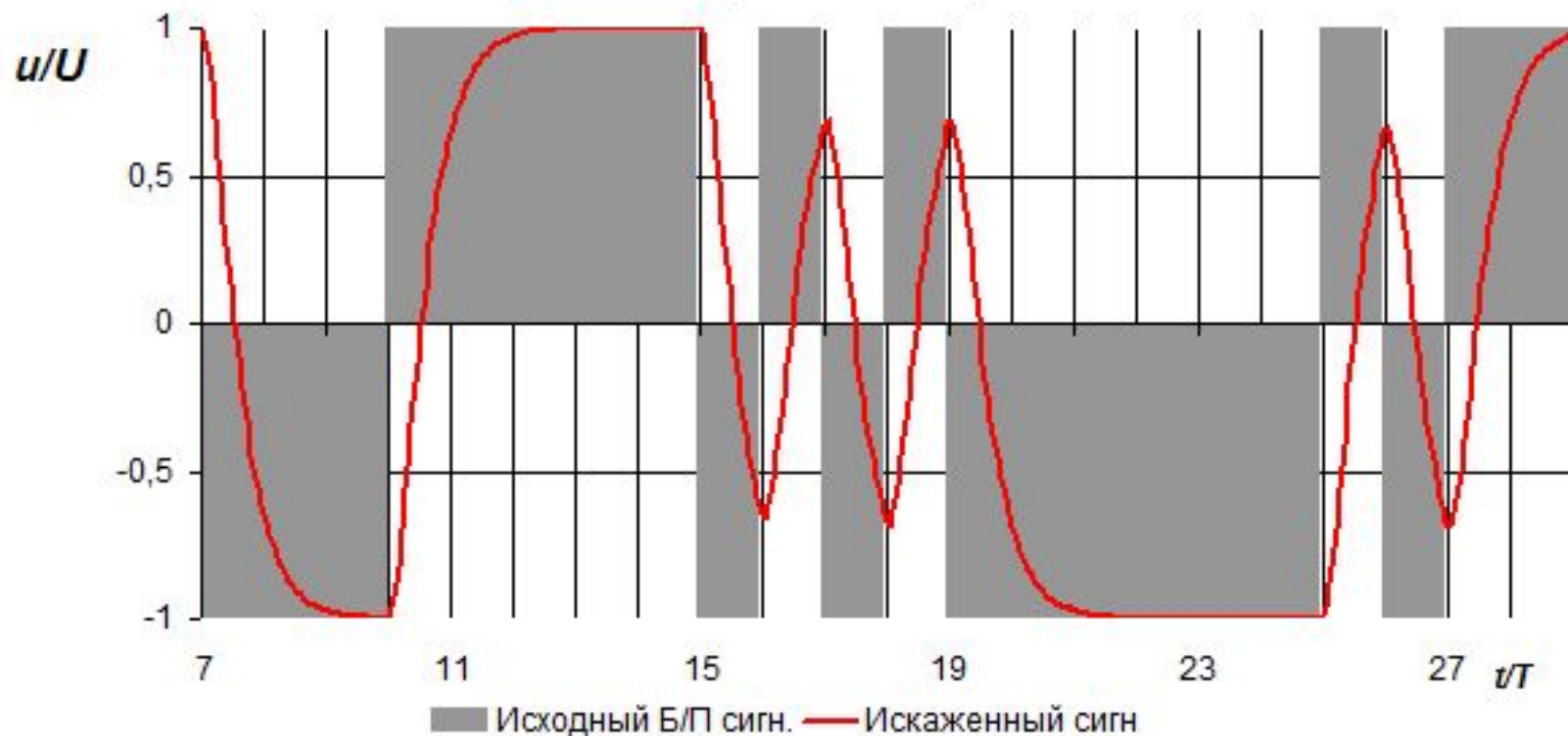


$$u_{вых} = u_{вх}(1 - e^{-t/\tau_v}) \quad \tau_v = 1/2\pi f_{вс} = R_c C_M$$

Искажения 1-го рода, униполярный сигнал



