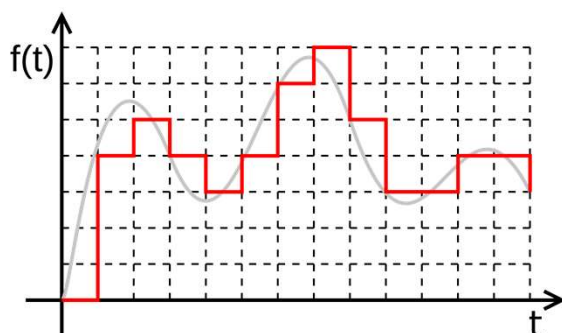




FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ČVUT V PRAZE



ELEKTRONIKA
A KOMUNIKACE



P08 Generace signálu

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY

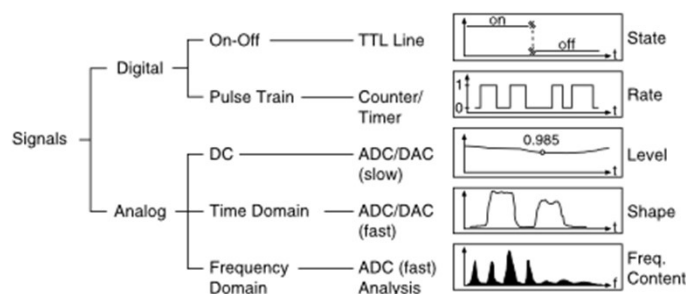
Signál – definice a typy

Signál (z lat. signum, znamení a signalis – užitý jako znamení) se v technice používá v poněkud posunutém významu pro fyzikální veličinu závislou na čase. Může se tak jednat například o signály optické, elektrické, elektromagnetické, akustické, mechanické, pneumatické, nebo hydraulické. Pomocí signálů lze přenášet zprávy – data.

Signál ve **spojitém** čase vs. Signál v **diskrétním** čase

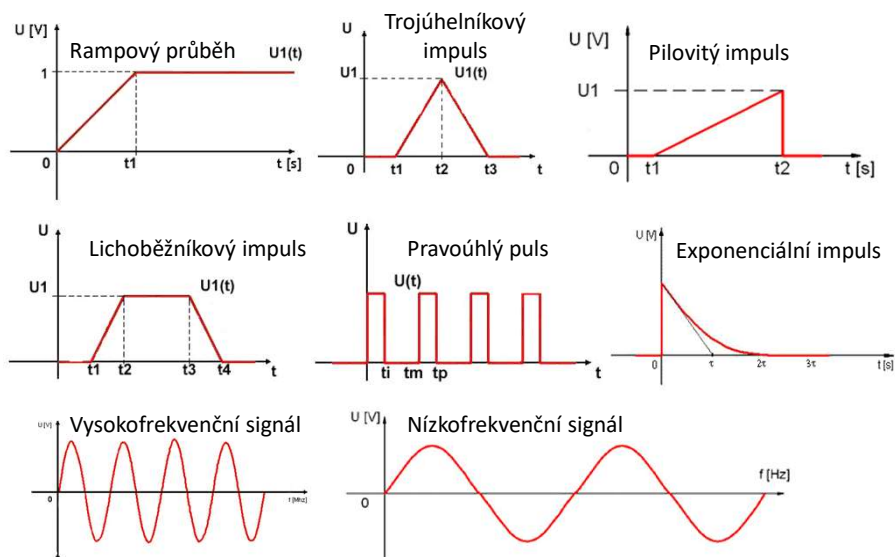
Determinovaný signál vs. **Stochastický** signál

Signál se **spojitou** amplitudou vs. Signál s nespojitou (**diskrétní**) amplitudou



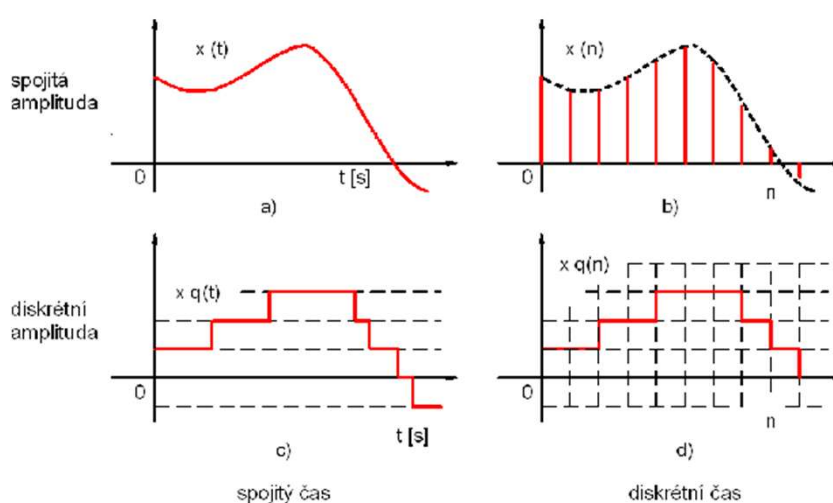
ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Signál – definice a typy



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Analogový/digitální vs. Spojitý/diskrétní

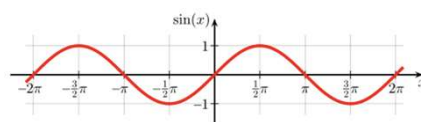


ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Analogový/digitální vs. Spojitý/diskrétní

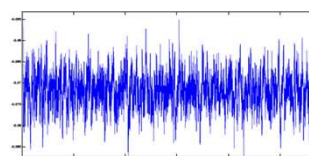
Deterministický signál:

- popíšeme rovnicí např. $y(t) = a \cdot \sin(\omega \cdot t - \phi)$, výjimečně tabulkou nebo grafem
- explicitní analytické vyjádření jednou rovnicí = snazší zpracování
- užitečný signál je zpravidla deterministický



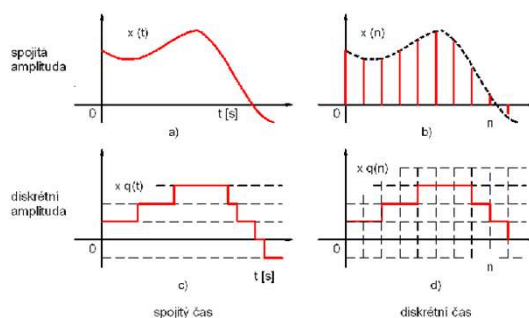
Stochastický signál:

- nelze popsat rovnicí, ale sadou parametrů
- parametry: statistické hodnoty (střední hodnota, rozptyl), rozdělení hustoty pravděpodobnosti
- stochastický signál je zpravidla šum v užitečném signálu



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Analogový/digitální vs. Spojitý/diskrétní



Analogový signál (**spojitý**) je signál, který nabývá nespočetného počtu hodnot.
Číslicový signál (**diskrétní**) je signál, který nabývá spočetného počtu hodnot, tj. jeho hodnoty lze očíslovat, vyjádřit celými čísly a lze je zakódovat do posloupnosti celých čísel.

