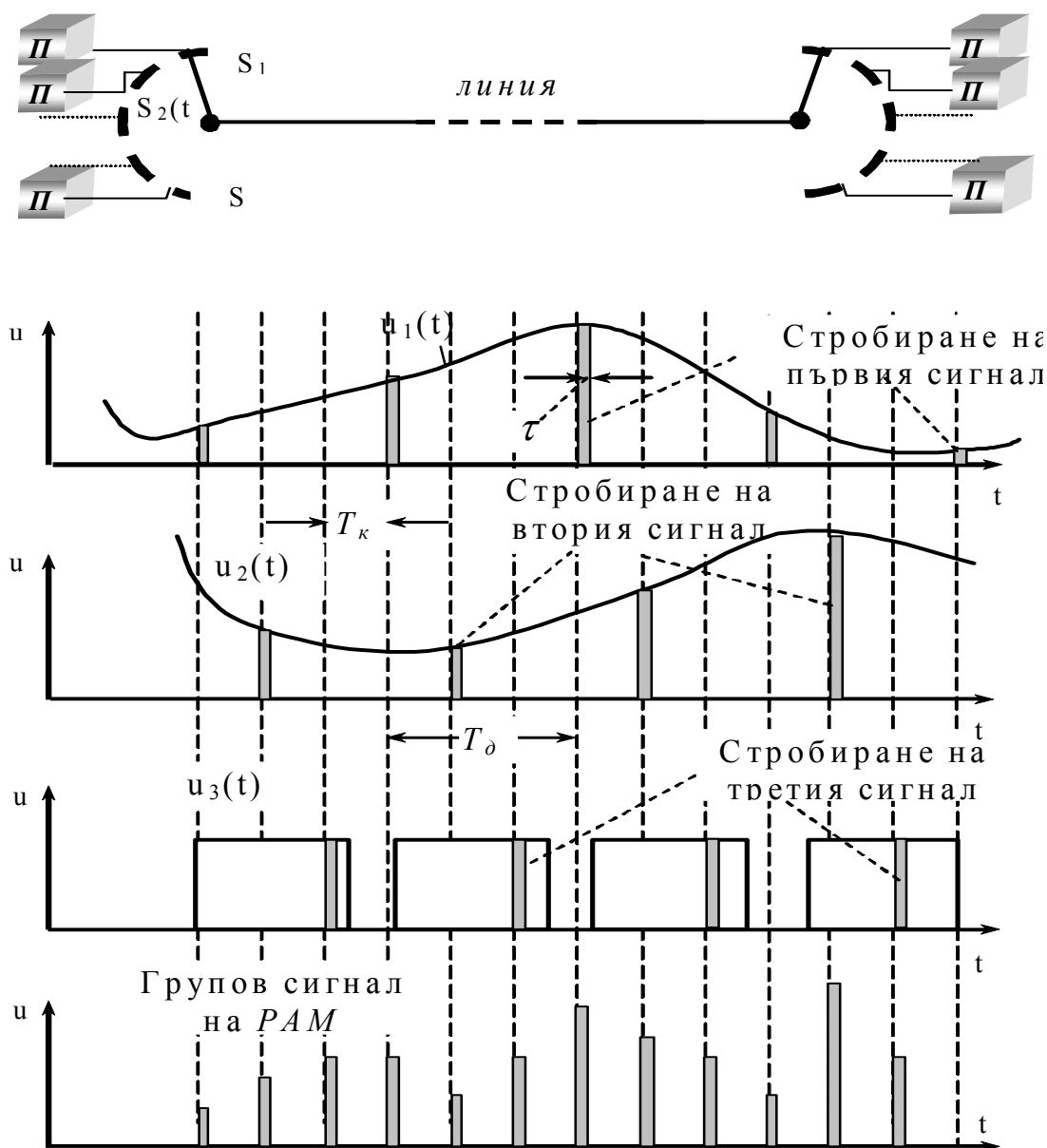


Тема 6. Цифрови уплътнителни системи. Квантуване, кодиране, Импулсно-кодова модулация. Линийно кодиране, скремблиране, синхронизация. Цифрова йерархия – PDH и SDH системи. Особенности на оптичното мултиплексиране

Принципи на мултиплексиране с разделяне на каналите по време

Уплътняването по време (TDM – time division multiplexing) представлява последователно, циклично, за къси интервали от време, предоставяне на преносната среда на всяка двойка кореспондиращи си абонати от множество едновременно протичащи сеанси.