Искажения 1-го рода, биполярный сигнал



Большие искажения 2-го рода, униполярный сигнал

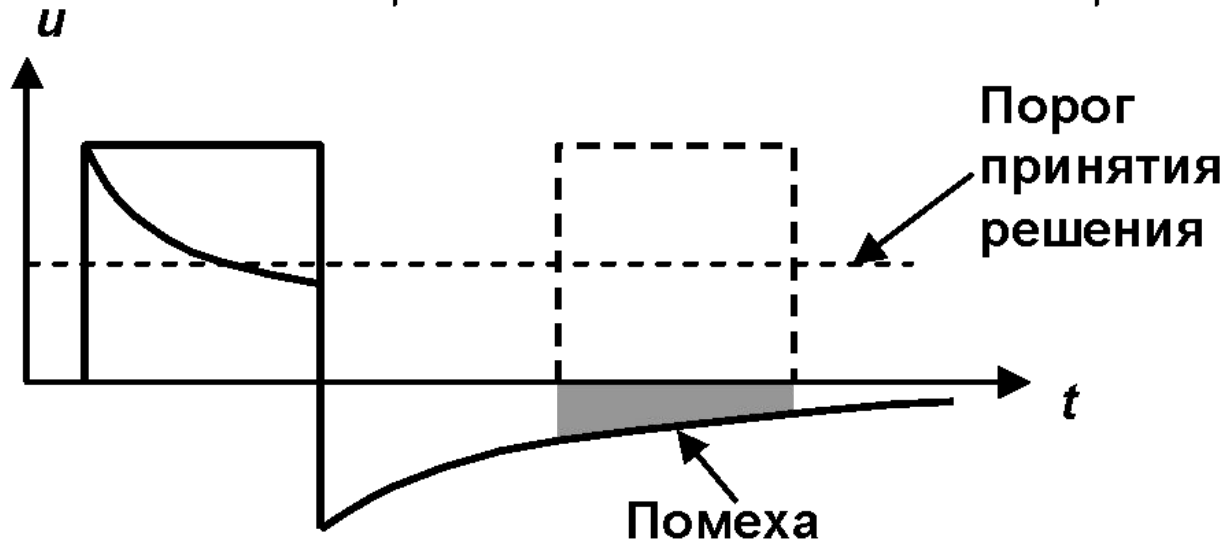
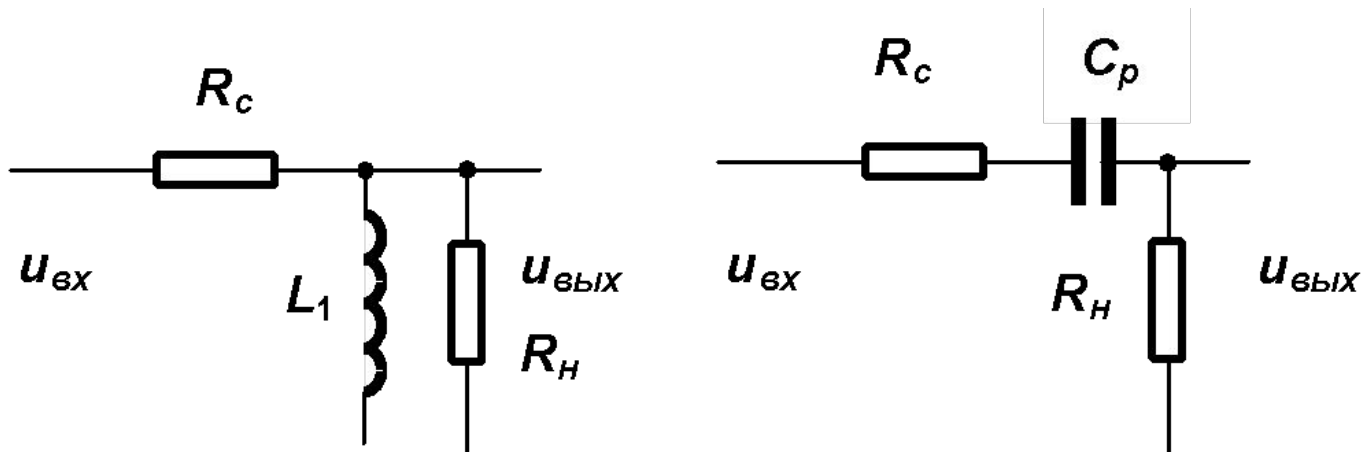


