

ОСНОВИ АУДИО ТЕХНИКЕ

2. Аудио сигнали

Основни облици аудио сигнала

- Аудио сигнал се на свом путу од извора до слушаоца јавља у разним физичким облицима. То су:
 - акустички сигнал кога стварају извори звука и звучници,
 - звучни притисак као сигнал у звучном пољу и
 - сигнал у електричном домену.
- Звучни притисак као сигнал је величина која се, по дефиницији, посматра у једној тачки физичког простора.
- У улазном акустичком окружењу то је тачка у којој се налази микрофон, а у излазном акустичком окружењу то су тачке улаза у слушни канал левог и десног ува.
- Електрични аудио сигнал се јавља у своја два основна облика: аналогном и дигиталном.
- Иако је означен као електрични, чињеница је да у разним фазама проласка кроз аудио систем сигнал прелази из електричног облика у друге физичке форме, пре свега оптички (у уређајима за записивање сигнала и у оптичким влакнима за повезивање делова система) или магнетски (у разним меморијским медијима).
- Аудио сигнал може бити и у механичком облику, када је представљен физичким, односно геометријским променама у погодном материјалу, као што је то на на CD или DVD медијима.

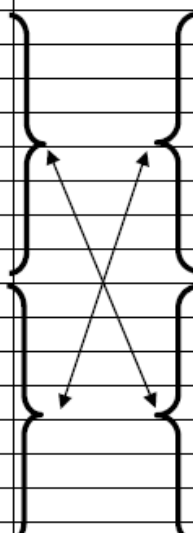
Основни облици аналогног сигнала - линијски и микрофонски ниво

- Прву категорију чине **сигнали високог нивоа**, који се у пракси називају "**линијски сигнали**".
- Сигнали линијског нивоа имају релативно велике вредности максималних амплитуда, што омогућава и максималан однос сигнал/шум у систему и повећава заштиту од евентуалних утицаја сметњи.
- Њихове амплитуде у максимуму могу достизати величине реда волти.
- Другу категорију чине **сигнали ниског нивоа**, какве на свом излазу углавном дају микрофони, па се због тога они називају и "**микрофонски сигнали**".
- Микрофонски сигнали уобичајено имају средње вредности реда величине **-40 dBV** до **-60 dBV**, што зависи од осетљивости микрофона (већа осетљивост подразумева у истим условима звучног поља виши ниво сигнала).
- Овако мали сигнали су, наравно, подложни угрожавању спољним сметњама и шумом у самом аудио систему.
- Због тога се на местима где се јављају сигнали микрофонског нивоа непосредно постављају одговарајући предпојачавачи који такав сигнал подижу на линијски ниво.
- Микрофонски **предпојачавачи** су уобичајени на улазима миксета, али могу бити и независни уређаји.

Основни облик дигиталног аудио сигнала

- Дигитални аудио сигнал је дефинисан својом **фреквенцијом одмеравања** и **бројем бита** којима је представљена вредност одмерка.
- Данас се стандардно користе фреквенције одмеравања 44.1 kHz, 96 kHz и 192 kHz.
- Као основни начин за представљање дигиталних аудио сигнала користи се такозвани “**двокомплементарни код**”.
- Принцип формирања овог кода приказан је у Табели 2.1 на примеру четворобитних бинарних бројева.
- Из табеле се види да је двокомплементарни код теоријски изведен из основног кода променом места горње и доње половине табеле са бројним низом.
- Из табеле се такође види да се та трансформација практично остварује тако што се инвертује најзначајнија цифра.