Амплитудно-импулсна модулация: T_d – период (интервал) на дискретизация
 F_d – честота на дискретизация; T_k – канален интервал

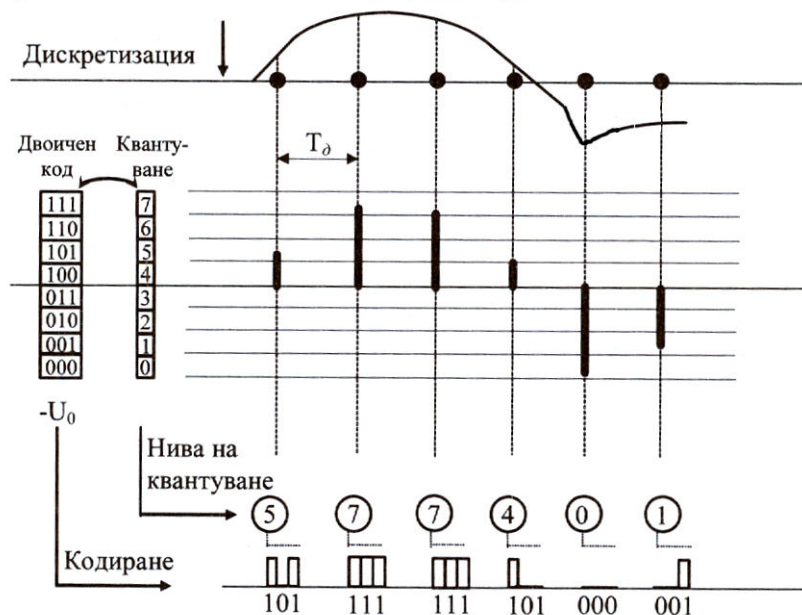
Теорема на Котелников - Найкуист:

$$T_{\delta} = \frac{1}{F_{\delta}} \leq \frac{1}{2 f_{\max}}; \quad F_{\delta} = 1/T_{\delta}; \quad \text{трябва } F_{\delta} \geq 2F_{\max}$$

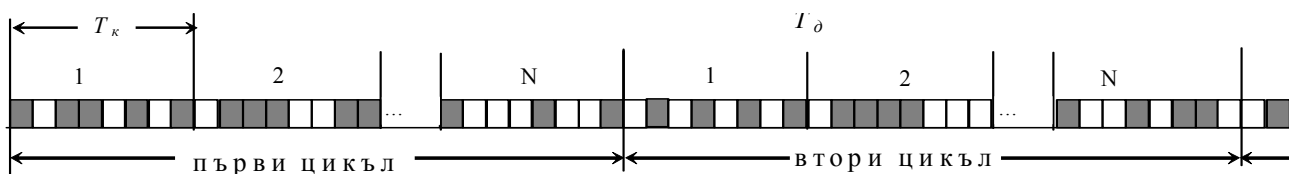
Импулсно кодова модулация (pulse-code modulation - PCM).

Три основни операции:

- Дискретизация по време (*sampling*)
- Квантуване (*quantizing*) (Δ - стъпка на квантуване)
- Кодиране (*encoding*).