# МСИ 1 (AMI)

Сигналы



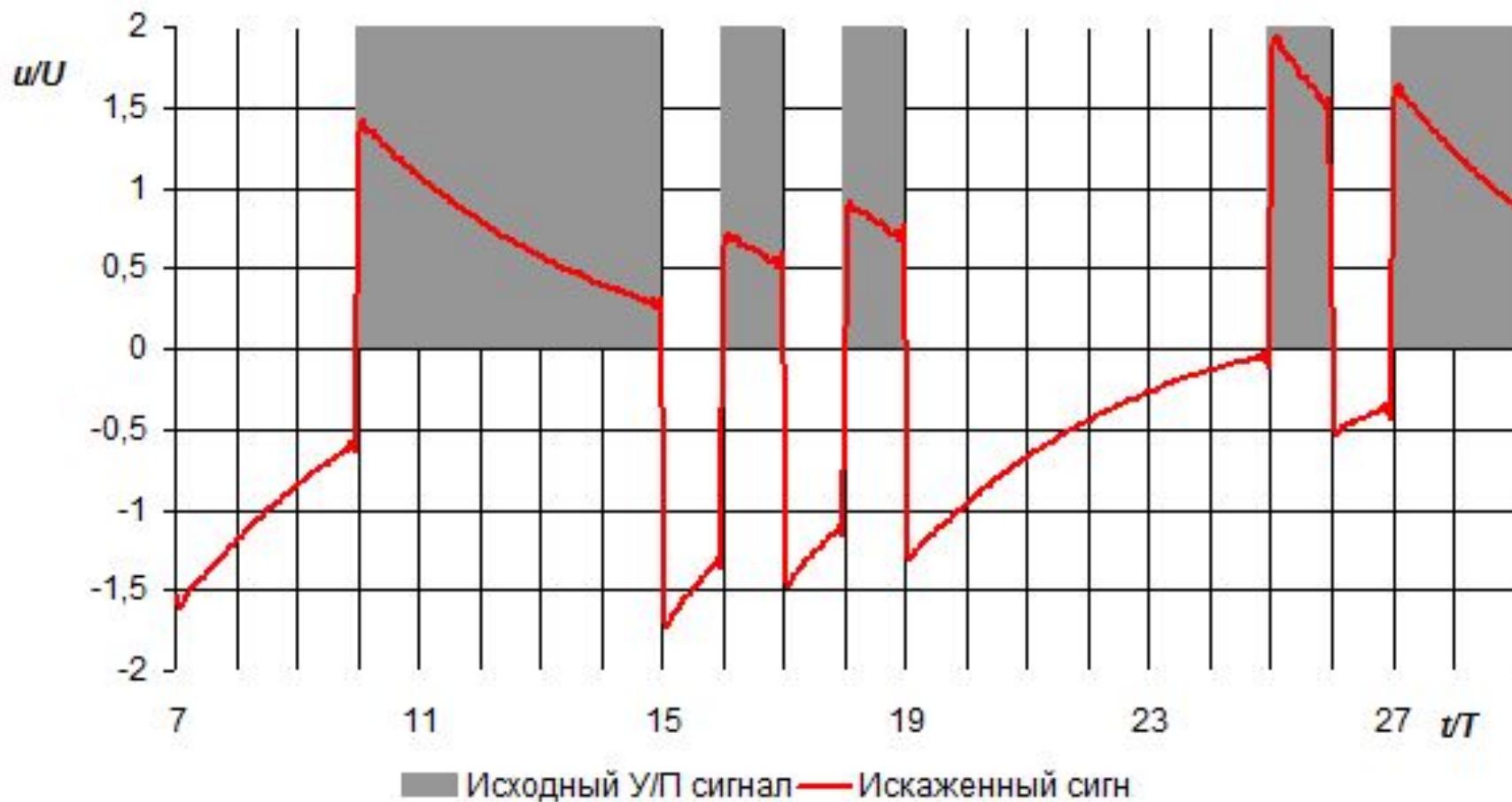
# МСИ II рода



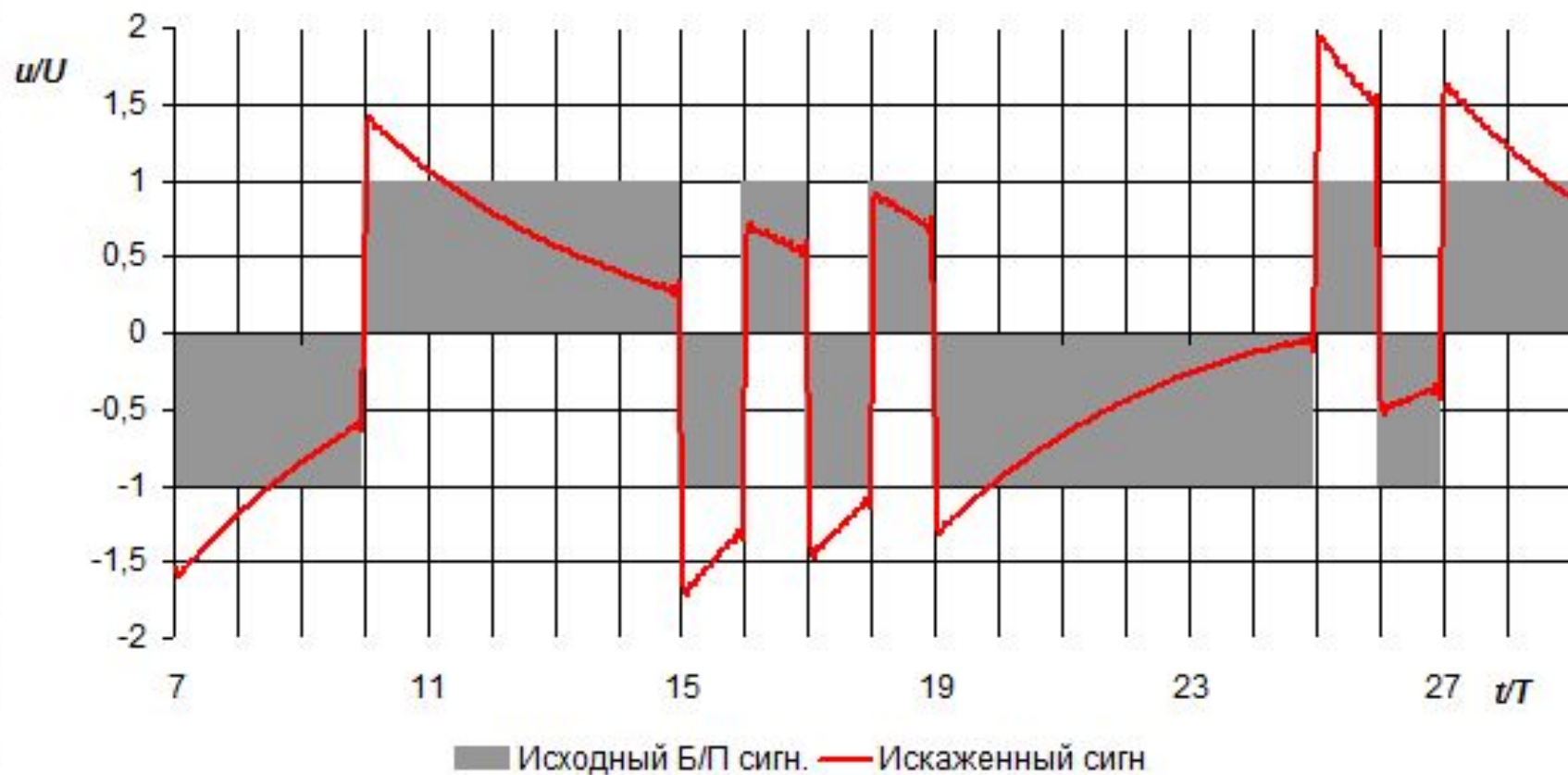
$$\tau_H = (R_c + R_H)C_p \quad \tau_H = L_1 / (R_c \parallel R_H) \quad \tau_H = 1 / 2\pi f_{НС}$$