Signál se spojitým časem je signál, jehož definičním oborem je časový interval.

Posloupnost je signál, jehož definičním oborem je spočetná množina hodnot času.

Nejčastěji jsou to hodnoty času, ve kterých je signál určen **vzorkováním**.

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Spektrum signálu - definice

Frekvenční spektrum signálu = reprezentace signálu řadou harmonických složek.

Grafické vyjádření:

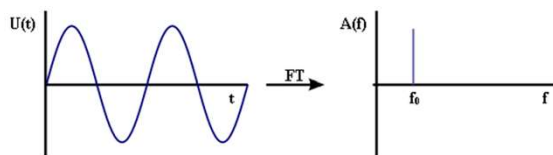
- amplituda frekvenčních složek A na hodnotě frekvence f

Jednoduchý signál $U(t) = \sin(f_0 \cdot t)$

- deterministický
- periodický

Spektrum signálu:

- signál je složen pouze z jedné harmonické složky \sin s frekvencí f_0
- spektrum plně popsáno jediným parametrem f_0



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Spektrum signálu - definice

Frekvenční spektrum signálu = reprezentace signálu řadou harmonických složek.

Grafické vyjádření:

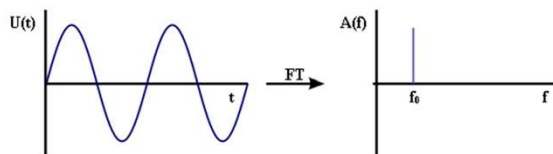
- amplituda frekvenčních složek A na hodnotě frekvence f

Jednoduchý signál $U(t) = \sin(f_0 \cdot t)$

- deterministický
- periodický

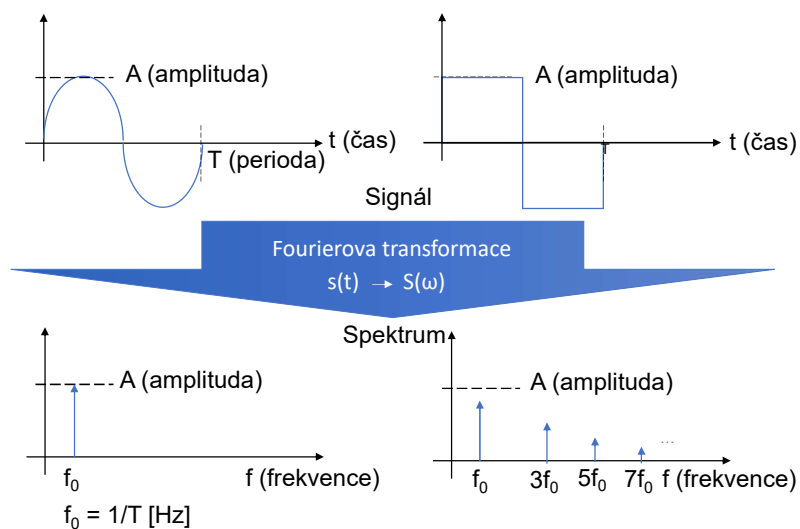
Spektrum signálu:

- signál je složen pouze z jedné harmonické složky \sin s frekvencí f_0
- spektrum plně popsáno jediným parametrem f_0



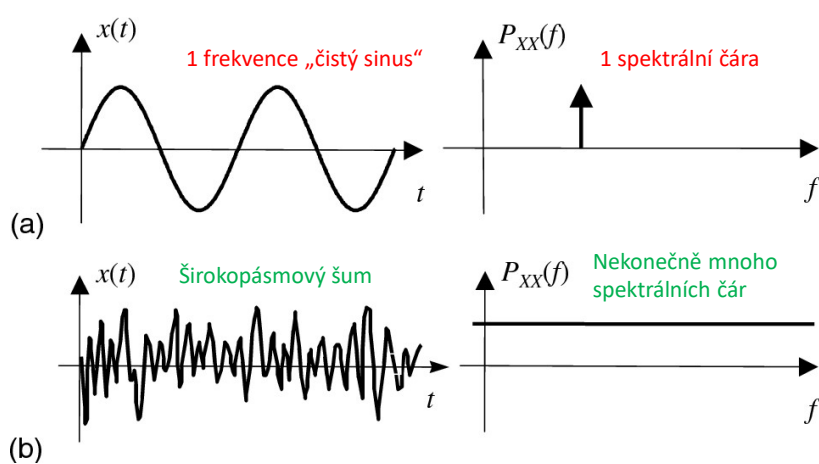
ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Časový průběh vs. spektrum



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Časový průběh vs. spektrum



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Spektrum signálu – harmonický signál

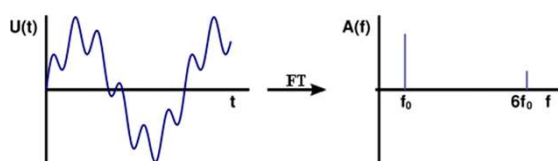
Zobrazení spektra signálu = grafické znázornění energie signálu na dané frekvenci:

Signál složený ze dvou harmonických složek:

- základní harmonická: amplituda = 1, frekvence = f_0
- vyšší harmonická: amplituda = $\frac{1}{4}$, frekvence = $6 \cdot f_0$

$$U(t) = \sin(f_0 \cdot t) + \frac{\sin(6 \cdot f_0 \cdot t)}{4}$$

Průběh signálu $U(t)$ a jeho spektrum $A(f)$:



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

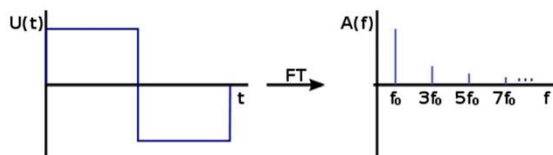
Spektrum signálu – harmonický signál

Signál složený z nekonečného počtu harmonických složek:

- základní harmonická: amplituda = 1, frekvence = f_0
- vyšší harmonické: amplitudy = liché zlomky, frekvence = liché násobky f_0

$$U(t) = \frac{\sin(f_0 \cdot t)}{1} + \frac{\sin(3f_0 \cdot t)}{3} + \frac{\sin(5f_0 \cdot t)}{5} + \frac{\sin(7f_0 \cdot t)}{7} + \frac{\sin(9f_0 \cdot t)}{9} + \frac{\sin(11f_0 \cdot t)}{11} + \dots$$

Průběh signálu $U(t)$ a jeho spektrum $A(f)$:



Ideální obdélníkový signál:

- obsahuje nekonečně rychlé změny z + do – a obráceně \Rightarrow nekonečně mnoho složek spektra

Reálný obdélníkový signál:

- obsahuje konečně rychlé změny z + do – a obráceně \Rightarrow konečně mnoho složek spektra

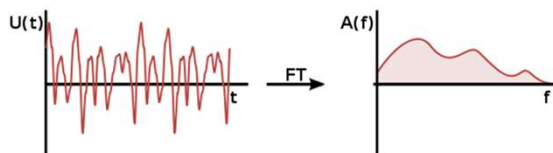
ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Spektrum signálu – šum

Vlastnosti šumu:

- není periodický \Rightarrow neobsahuje harmonické složky
- spektrum spojitého signálu šumu je spojité

Průběh signálu $U(t)$ a jeho spektrum $A(f)$:

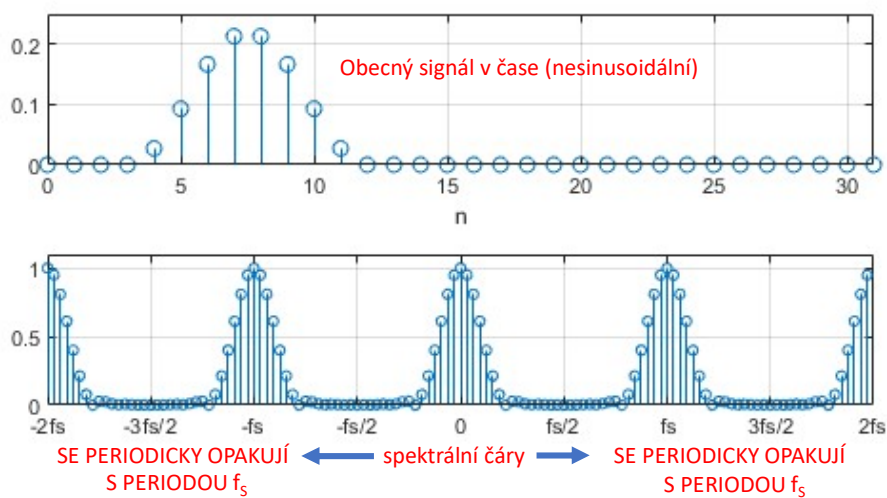


Podle tvaru spektra se rozlišuje typ šumu:

- bílý šum: obsahuje všechny frekvence, rovnoměrná výkonová hustota spektra
- náhodný šum: jde o nezávislý šum typu pepř a sůl
- Gaussův šum: jde o závislý šum, rozložení podle Gaussovy funkce

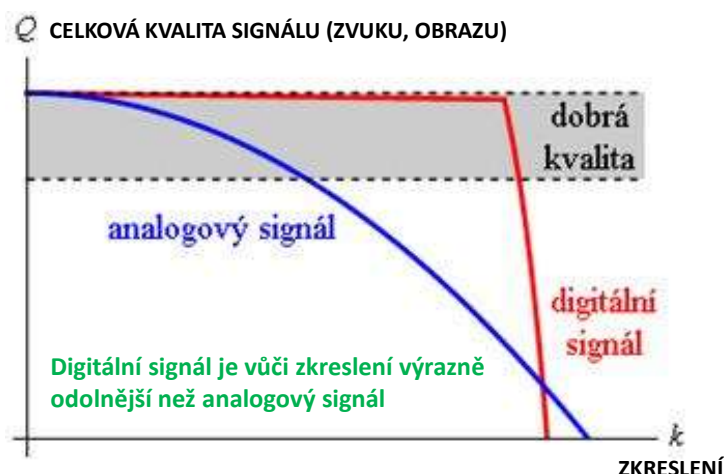
ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Časový průběh vs. spektrum



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Proč chceme digitální signál?



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Proč chceme digitální signál?

Velkou výhodou oproti analogovému signálu ale je, že **digitální signál je tvořen pouze dvěma diskrétními stavy - logickou jedničkou a logickou nulou**. A tyto dva stavy se **od sebe velmi snadno odlišují**. Proto jsme schopni u digitálního signálu případná zkreslení velmi snadno odstranit.

Bude-li totiž nějaká část signálu nečitelná resp. nebude na první pohled zřejmé, zda daná hodnota znamená logickou nulu nebo logickou jedničku, **je snadné rozhodnout, ke které z těchto dvou hodnot má zkoumaná hodnota blíže**. Pokud se tedy při zpracování hodnota signálu trochu porušila, je možné ji po zpracování zase „vrátit“ zpátky na původní hodnotu. A tím omezíme i celkové zkreslení daného signálu.

Digitální signál je méně kvalitní než analogový signál.

Digitální signál totiž obsahuje pouze některé hodnoty z těch, které obsahuje původní analogový signál.

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

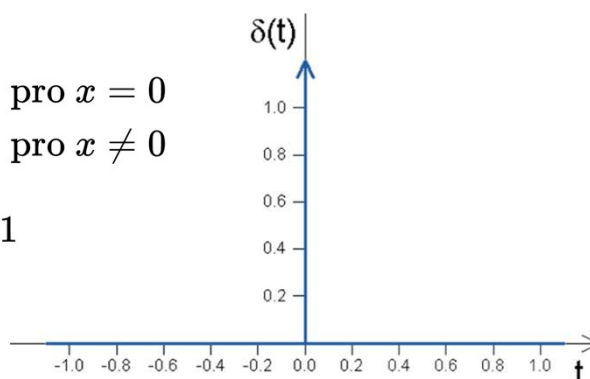
Speciální signály – Diracova funkce

Diracovo delta nebo Diracova funkce se dá neformálně popsat jako funkce, která má **v nule hodnotu nekonečno a všude jinde nulovou**.
Je značena řeckým písmenem delta.