При цифрово мултиплексиране в рамките на един интервал на дискретизация T_{δ} (наричан вече **цикъл**) се разполагат кодовите комбинации на всичките N уплътнявани сигнали. На всеки сигнал се полага един канален интервал:



- канален интервал: $T_k = \frac{T_{\delta}}{N}$; N -брой на каналите
- шум от квантуване
- тактова честота: $f_t = F_{\delta} N m$, където m е броят на разрядите в кодовата комбинация на цифровия сигнал

$$m = \log_2 [\text{брой на квантуваните нива}]$$

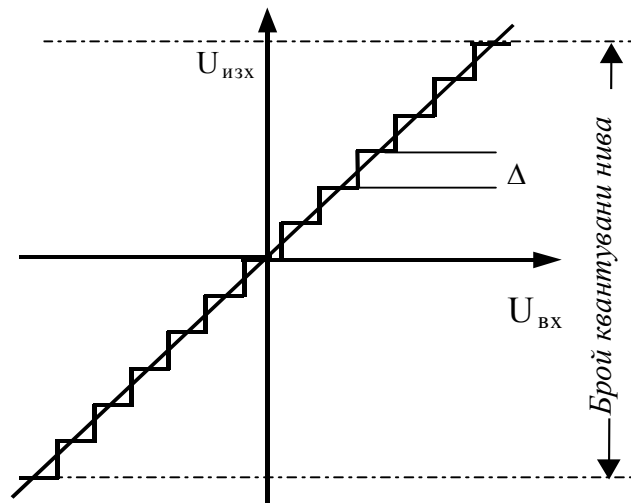
За телефонен канал:

- $F_{\max} = 3\,400 \text{ Hz}$, $F_{\delta} = 8\,000 \text{ Hz} > 2 F_{\max} = 6800 \text{ Hz}$
- период (интервал) на дискретизация $T_{\delta} = \frac{1}{8000} = 125 \mu\text{s}$

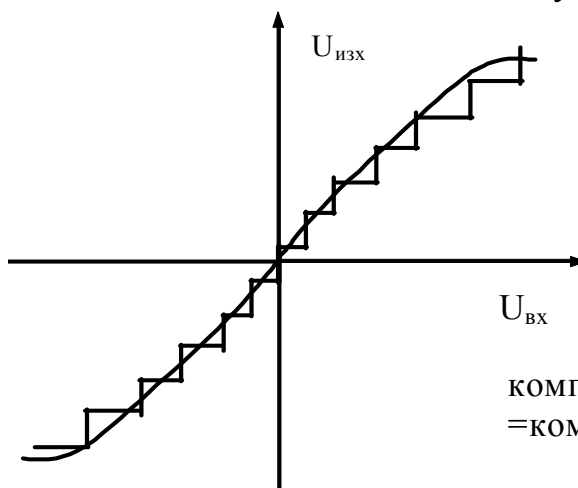
- 256 нива на квантуване, $m = \log_2 256 = 8$, т.е. 8-разрядни комбинации
- скорост на предаване на един цифров телефонен сигнал
 $B_t = 8000 \times 8 = 64 \text{ KBaud} = 64 \text{ kBit/s}$
- ефективна ширина на спектъра $F_{\text{ef}} = \frac{B_t}{2} = 32 \text{ KHz}$, т.е. сега сигналът
заема 8 пъти по-широка честотна лента от тази на аналоговия