$$u_{\text{вых}} = u_{\text{вх}} e^{-t/\tau_H}$$

Искажения 2-го рода, униполярный сигнал

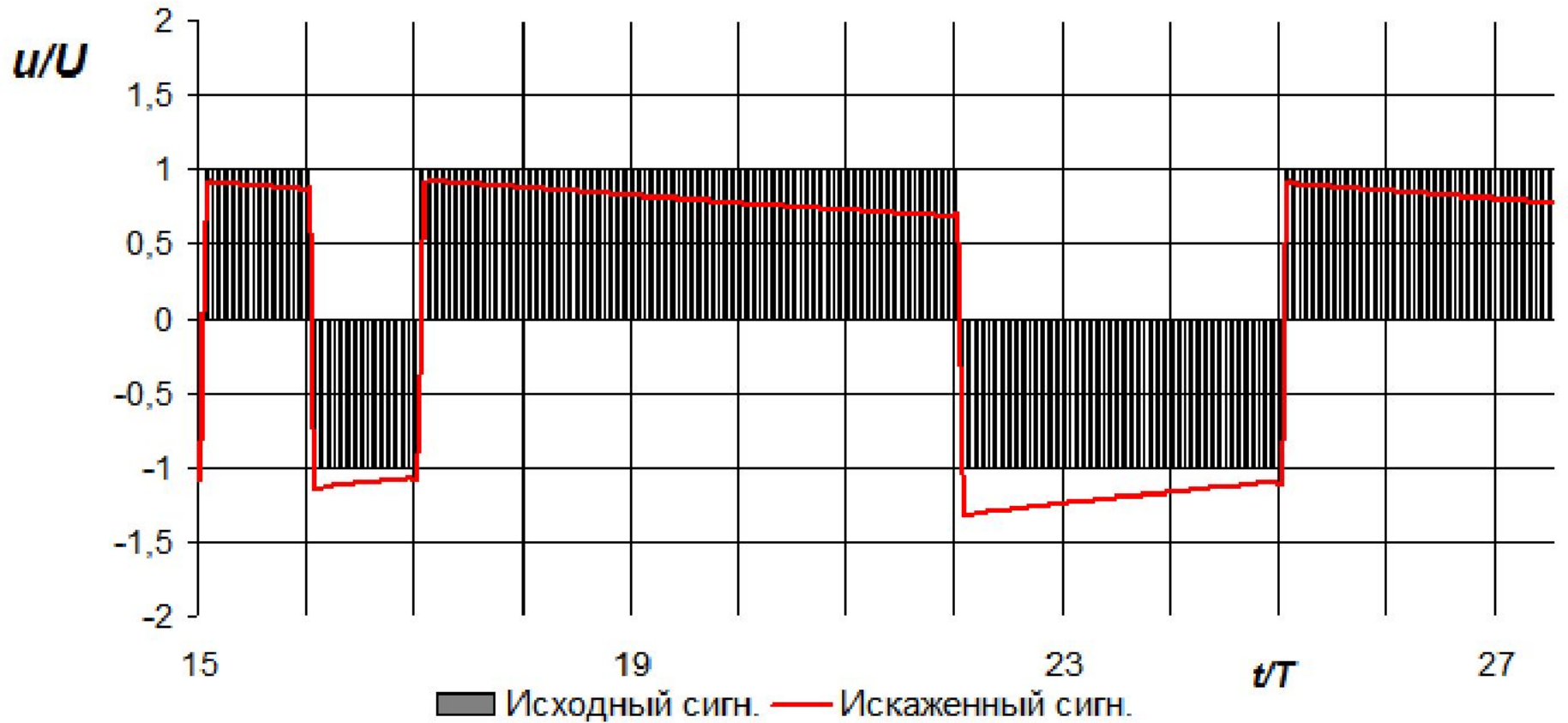