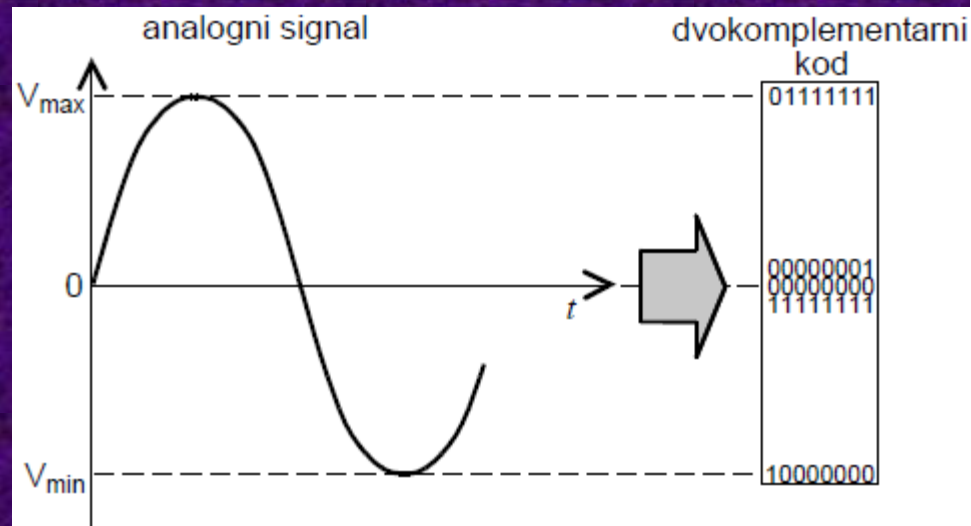
Табела 2.1.

	osnovni binarni kod		dvokomplementarni kod
najveća	1111		0111
vrednost	1110		0110
	1101		0101
	1100		0100
	1011		0011
	1010		0010
	1001		0001
	1000		0000
	0111		1111
	0110		1110
	0101		1101
	0100		1100
	0011		1011
	0010		1010
najmanja	0001		1001
vrednost	0000		1000

Основни облик дигиталног аудио сигнала

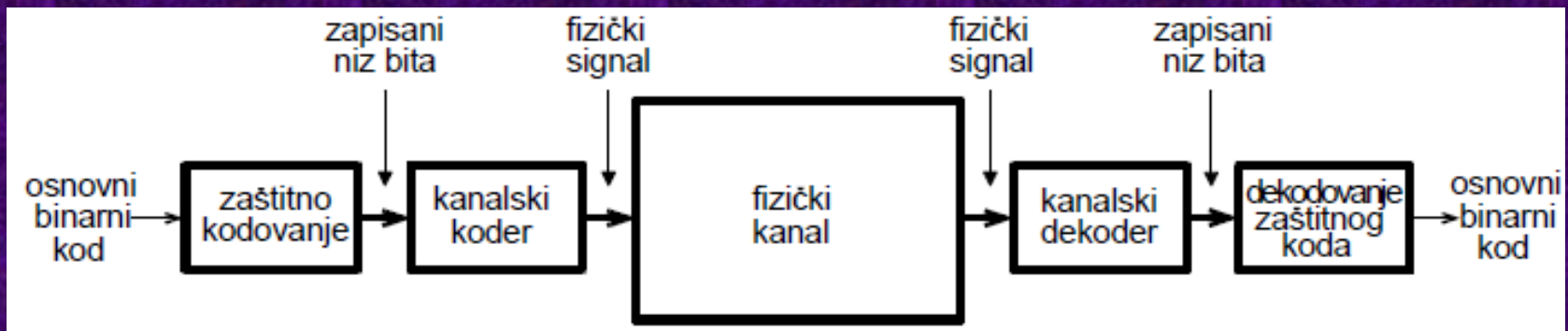
- Аудио сигнал је по својој природи биполаран, што произилази из чињенице да он репрезентује звучни притисак.
- Конверзија таквог сигнала захтева да минимални бинарни кодни број представља максималну негативну вредност, а максимални бинарни кодни број представља максималну позитивну вредност аналогног сигнала.
- У таквој подели вредност 0 В се кодије вредношћу који се налази на средини низа бинарних бројева.
- У случају двокомплементарног кода 0 В се кодије бинарним бројем код кога су све цифре нула.
- Ово је илустровани на Слици 2.1, где је на примеру осмобитних бинарних бројева шематски приказана конверзија аналогног аудио сигнала у двокомплементарни дигитални код.