Její **integrál přes celý prostor je roven jedné**.

$$\delta(x) = \begin{cases} +\infty & \text{pro } x = 0 \\ 0 & \text{pro } x \neq 0 \end{cases}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) dx = 1$$



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

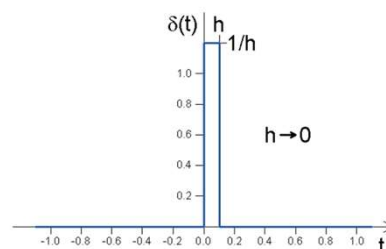
Speciální signály – Diracova funkce

Vlastnosti:

- nerealizovatelný signál: nekonečná amplituda v nulovém čase
- signál lze modelovat impulsem o šířce h a výšce $1/h$ pro $h \rightarrow 0$
- jednotková plocha

$$\delta(x) = \begin{cases} +\infty & \text{pro } x = 0 \\ 0 & \text{pro } x \neq 0 \end{cases}$$

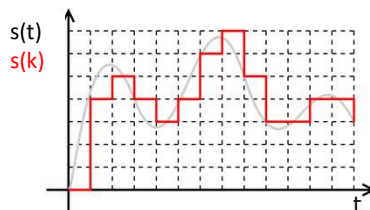
$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) dx = 1$$



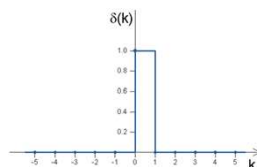
ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Spojité a diskrétní signál

Libovolný diskrétní signál = konečná posloupnost posunutých a násobených Diracových impulsů:



$$s(k) = 4 \cdot \delta(k-1) + 5 \cdot \delta(k-2) + 4 \cdot \delta(k-3) + 3 \cdot \delta(k-4) + 4 \cdot \delta(k-5) + \dots \\ \dots + 6 \cdot \delta(k-6) + 7 \cdot \delta(k-7) + 5 \cdot \delta(k-8) + 3 \cdot \delta(k-9) + 3 \cdot \delta(k-10) + \dots$$



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Vzorkování signálu v čase

Jednotkový impuls: \longrightarrow

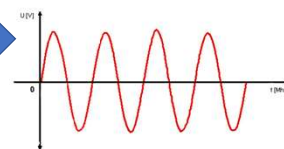
$$\delta(t) = \begin{cases} \infty & \dots t = 0 \\ 0 & \dots t \neq 0 \end{cases}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$$

Vzorkovaný signál... $s(t)$ \longrightarrow

Vzorky... $v(t)$:

$$v(t) = s(t) \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_s)$$

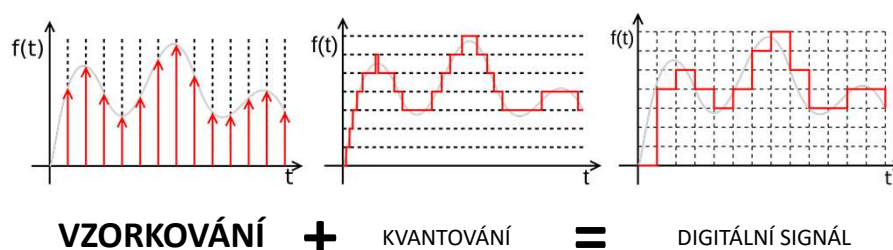


VZORKOVÁNÍ = NÁSOBENÍ VZORKOVANÉHO SIGNÁLU DIRAKOVÝM SIGNÁLEM

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

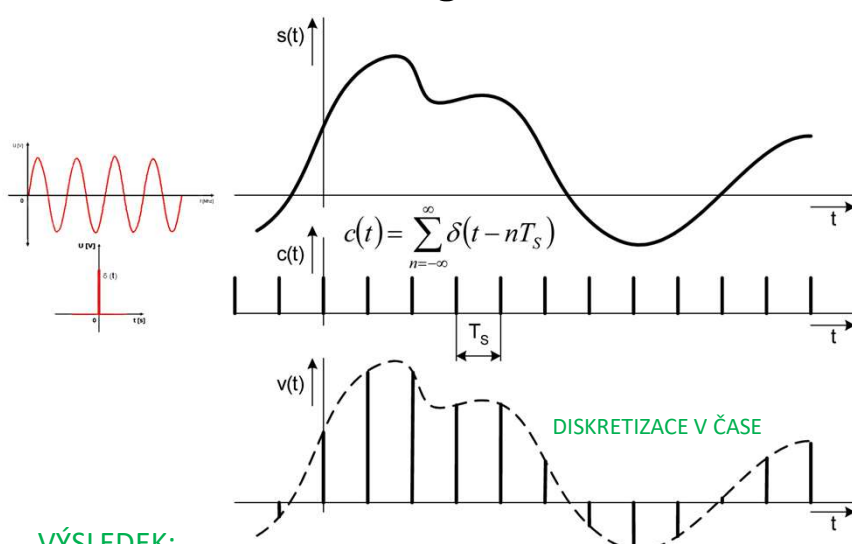
Vzorkování signálu v čase

Vzorkování signálu popisuje proces **diskretizace** signálu, kdy je určitý **kontinuální signál převeden do digitální podoby**.



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Ideální vzorkování signálu v čase



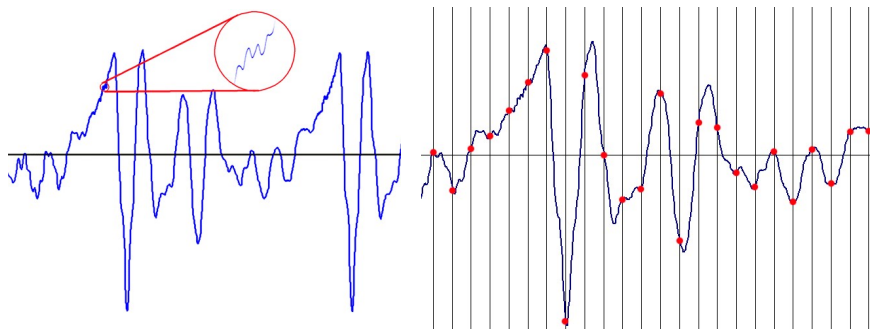
VÝSLEDEK:
ANALOGOVÉ HODNOTY V DISKRÉTNÍCH ČASOVÝCH OKAMŽICÍCH

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Ideální vzorkování signálu v čase

Mějme signál s průběhem, jako je zobrazeno na obrázku, který má být vzorkován.