Искажения 2-го рода, биполярный сигнал



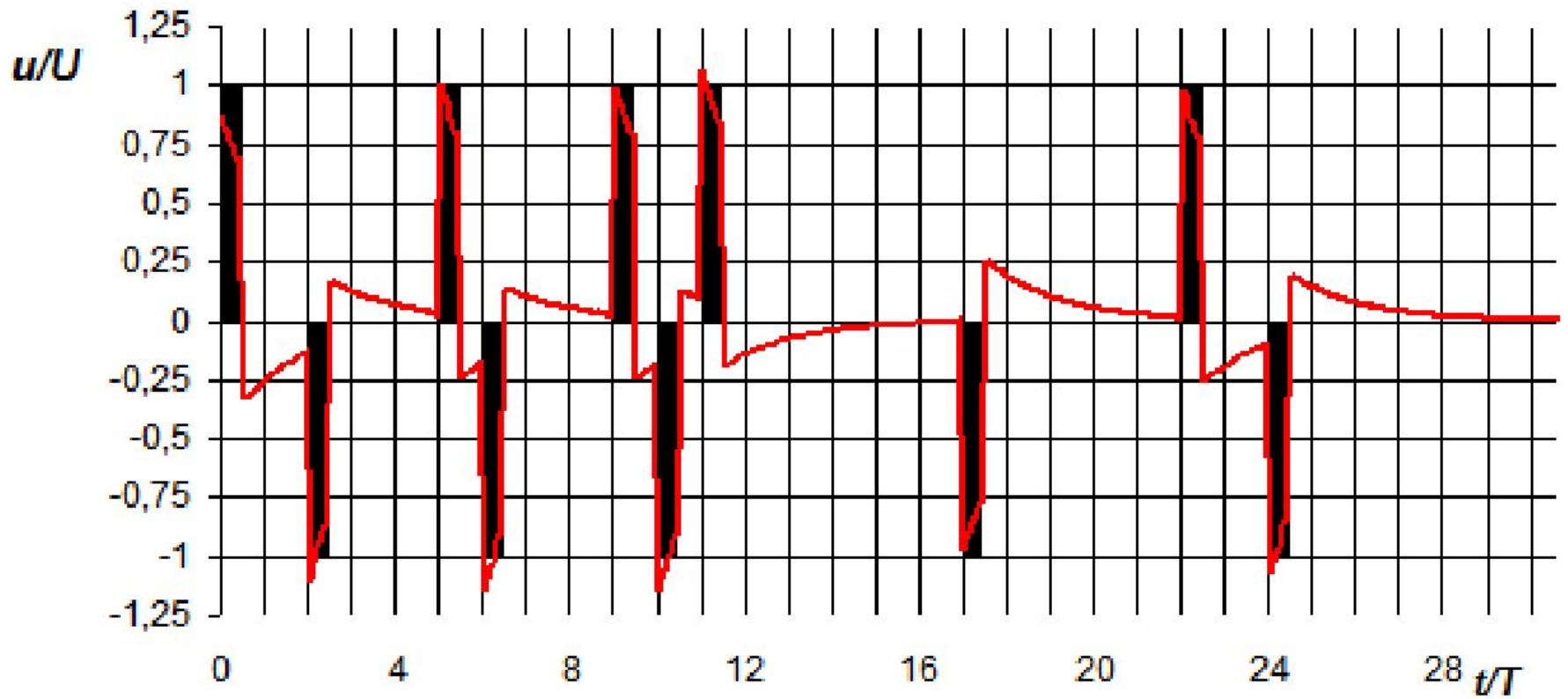


# МСИ 2 (NRZ биполярный)



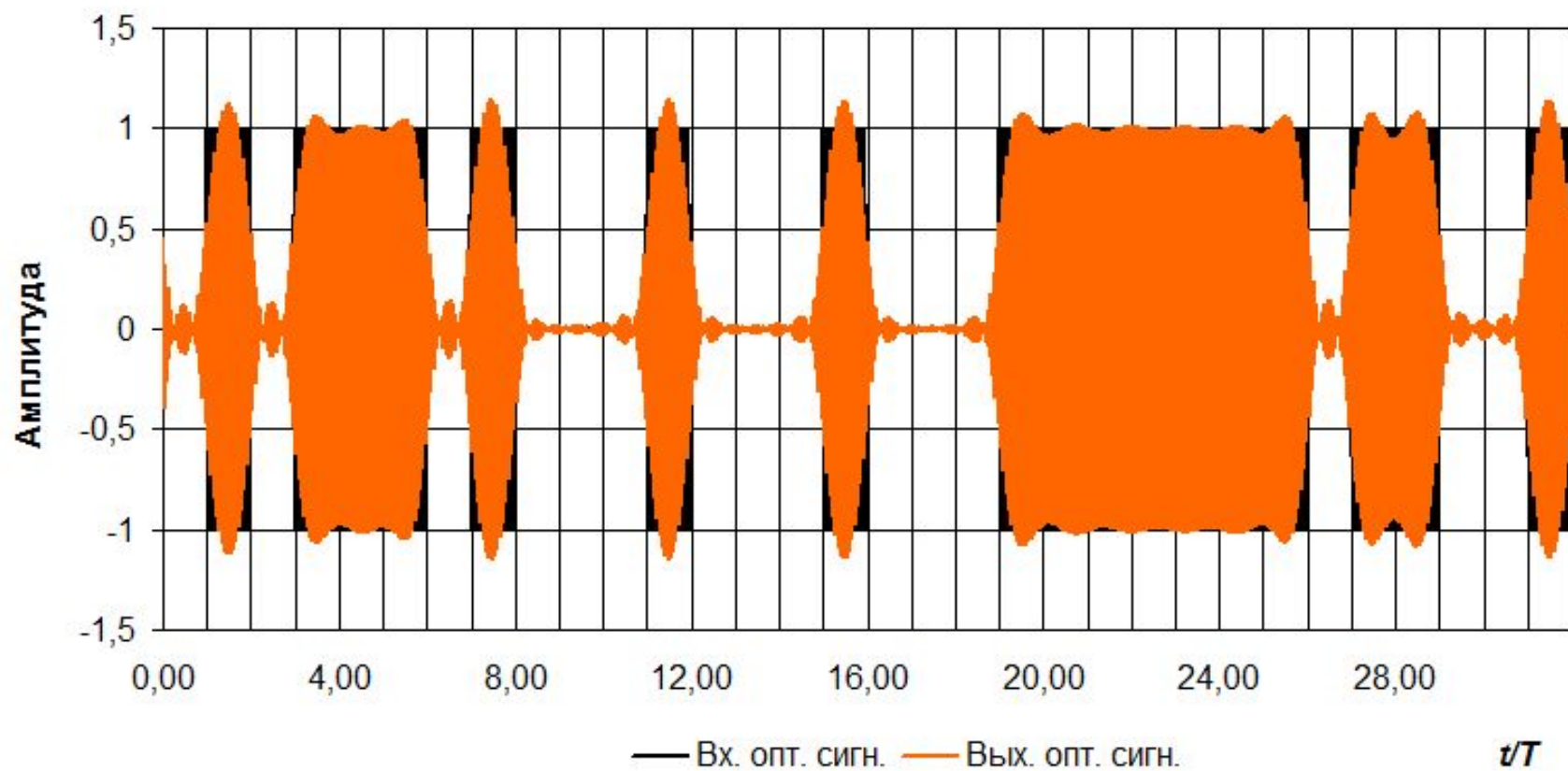
# МСИ 2 (AMI)