Сл. 2.1: Шематски приказ конверзије аналогног сигнала у двокомплементарни код на примеру осмобитне речи



Остали облици дигиталног аудио сигнала – заштитни и каналски код

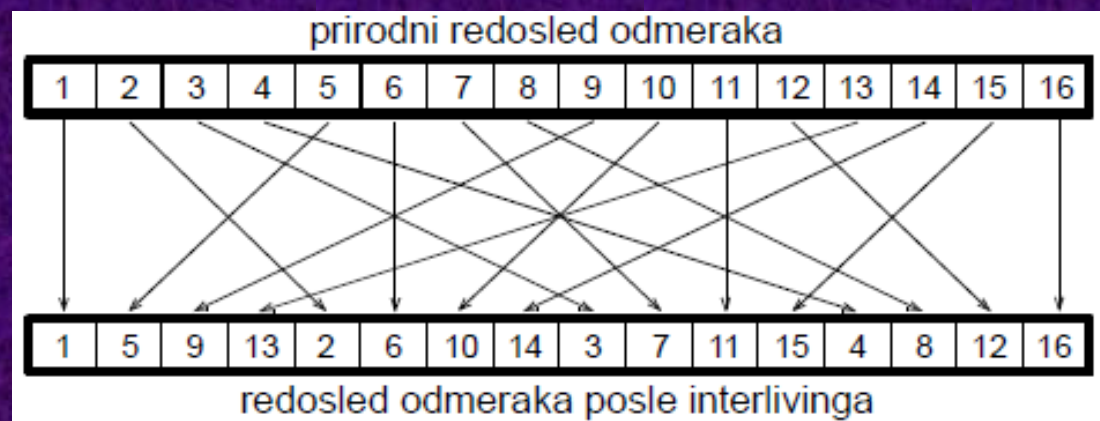
- Да би се дигитални сигнал заштитио од могућих изобличења у физичким каналима нужно је увести извесну припрему, што подразумева одређене трансформације његовог садржаја.
- Те промене се остварују кроз два нивоа посебног кодовања који су означени као **заштитно и каналско кодовање**.
- Њихово место у процесу преноса дигиталног сигнала кроз физички преносни систем приказани су на Слици 2.2.
- **Заштитно кодовање** има за циљ да се након изласка из физичког канала исправе грешке у преносу.
- Заштитно кодовање подразумева, по правилу, проширивање података увођењем додатних бита.
- На основу тога се омогућава детекција и исправљање грешака.



Сл. 2.2: Блок шема преноса дигиталног аудио сигнала кроз неки физички канал са означеним местима заштитног и каналског кодовања.

Остали облици дигиталног аудио сигнала – заштитни и каналски код

- У припреми аудио сигнала за пролазак кроз физичке преносне канале користи се један познати поступак који се назива **интерливинг**, само примењен на нивоу одмерака.
- На Слици 2.3 приказана је шематска илустрација поступка интерливинга у припреми дигиталног аудио сигнала на примеру блока од 16 одмерака.
- Види се по неком дефинисаном принципу врши промена места одмерцима, односно њихово мешања у редоследу којим се појављују у поворци дигиталног сигнала.
- По пријему сигнала на излазу из физичког канала врши се враћање одмерака на њихово природно место.



Сл. 2.3: Илустрација принципа интерливинга на модулу од 16 одмерака.

Остали облици дигиталног аудио сигнала – заштитни и каналски код

- Основна функција **каналског кодовања** је да формира поворку бита пре уласка у физички канал која ће имати смене јединица и нула на начин који даје довољно ниску горњу граничну фреквенцију.
- Да би се у процесу каналског кодовања овакви циљеви постигли, врши се **проширивање сигнала**.
- Блокови оригиналних сигналних бита, најчешће по бајтима, замењују се новим, одговарајуће дужим блоковима који имају прикладну структуру промена стања, односно мању учестаност прелаза између битских стања.
- За већа смањења фреквенцијског садржаја дигиталног сигнала у неким околностима је потребно значајно повећање броја бита у сигналу.
- На пример, у каналском кодовању пре уснимавање на аудио CD сваких 8 бита сигнала се проширује на 17 бита који се шаљу у физички канал, односно који се записују на медију.