Равномерно (линейно) и неравномерно квантуване

Линейно квантуване



Нелинейно квантуване



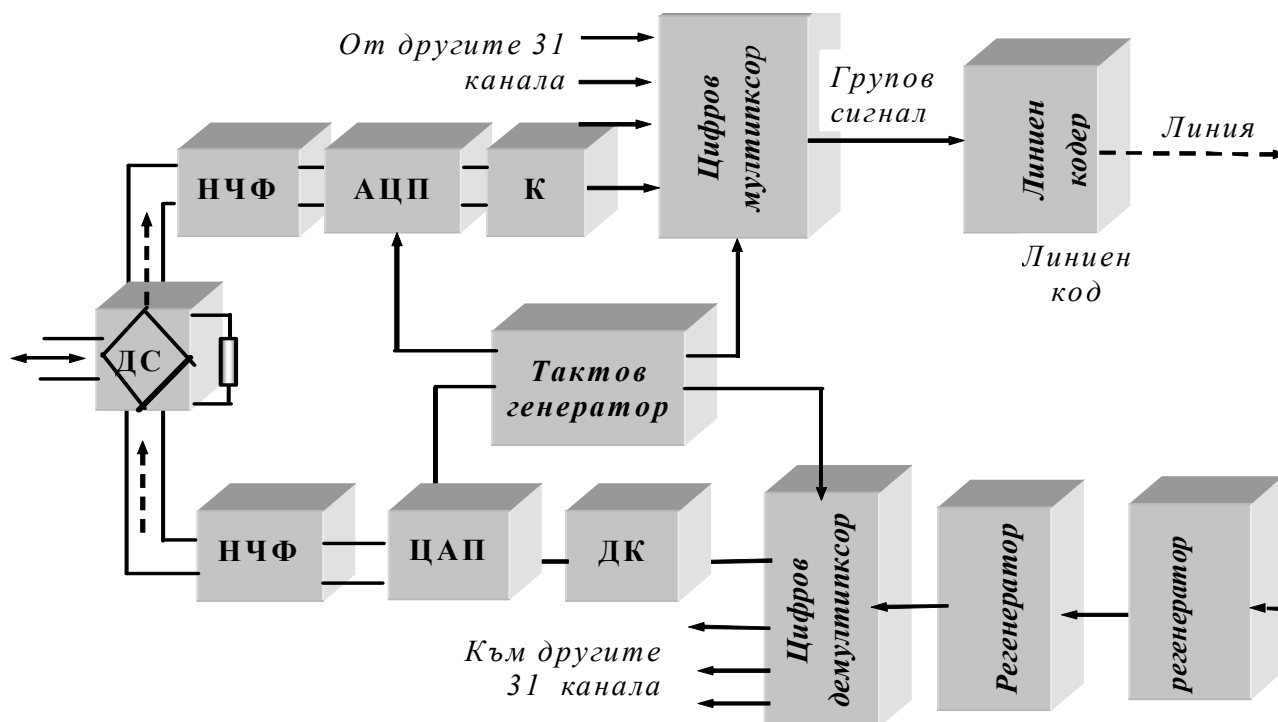
компресия + експанзия =
=компандиране

Закони за компресиране: **А-закон** (ITU-T за Европа) **μ-закон** (за Америка)

А-законът се представя с

$$y(x) = \begin{cases} \text{sgn}(x) \cdot \frac{1 + \ln A|x|}{1 + \ln A} & \text{за } \frac{1}{A} < |x| < 1 \\ \frac{Ax}{1 + \ln A} & \text{за } -\frac{1}{A} < x < \frac{1}{A}, \end{cases} \quad \text{където } A = \text{const} = 87,6$$

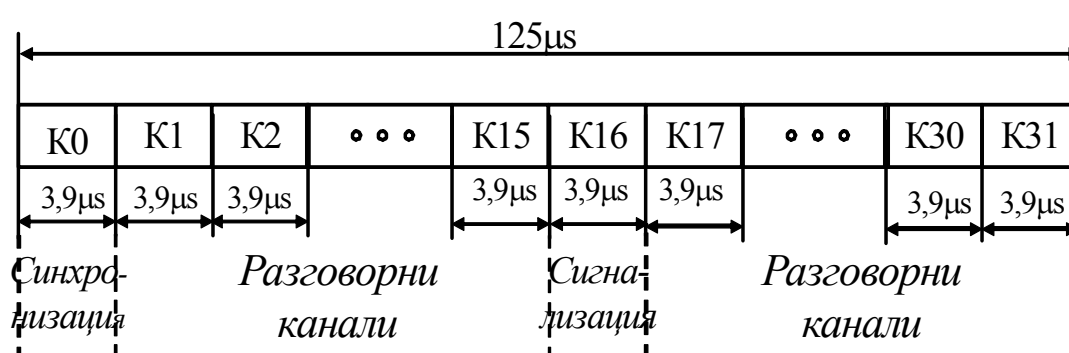
Блокова схема на УТС с ИКМ 30/32



При 32 канала:

- $f_t = F_d \cdot m \cdot N = 8000 \times 8 \times 32 = 2,048$ [MBaud = Mbit/s.]
- $T_k - \text{канален интервал} = \frac{125}{32} = 3,9 \mu\text{s}$

Структура на цикъла на ИКМ 30/32



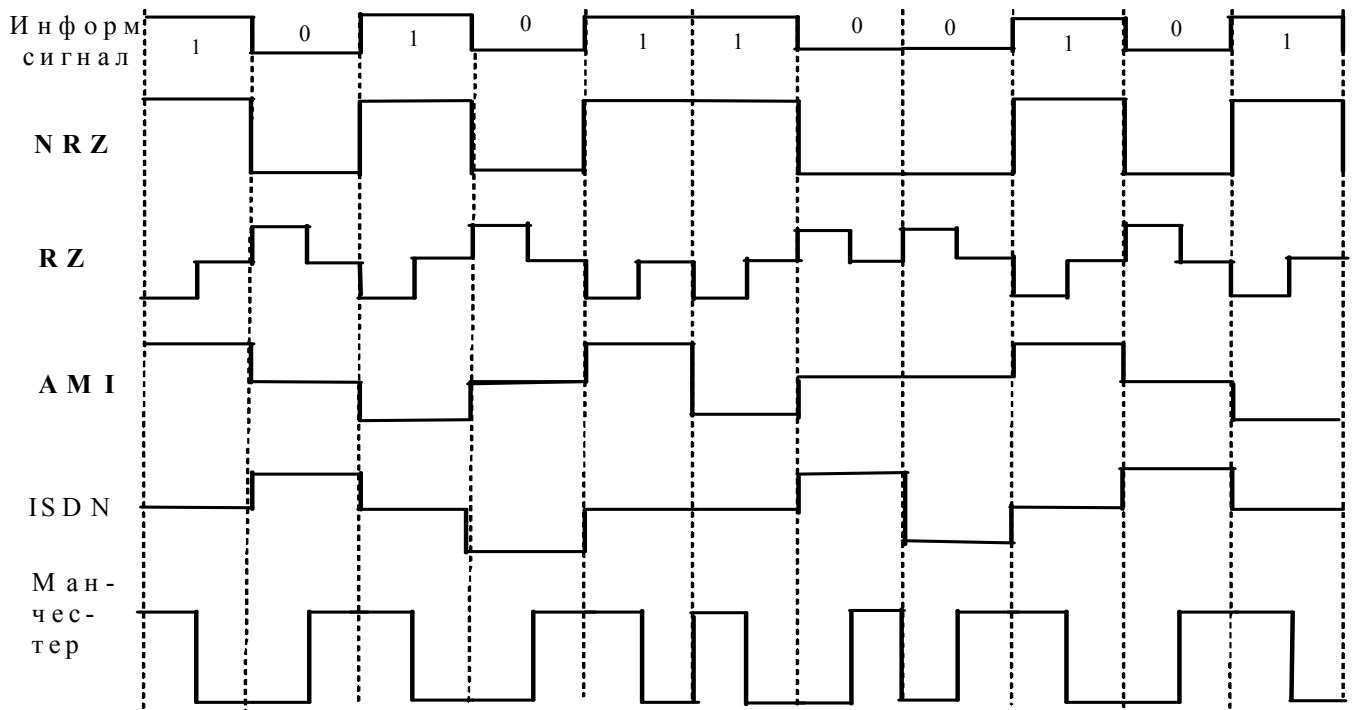
Синхронизация в цифровите мултиплексни системи

- **Тактова**
- **Циклова** (Синхросигнал 0011011)
- **Свърхциклова синхронизация** - сигнали за управление и взаимодействие (СУВ) - набиране на телефонните номера, заемане на съоръженията в комутационните възли, таксуване на разговорите, разпадане на връзката (**Свърхцикъл:** 16 цикъла по 125 μs се обединяват в един цикъл от 2000 μs за целите на синхронизацията)

Линийно кодиране и скремблиране

Необходимост от линейно кодиране

Линийни кодове: тринивови и двунивови



Скремблиране - логическа обработка - подложения на скремблиране код се сумира побитово по «модул 2» с предишните тактове и се получава резултатен код, който се изпраща като линейен. По такъв начин говорните сигнали се модифицират така, че стават неразбираеми.