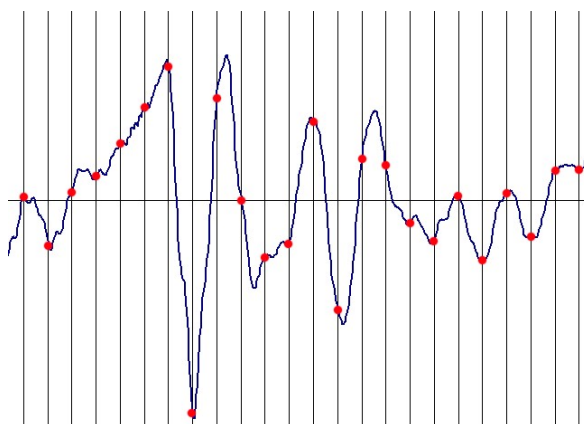
Vzorkování signálu se pak provede tak, že se horizontální osa rozdělí na malé, stejně dlouhé úseky a v každém tomto malém úseku se zaznamená intenzita signálu, viz obrázek níže, kde jsou zaznamenané hodnoty signálu znázorněny červenými tečkami.



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

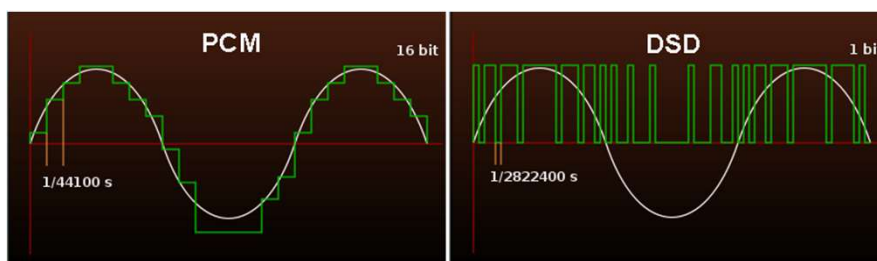
Ideální vzorkování signálu v čase

Čím menší bude **délka** každého úseku, **tím jemněji** bude **vzorkován** signál, **tím více detailů** bude v signálu zaznamenáno.



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Ideální vzorkování signálu v čase



**Vzorkování u CD a SuperAudioCD
44 kHz vs. 2,8 MHz**

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Ideální vzorkování signálu v čase

Vzorkovací frekvence f_s :

- vzorkování = vždy dochází ke ztrátě informace
- **vhodná volba f_s = minimalizace ztráty informace**

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

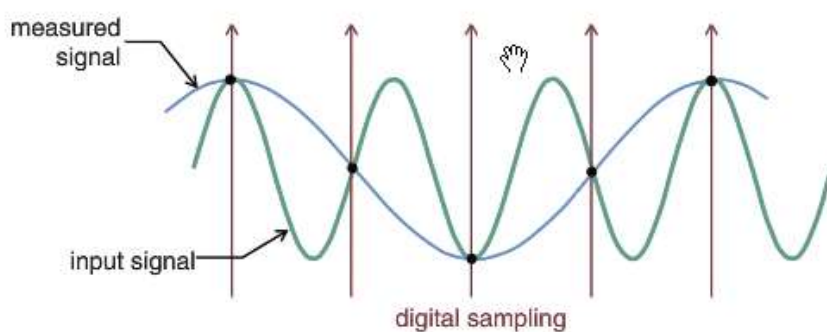
Ideální vzorkování signálu v čase

Příklad: signál se sinusoidálním průběhem, viz obrázek.

Okamžiky vzorkování znázorněny červenou barvou.

Původní křivka je pak vzorkována v čase černých bodů.

Průběh křivky je odlišný od původní. To je způsobeno tzv. podvzorkováním.



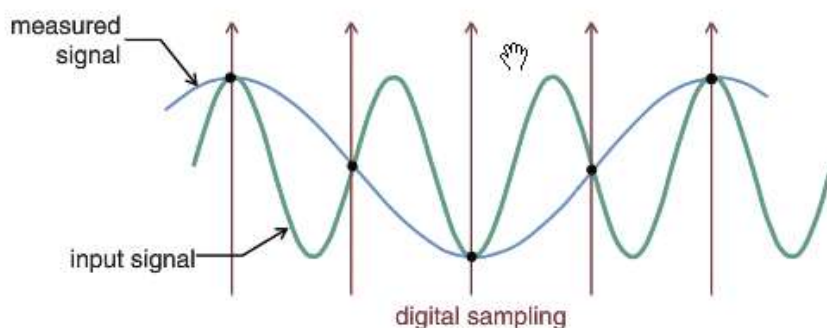
ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Ideální vzorkování signálu v čase

Průběh křivky je odlišný od původní. To je způsobeno tzv. podvzorkováním.

Frekvence vzorkovaného signálu je vyšší, tzn. sinusoidální křivka je „hustější“ než vzorkování, tzn. dojde ke zkreslení.

Podvzorkování se vyskytuje v případech, kdy signál není dostatečně jemně „sampler“ neboli vzorkován k tomu, aby byly získány všechny frekvence v signálu.

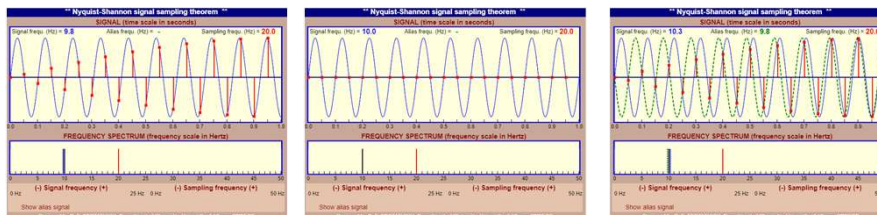


ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Ideální vzorkování signálu v čase

Pokud f_s je vzorkovací frekvence, potom maximální vzorkovatelná frekvence f_N je definována jako $f_s/2$. Nazýváme toto **Nyquistovým limitem nebo frekvencí**. Někdy je popisováno jako $f_s > 2f_{MAX}$, tzn. že vzorkovací frekvence musí být alespoň 2x větší, než maximálně vzorkovatelná frekvence.