Ефективна вредност аудио сигнала

- По дефиницији, **ефективна вредности** неког временски променљивог сигнала је:

$$V = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

- Из израза се види да ефективна вредност подразумева **усредњавање енергије** сигнала у неком задатом временском интервалу интеграције **T**.
- Према томе, у једнобројном податку о величини ефективне вредности неког аудио сигнала укључен је његов енергетски садржај из читавог интервала интеграције.
- Одабрана вредност **T** одређује брзину реаговања ефективне вредности на промене аудио сигнала.
- Што је **T** веће, то је могућност праћења брзих промена у сигналу мања.

Опште скале нивоа аналогних сигнала

- То су две скале нивоа снаге, чије су јединице означене са **dBm** и **dBW**, и две скале напонског нивоа означене са **dBu** и **dBV**.
- **dBm** је ниво снаге за који је референтна вредност $P_{ref} = 1 \text{ mW}$.
- То значи да ниво **0 dBm** одговара вредности снаге сигнала од **1 mW**.
- Снага **1 W** одговара нивоу од **+30 dBm**, при снази **1 kW** ниво је **+60 dBm**, итд.
- Ниво снаге се данас исказује у децибелима на скали чија јединица има ознаку **dBW**. Она је дефинисана у односу на референтну вредности $P_{ref} = 1 \text{ W}$, па зато нивоу **0 dBW** одговара снага **1 W**.
- Ова скала је померена за **30 dB** у односу на првобитну скалу нивоа снаге чија је јединица **dBm**.
- Усвојена напонска референтна вредност $V_{ref} = 0,775 \text{ V}$ као основ за дефинисање јнове напонске скале нивоа сигнала.
- Јединица ове скале означава се **dBu** или **dBV**.
- На овој скали ниво сигнала **0 dBu** одговара напону **0,775 V**.
- Данас се за мерење нивоа сигнала најшире користи скала напонских нивоа са ознаком јединице **dBV**, где је за референтну вредност усвојена јединична вредност напона $V_{ref} = 1 \text{ V}$.

Изражавање динамике сигнала једнобројном вредностима

- У пракси постоји потреба да се динамички садржај сигнала дефинише погодним једнобројним подацима.
- Један од шире познатих начина да се нестационарност аудио сигнала квантификује једним бројем је величина која се назива **крест фактор**.
- Крест фактор показује премашења величине сигнала у односу на његову ефективну вредност.
- По својој дефиницији, крест фактор C је:

$$C = \frac{\text{maksimalna vršna vrednost}}{\text{efektivna vrednost}}$$

- У пракси се користи и његов логаритамски еквивалент који се назива ниво крест фактора **L_c** :

$$L_c = 20 \log (C)$$

•

Специфични стандарди за референтне вредности

• Стандард нивоа "-10 dB"

- Специфичан стандард примењује се у кућним, односно комерцијалним аудио уређајима, и у вишеканалним снимачима.
- У том стандарду референтна вредност је усвојена да буде $V_{ref} = 0,245 \text{ V}$, што дефинише 0 dB на скали нивоа.
- Пошто ниво 0 dB овде одговара нивоу -10 dBu, ова скала се често означава и као "стандард -10 dB".