Области на използване на цифровото мултиплексиране

Междувъзлови съединителни канали

Системи (Digital Loop Carrier – DLC) *терминален мултиплексор* (Remote Terminal - RT). Например чрез SLC-96 с 4 линии се уплътняват 96 звукови канала

Достъп до мрежите за предаване на данни: Internet, ISDN.

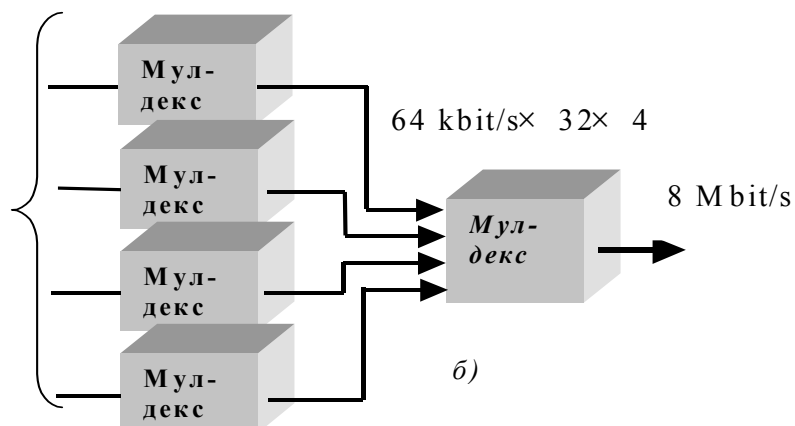
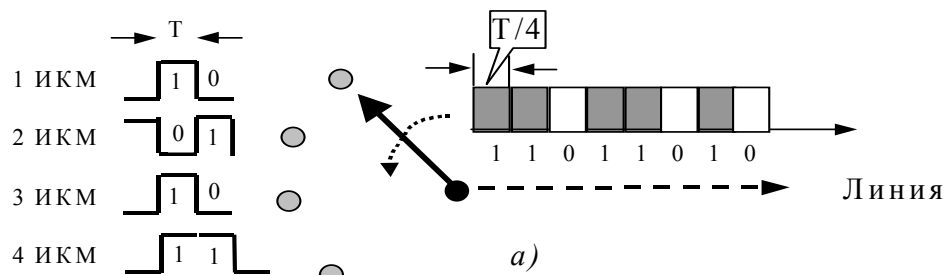
Йерархии в цифровите уплътнителни системи

1. Плезиохронна цифрова йерархия (*Plesiochronous Digital Hierarchy - PDH*)