Сигналы

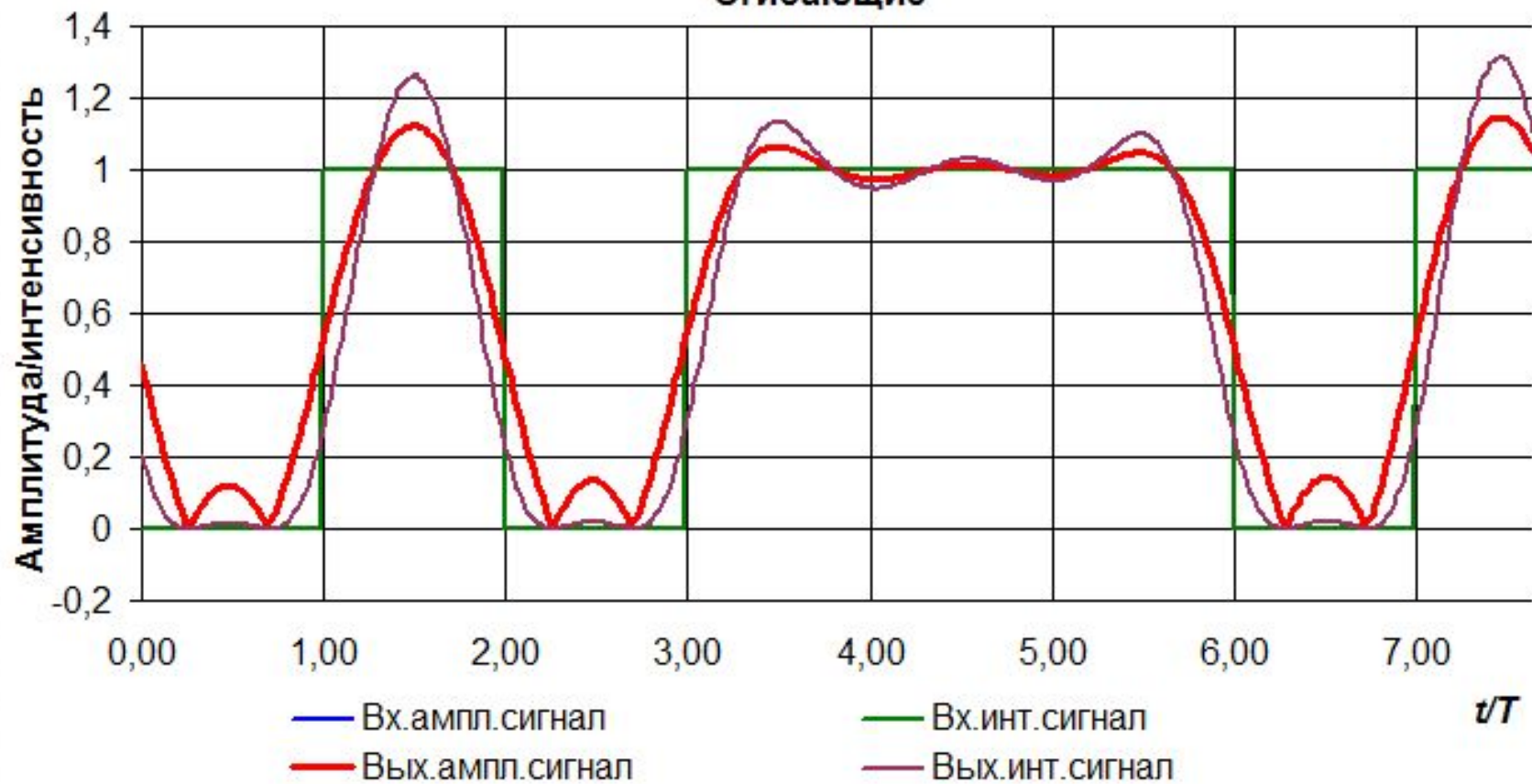


■ Исходный сигн. — Искажённый сигнал

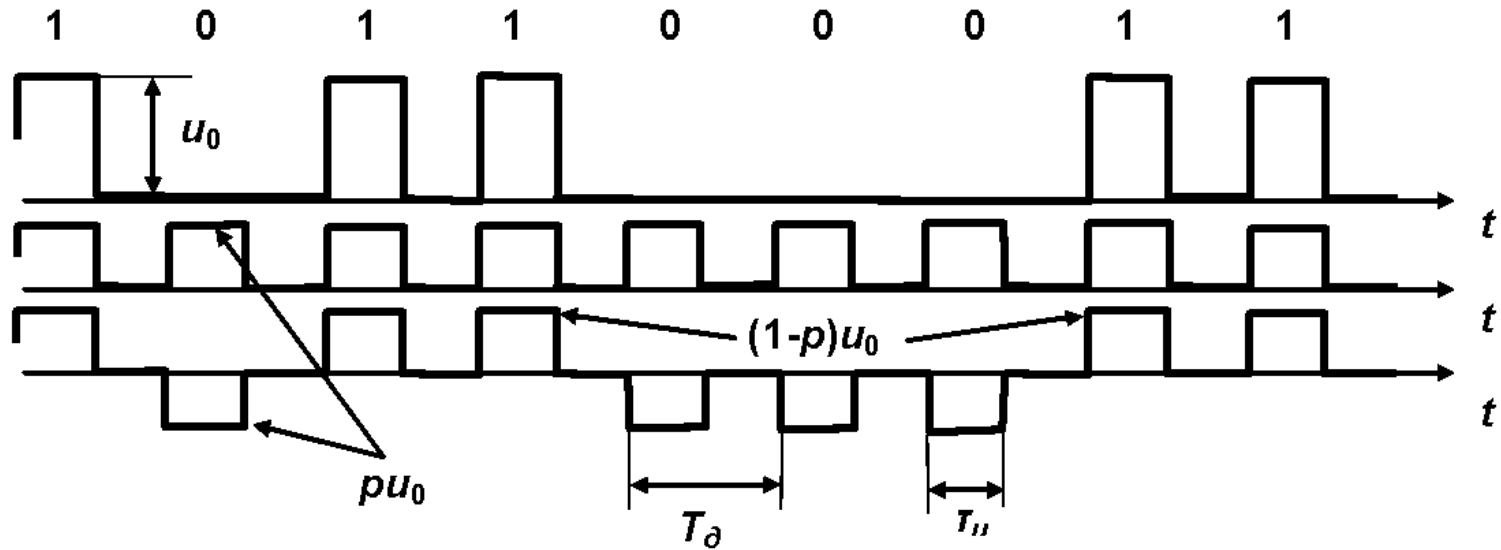
### Оптические сигналы



### Огибающие



## Представление случайной последовательности прямоугольных импульсов



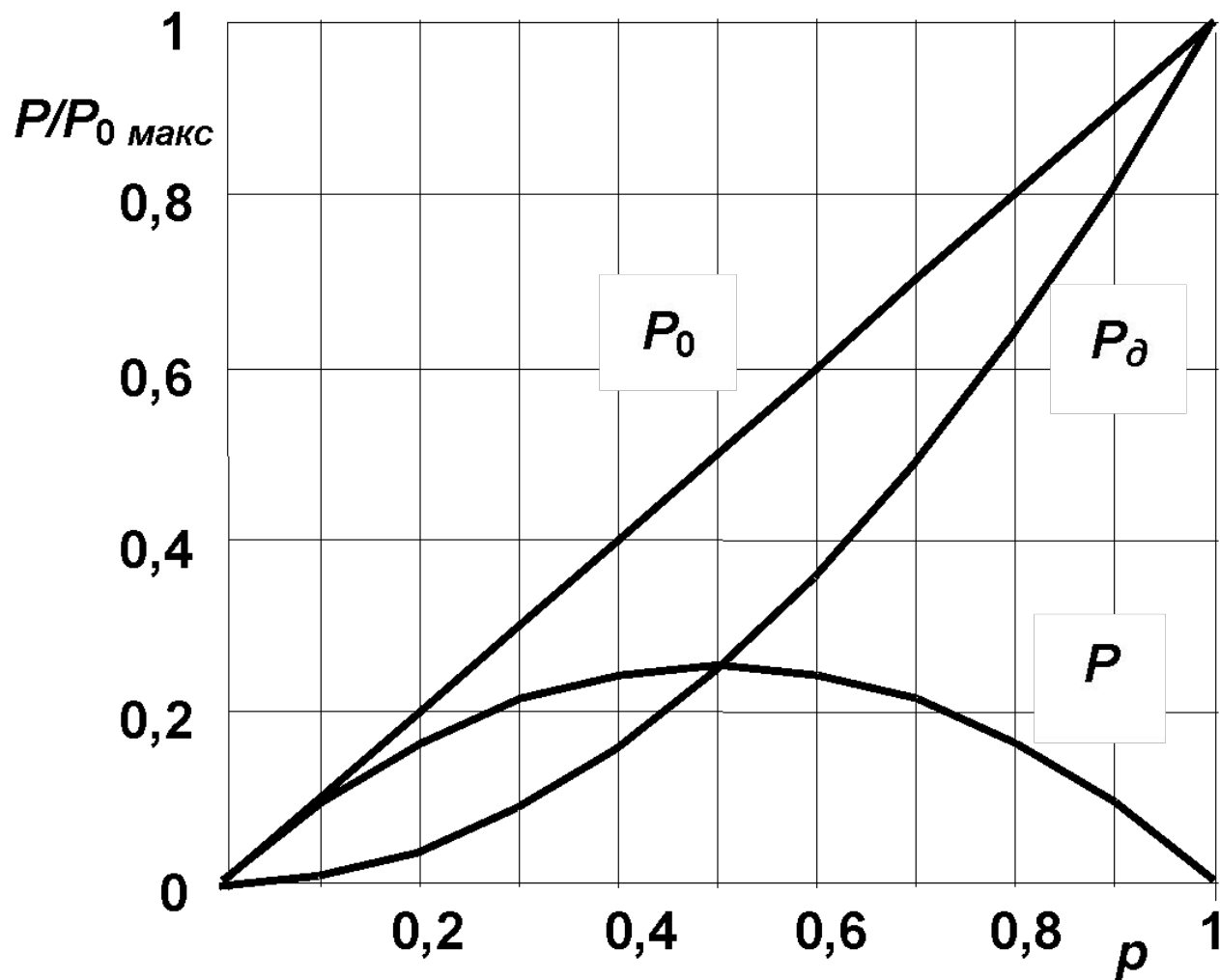
$$P_0 = P_n + P_\partial = pu_0^2 / K_{ск}, \text{ где } K_{ск} = T_0 / \tau_u.$$

$$P_\partial = (pu_0)^2 / K_{ск},$$

$$P_{сл} = P_0 - P_\partial = p(1-p)u_0^2 / K_{ск}.$$

$$u(nf_t) = \begin{cases} pu_0 / K_{ск}, & n = 0 \\ (2pu_0 / K_{ск}) \frac{\sin(\pi n / K_{ск})}{\pi n / K_{ск}}, & n = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