• Стандард у дигиталним уређајима

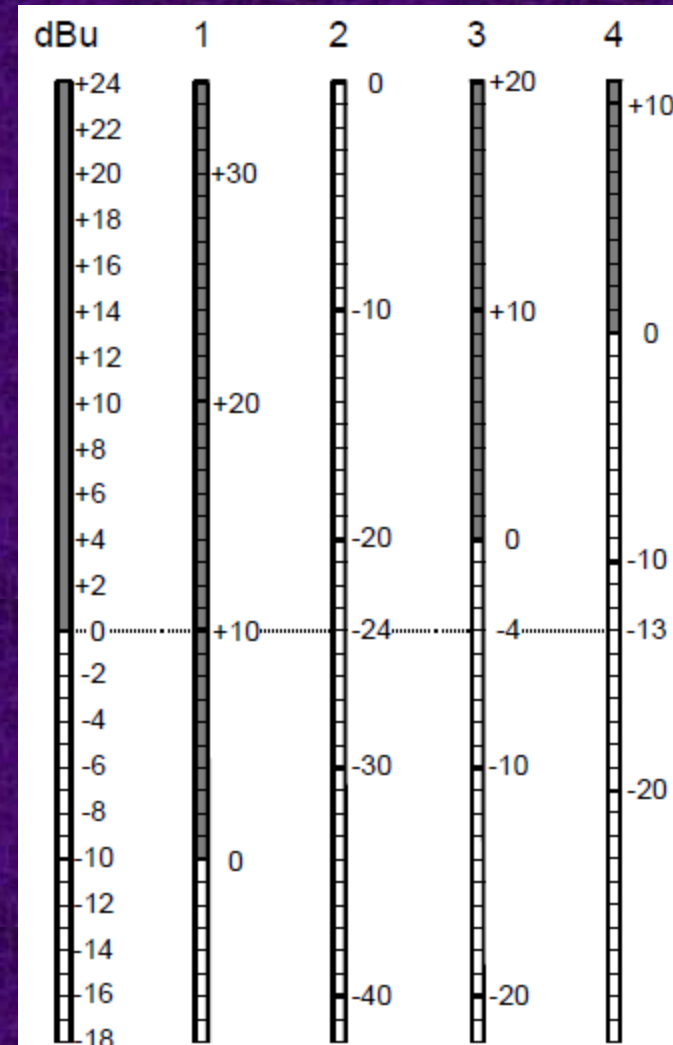
- У дигиталним уређајима, односно при раду са А/Д конверторима, не постоји референтна вредност у оном смислу у коме је то усвојено у аналогним системима.
- Код конвертора се увек усваја да је референтна вредност напона, што значи 0 dB на скали нивоа, највећа могућа вредност сигнала који се може прихватити, а то је максимум А/Д конвертора.
- Тако је у дигиталним уређајима 0 dB истовремено и највећа могућа вредност која може без изобличења да прође кроз њих.
- То је суштинска разлика у односу на систем мерења сигнала у аналогним уређајима код којих сигнал регуларно може имати позитивне вредности нивоа, што значи веће од 0 dB.

Поређење различитих скала нивоа сигнала

- Непостојање јединствене скале нивоа аудио сигнала, односно позиције 0 dB, у многим околностима захтева велики опрез у манипулацији са сигнаlima, јер постоје околности када то може стварити разне техничке проблеме.
- Посебно у размени сигнала између независних технолошких целина, односно независних аудио система, могућа су погрешна тумачења и неусклађеност.
- Да би се лакше сагледале разлике које постоје између појединих стандарда коришћених за дефинисање нивоа сигнала, на Слици 2.4 графички су упоредно приказане скале нивоа за неке од њих.

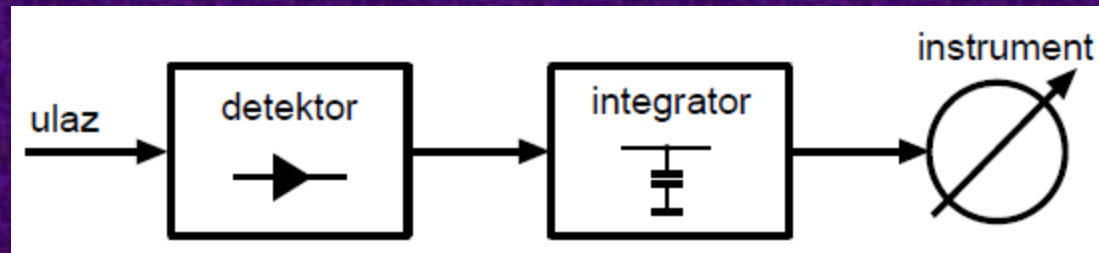
Сл. 2.4: Упоређење неких скала нивоа аудио сигнала са стандардном скалом dBu:

- 1 - кућни уређаји;
- 2 - дигитални снимачи;
- 3 - аналогни снимачи;
- 4 - аудио канал на ТВ камерама Betacam.