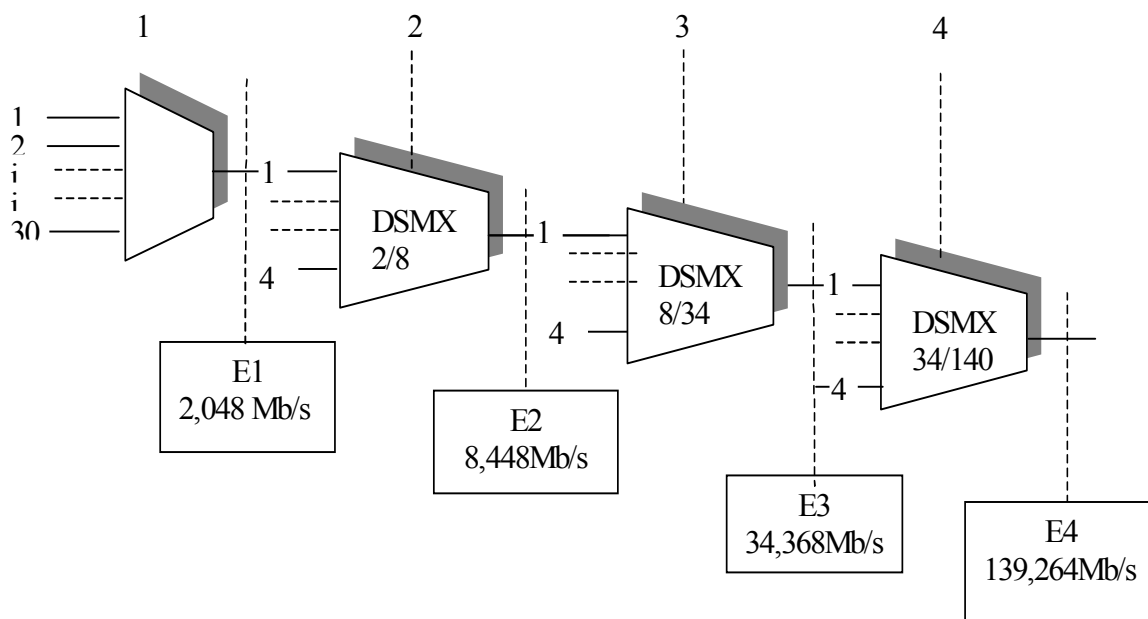
- **Изисквания**

- обединява, разделя и транзитира различни по скорост цифрови сигнали и потоци;
- използва стандартизирани скорости
- базира се на основен цифров канал със скорост 64 kbit/s.

- **Същност**



Обединяване на 4 цифрови потока в един



Европейска мултиплексна цифрова йерархия

Означение	Скорост на предаване	Брой канали	Допустими отклонения Mbit/s
E1	2,048 Mbit/s,	30	$1 \pm 50 \cdot 10^{-6}$
E2	8,448 Mbit/s,	120	$1 \pm 30 \cdot 10^{-6}$
E3	34,368 Mbit/s	480	$1 \pm 20 \cdot 10^{-6}$
E4	139,264 Mbit/s	1920	$1 \pm 10 \cdot 10^{-6}$

- **Проблеми в PDH:**

- синхронизация
- фазиране, приплъзване, джитер (*jitter*)
- необходимост от поетапно мултиплексиране и демултиплексиране “обратно по веригата”

2. Синхронна цифрова йерархия (Synhronous Digital Hierarchy - SDH

- Синхронна оптическа мрежа (Synchronous Optical Network - SONET).

В SDH е възможно:

- Скокообразно от 2 на 155,52 мегабитово мултиплексиране;
- Изваждане и вмъкване на произволен 2 – мегабитов поток;
- Директно взаимодействие между първичните 2-мегабитови потоци.

Основната скорост на *SDH* е определена от ITU-T на 155,52 Mbit/s.

Стандартните нива на йерархия са:

- | | | |
|------------------|-------------------|--------------------|
| 1. 51,84 Mbit/s | 3. 622,08 Mbit/s | 5. 9,95328 Gbit/s |
| 2. 155,52 Mbit/s | 4. 2,48832 Gbit/s | 6. 39,81312 Gbit/s |

Други методи за цифрово кодиране на речта

ИКМ е стандартизиран през 1970 г., а от тогава са създадени множество нови и по-ефикасни методи за кодиране. При тях може да се получи по-добро качество (при същите скорости на предаване на информацията – 64 Kbit/s) или същото качество (при по-ниски скорости). При GSM, напр., използваната скорост за предаване на реч е 13 Kbit/s или дори 7 Kbit/s.

Методите за кодиране на реч могат да се разделят на 2 категории – *кодиращи формата* на сигнала (като ИКМ) и така наречените *вокодери* (*vocoder* от *voice coding*), използващи характеристиките на човешкия глас.

Адаптивна ИКМ (APCM). Това е вариация на ИКМ, при която се изпраща информация периодично за силата на сигнала, като допълнение към стойностите на отчетите.