Podmínka označována jako tzv. **Nyquistův–Shannonův vzorkovací teorém**



$$f_s > 2f_{MAX}$$

$$f_s = 2f_{MAX}$$

$$f_s < 2f_{MAX}$$

Přenos hlasu 8 kHz pro přenos signálu ve standardním pásmu od 0,3 do 3,4 kHz.
U záznamu zvuku na CD je to 44,1 kHz, neboť zdravé lidské ucho slyší zvuk o frekvenci maximálně 20 kHz.

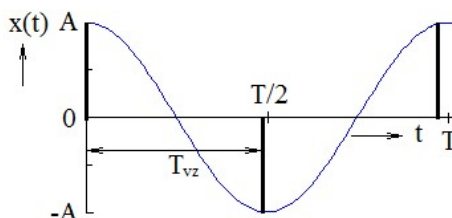
ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Ideální vzorkování signálu v čase

Pokud f_s je vzorkovací frekvence, potom maximální vzorkovatelná frekvence f_N je definována jako $f_s/2$. Nazýváme toto **Nyquistovým limitem nebo frekvencí**. Někdy je popisováno jako $f_s > 2f_{MAX}$, tzn. že vzorkovací frekvence musí být alespoň 2x větší, než maximálně vzorkovatelná frekvence.

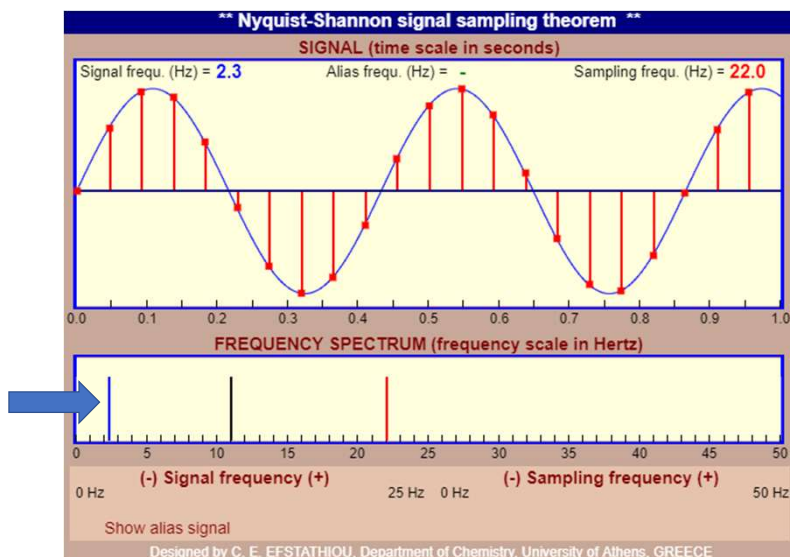
Podmínka označována jako tzv. **Nyquistův–Shannonův vzorkovací teorém**

„Přesná rekonstrukce spojitého, frekvenčně omezeného signálu z jeho vzorků je možná tehdy, pokud byla vzorkovací frekvence vyšší než dvojnásobek nejvyšší harmonické složky vzorkovaného signálu“