Модулометри – Инструменти за мерење ефективне вредности аудио

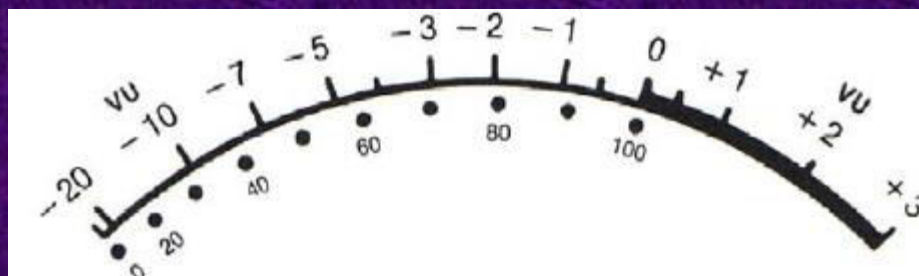
- Основна блок шема **модулометра** приказана је на Слици 2.5.
- Пошто је аудио сигнал временски променљива величина, ови инструменти се принципијелно не разликују од стандардног волтметра за наизменични сигнал.
- Сваки модулометар, као и волтметар, може се поделити на три основна блока:
 - **детектор**,
 - **интегратор** и
 - **показивач (индикатор)**.



Сл. 2.5: Принципијелна блок шема модулометра

Модулометри – Инструменти за мерење ефективне вредности аудио

- VU метар (Volume Unit) је најстарији и најраспрострањенији модулометарски инструмент.
- Рад VU метра је прецизно утврђен стандардом.
- Најважнија особина која је дефинисана стандардом је његова балистика, односно брзина реаговања на тренутну побуду неким референтним сигналом константне фреквенције и амплитуде.
- На Слици 2.68 приказано је баждарење скале VU метра.



Сл. 2.6: Изглед скале VU метра.

Модулометри – Инструменти за мерење ефективне вредности аудио

- **PPM - мерач вршних вредности ("peak" метар)**
- Постоје тачке у аудио системима у којима се мора контролисати величина и краткотрајних појава у сигналу.
- Таква потреба одувек постоји на улазу у предајника, ради заштите модулятора, а обавезна је и испред сваког А/Д конвертора ради спречавања премашења његовог максимума.
- За такве намене служи посебно дизајниран модулометар који се назива мерач вршних вредности или PPM.
- Он се уграђује на уређајима где је такво мерење битно, али се израђује и као независан уређај, са могућношћу да се повеже у аудио систем у тачки где је потребна контрола.

Термички шум

- Шум је природна, физичка појава и у аналогним уређајима то је добро познати термички шум, а у дигиталним системима то је шум квантизације.
- Сваки аналогни уређај и сваки А/Д конвертор уграђени у аудио систем доприносе нивоу шума на његовом излазу.
- Ови сигнали се сабирају дуж система и на излазу се јавља њихов енергетски збир.
- У сваком електричном колу, односно у свакој отпорности кроз коју протиче струја јавља се термички шум.
- Ефективна вредност електромоторне силе тако насталог шума је:

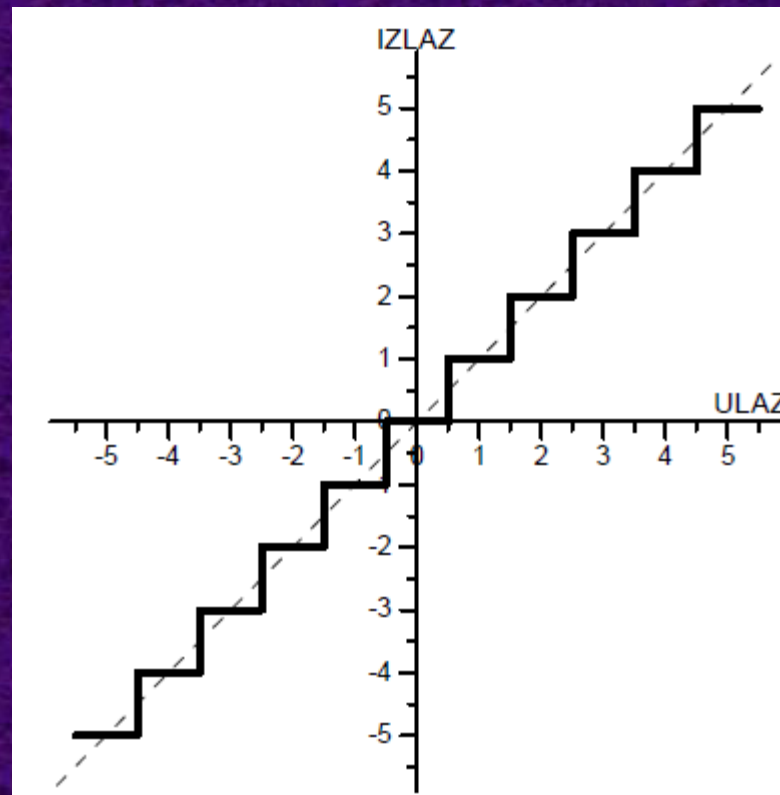
$$E_N = \sqrt{4kTR\Delta f}$$

где је

- k - Болцманова константа, чија је вредност $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
- T - апсолутна температура, у прорачунима се заокружује на $290 \text{ }^\circ\text{K}$ ($17 \text{ }^\circ\text{C}$)
- R - отпорност у колу
- Δf - фреквенцијски опсег у коме се посматра појава шума.

Шум квантизације

- У процесу конверзије настаје грешка која се јавља при дискретизацији аналогног сигнала по амплитудама.
- Та грешка је последица степенастог облика преносне карактеристике квантизера која је приказана на Слици 2.7.



Сл. 2.7: Преносна карактеристика квантизера.

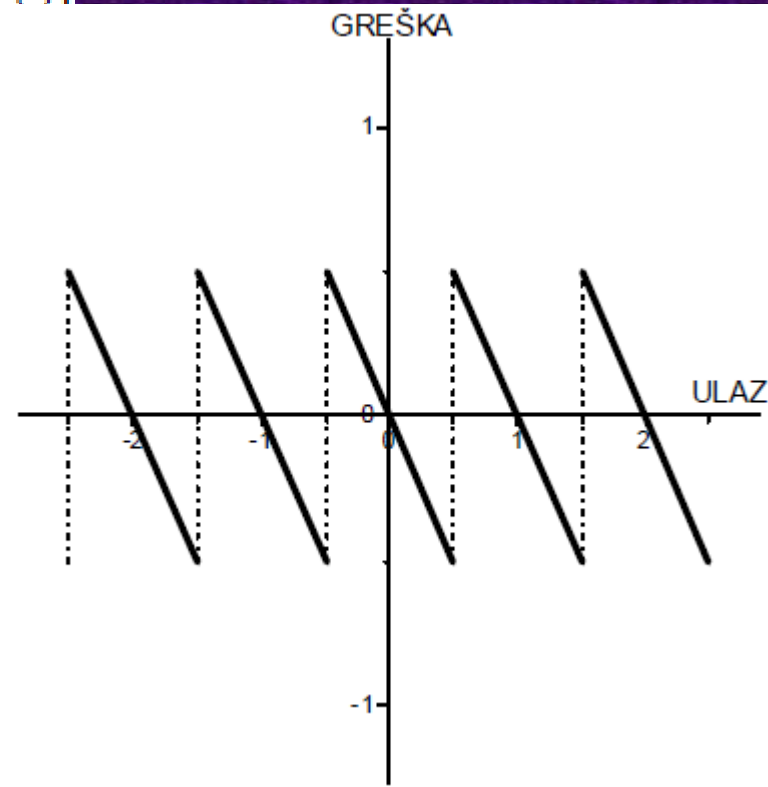
Шум квантизације

- Са овако дефинисаном преносном карактеристиком, квантизацијом неког аналогног сигнала $x(t)$ добија се дискретни сигнал који се може дефинисати као:

$$\hat{x}(t) = Q\{x(t)\} = x(t) + e_q[x(t)]$$

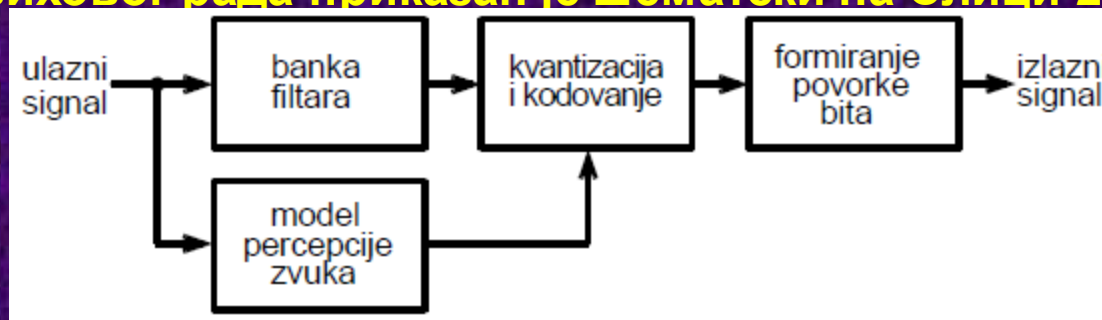
- Овде је $\hat{x}(t)$ квантовани сигнал, а ознака $Q(x)$ представља процес квантизације.
- Види се да се квантовани сигнал састоји од две компоненте: оригиналног сигнала $x(t)$ и сигнала грешке квантовања $e_q[x(t)]$.
- Може се рећи да је сигнал грешке квантовања дефинисан разликом између преносне карактеристике квантизера и идеалне преносне карактеристике (извучене непрекиданом линијом).
- Ова разлика је приказана дијаграмом на Слици 2.8.

Сл. 2.8: Дијаграм величине грешке квантовања у функцији величине улазног сигнала.



Компресија аудио сигнала

- Дигитални облик аудио сигнала отвара могућност за разне трансформације.
- Најважнија међу њима је **компресија података**, која као резултат даје смањење количине података којим је сигнал представљен.
- Показало се да звучни сигнали са аспекта онога што људско уво може да перцепира садрже извесну **редундансу**.
- Уклањање на одговарајући начин те редундансе у подацима даје резултат који под одређеним условима може бити перцептивно нечујан.
- Алгоритми који врше такву компресију заснивају се на познавању механизма процеса слушања и прилагођавања количине информација којом се сигнал репрезентује његовим могућностима.
- То раде такозвани **перцептивни кодери**.
- Принцип њиховог рада приказан је шематски на Слици 29.



Сл. 2.9: Општа блок шема основних поступака у процесу компресије аудио сигнала.

Компресија аудио сигнала

- **Квантизација и кодовање** се врше само са оним компонентама сигнала које се у сложеној слици могу чути и у минималној резолуцији која омогућава нечујност шума квантизације.
- Данас постоји неколико широко прихваћених алгоритама за перцептивно кодовање.
- Од 1988. године постоји експертско тело које је формирано у оквирима међународних организација које је познат под оригиналним називом **Moving Pictures Expert Group(MPEG)**.
- Ова група је 1992 дефинисала први перцептни аудио кодер назван **MPEG-1**.
- Овај алгоритам омогућава да се оригинални сигнал са фреквенцијом одмеравања до **48 kHz** са почетних **705,6 kb/s** по каналу сведе на **128 kb/s**.
- Даља побољшавања алгоритама довела су 1994. године до кодера означеног као **MPEG-2**, који је омогућио да се пет аудио канала пуног опсега сведе на битску брзину **640-900 kb/s**.
- У најширој употреби је **ниво 3** који је познат под скраћеним називом **MP3**. Најзад, 1999. године финализиран је кодер **MPEG-4**.
- Паралелно са кодерима из серије MPEG, фирма Dolby је направила алгоритам означен као **AC-3**. Он је у широкој примени за компресију аудио сигнала који прате филм и видео.