Диференциална ИКМ (DPCM). Тук се предава само разликата между два последователни отчета и тъй като тя обикновено е малка, може да се използват по-малко битове. За още по-голямо намаляване на скоростта може да се прави предсказване на стойността на следващия отчет на базата на няколко предишни отчета. Тогава се предава само грешката от предсказването.

Адаптивна диференциална ИКМ (ADPCM). Тук се комбинират предните два метода.

Предаването с по-малка скорост чрез използване на ADPCM (например 16, 32 Kbit/s) е стандартизирано от ITU-T и се използва в практиката. Например за големи разстояния (подводни кабели) или в частни мрежи (каналите, наети от клиент за свързване на учрежденската му централа, могат да се намалят, например наполовина).

Кодиране на речта при GSM

В GSM се използва комбинация от вокодер и ADPCM-кодер. Принципът е следният. Речевият сигнал първо се разделя на отрязъци от по 20 ms. Всеки отрязък се изследва за откриване на синусоиди в него. Синусоидалните съставки се извличат от речевия сигнал и така амплитудата на последния се намалява силно.

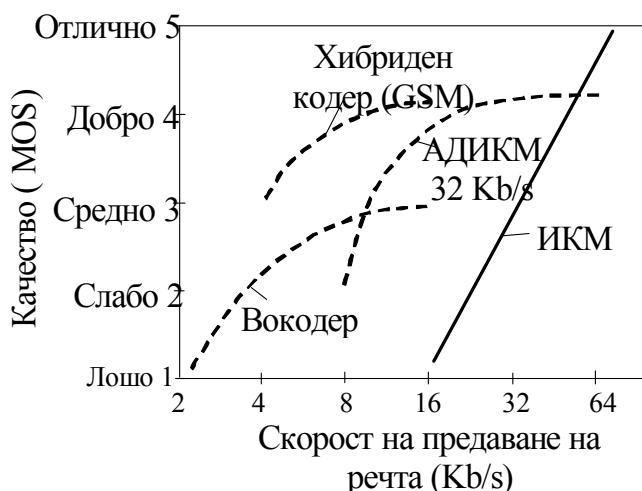
Синусоидалните компоненти (които са високоенергийни) не се предават, а се предават техните параметри. Остатъчният сигнал се предава чрез кодиране формата на сигнала с предсказване. Поради малката амплитуда се изискват по-малко количество битове.

Сравнение на методите за кодиране на речта

Най-силно намаление на скоростта на речевия цифров поток се постига с вокодери. Но качеството на предаване чрез кодиране на формата на сигнала е много по-добро. Репродуцираният (чрез вокодер) глас звучи синтетично. Така вокодерът не удовлетворява изискването в телефонията – да може да се разпознае събеседникът.

Диалоговият характер на телефонната телеуслуга поставя изисквания за допустимото закъснение на сигнала от обработката при кодирането. Усещането за влошаване на качеството се получава при сумарно закъснение в двете посоки над 180 ms. За висококачествено предаване не се допуска това закъснение да е над 150 ms, а сложните кодираня увеличават доста закъснението на сигналите.

Оценка на качеството при различни методи на кодиране се прави чрез т. нар. *средна експертна оценка (MOS - Mean Opinion Score)*, която отразява средното мнение на група хора за качеството. Методът MOS се е използвал някога, когато линиите са били лоши. При качествените цифрови телефонни



Зависимост на качеството от скоростта на предаване при различните методи на кодиране

канали използването му станало безпредметно. Днес, когато заради въздушния интерфейс на мобилните апарати и заради пакетната телефония (VoIP), се използват сложни обработки с чувствително намаление на скоростите, но и с известно влошаване на качеството, този метод е отново актуален.

ITU препоръки за цифрово

кодиране на говор: G.711 – 64 kbps (ИКМ); G.726 – 32 kbps (АДИКМ); G.728 – 16 kbps (LD-CELP); G.729 – 8 kbps (CSA-CELP) всички с MOS=4.0; G.723.1 – 6.3 kbps (ACELP) с MOS=4.0.