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

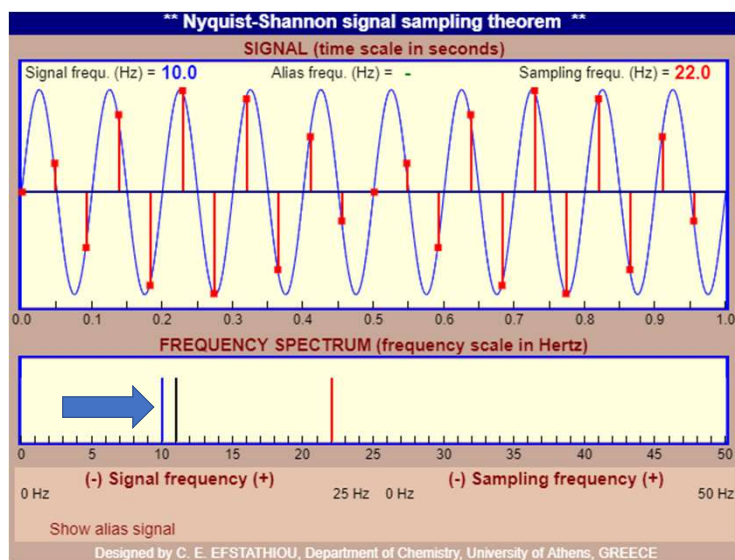
Ideální vzorkování signálu v čase



http://195.134.76.37/applets/AppletNyquist/App1_Nyquist2.html

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

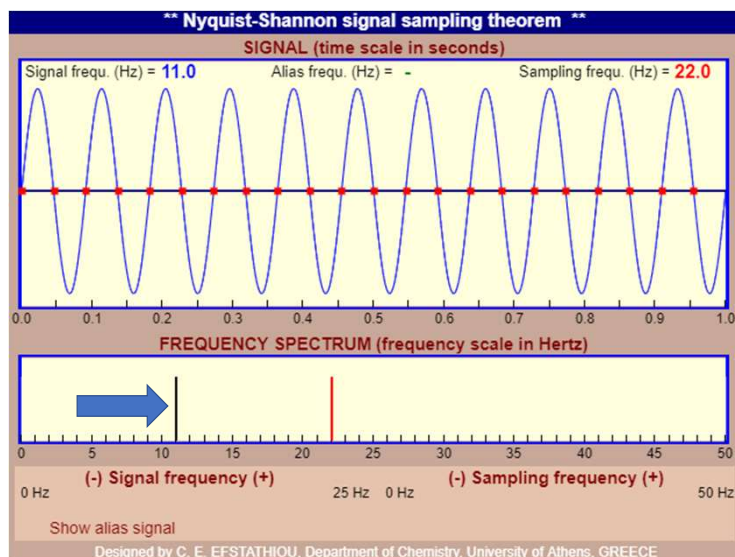
Ideální vzorkování signálu v čase



http://195.134.76.37/applets/AppletNyquist/App1_Nyquist2.html

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

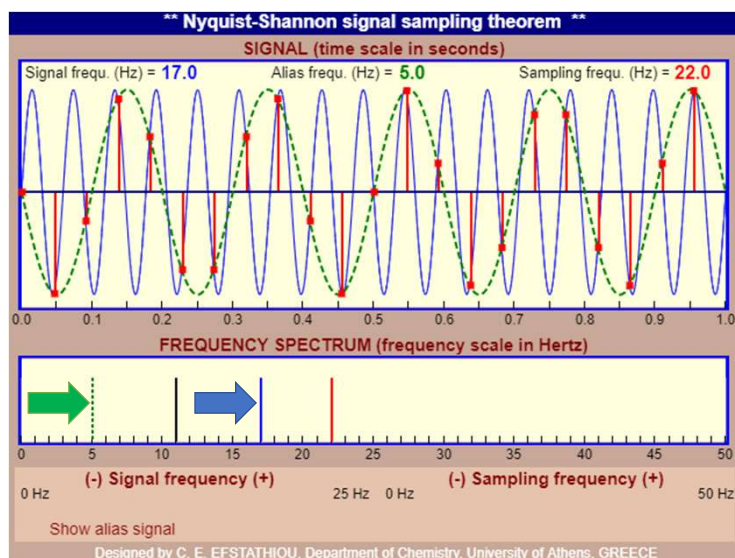
Ideální vzorkování signálu v čase



http://195.134.76.37/applets/AppletNyquist/App1_Nyquist2.html

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

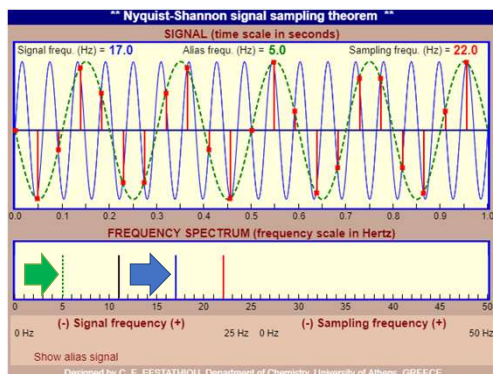
Ideální vzorkování signálu v čase



http://195.134.76.37/applets/AppletNyquist/App1_Nyquist2.html

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Aliasing = „falšování“



Signal frequ. (Hz) = 17.0

Sampling frequ. (Hz) = 22.0

$$f_s > 2f_{MAX}$$

V případě použití nižší vzorkovací frekvence může dojít k tzv. **aliasingu**, kdy rekonstruovaný signál je výrazně odlišný od původního vzorkovaného signálu.

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

http://195.134.76.37/applets/AppletNyquist/App1_Nyquist2.html

Aliasing = „falšování“



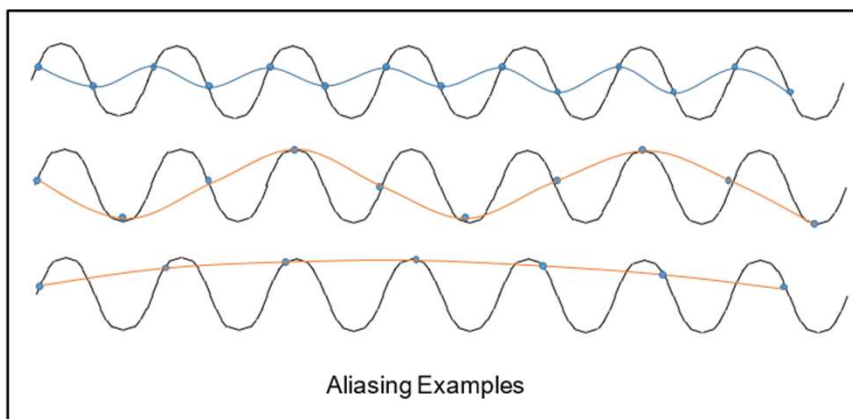
Výsledná animace hodin
snímaných po 10 minutách



Výsledná animace hodin
snímaných po 50 minutách

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Aliasing = „falšování“



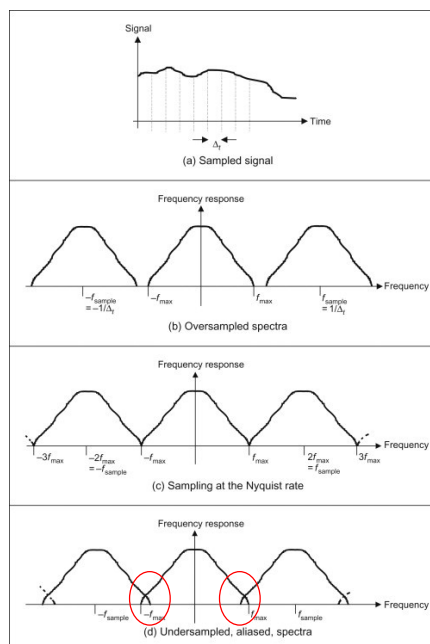
ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Aliasing = „falšování“

VZORKOVÁNO SPRÁVNĚ

VZORKOVÁNO NA HRANĚ

ALIASING, PODVZORKOVÁNO



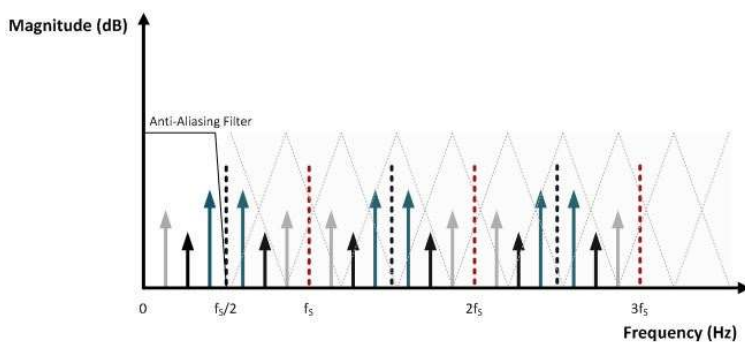
ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Aliasing = „falšování“

Aliasingu je nutné předcházet, protože pokud k němu dojde, jeho následky se odstraňují jen velmi těžce.

Proto se před převodník spojitého signálu na diskretní ve většině případů zařazuje tzv. **antialiasingový filtr**, který má za úkol odfiltrovat frekvence vyšší než odpovídají Shannonovu teorému.

Je to **dolní propust** realizovaná v případě běžných A/D převodníků jako analogový frekvenční filtr.