# Мощности составляющих случайной последовательности импульсов при разной плотности единиц



## Определение спектра случайной последовательности

$$G(f) = \frac{1}{T} \cdot S^2(f) \cdot \sum_{m=-\infty}^{\infty} \alpha_m \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot m \cdot T \cdot f}$$

***m=0***

...	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	...
...	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	...

$$\frac{\dots + 1 \dots}{\dots + 1 \dots} \rightarrow 1$$

***m=1***

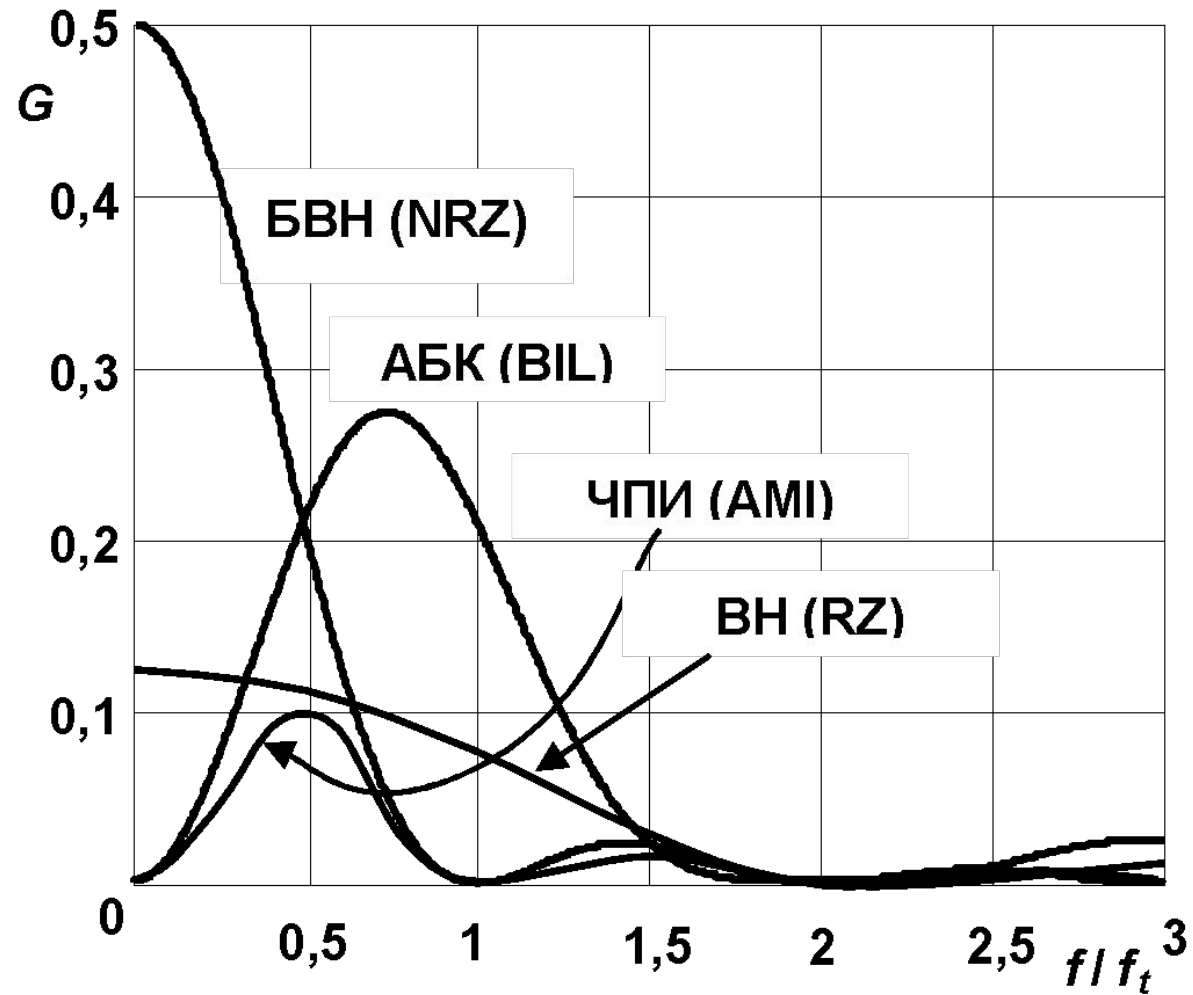
...	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	...	...
...	...	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	...

$$\frac{\dots - 1 - 1 - 1 + 1 + 1 - 1 + 1 - 1 - 1 + 1 + 1 - 1 + 1 - 1 \dots}{\dots + 1 \dots} \rightarrow 0$$

$$\alpha_m = \begin{cases} 1, & \text{при } m = 0 \\ 0, & \text{при } |m| \neq 0 \end{cases} \quad \text{Для большинства двоичных кодов}$$

$$\alpha_m = \begin{cases} 1/2, & \text{при } m = 0 \\ 1/4, & \text{при } |m| = 1 \\ 0, & \text{при } |m| \neq 0 \end{cases} \quad \text{Для квазитроичных кодов}$$

# Спектры случайных последовательностей





# Примеры амплитудных спектров