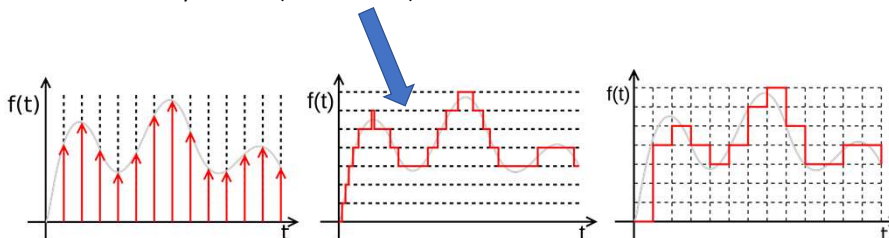


ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Kvantování signálu v hodnotách

Kvantování je diskretizace oboru hodnot signálu. Je to obecně proces ztrátový a nevratný.

Kvantizační hladiny lineární (ekvidistantní) a nelineární

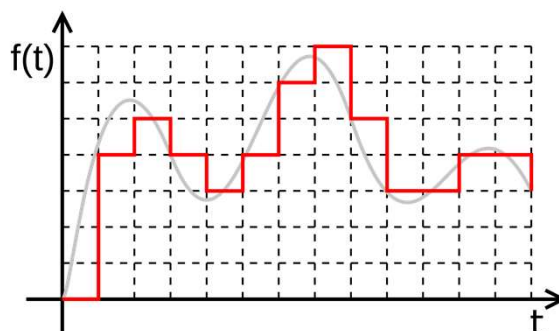


VZORKOVÁNÍ + KVANTOVÁNÍ = DIGITÁLNÍ SIGNÁL

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Digitální signál

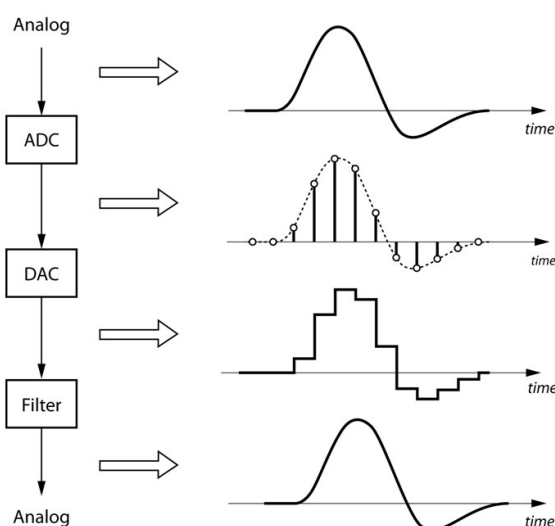
Diskrétní signál v čase i hodnotách



VZORKOVÁNÍ + KVANTOVÁNÍ = DIGITÁLNÍ SIGNÁL

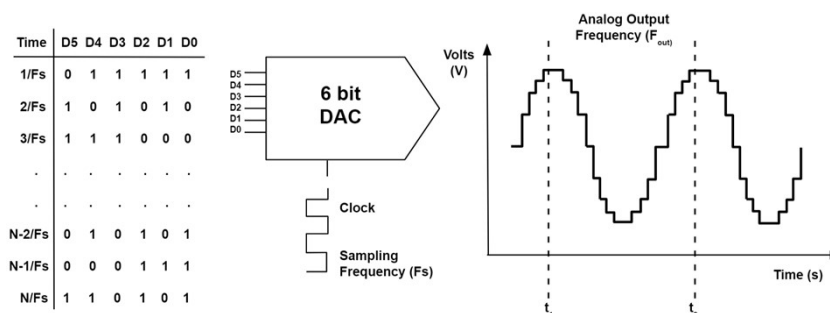
ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

Typická cesta audio/video signálu



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

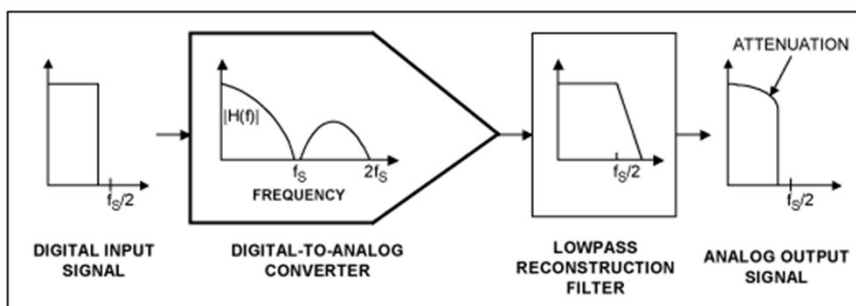
Digitální signál zpět na analogový pomocí DAC (Digital to Analog Converter)



Neideální průběh výstupu \Rightarrow potřeba vyhlazovacího filtru

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

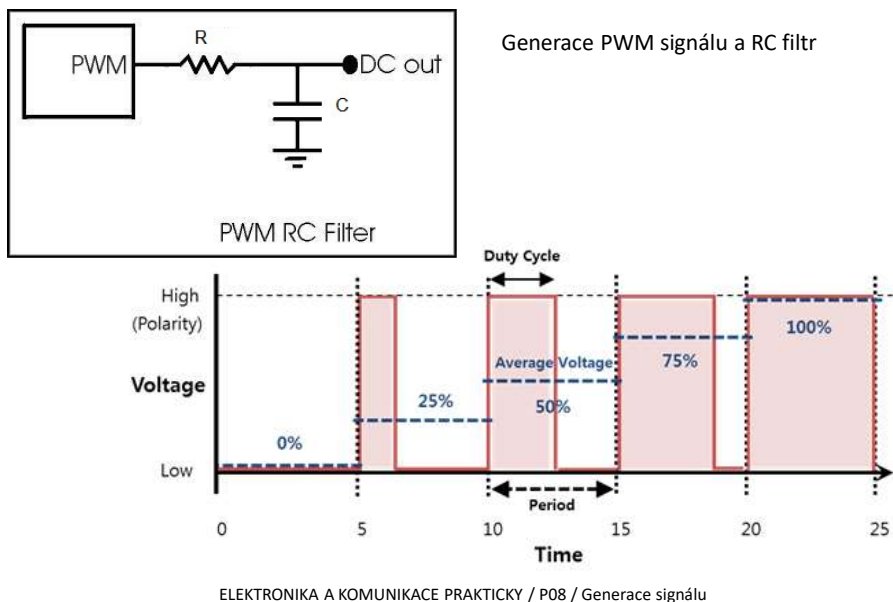
Digitální signál zpět na analogový pomocí DAC (Digital to Analog Converter)



Neideální průběh výstupu \Rightarrow potřeba vyhlazovacího filtru

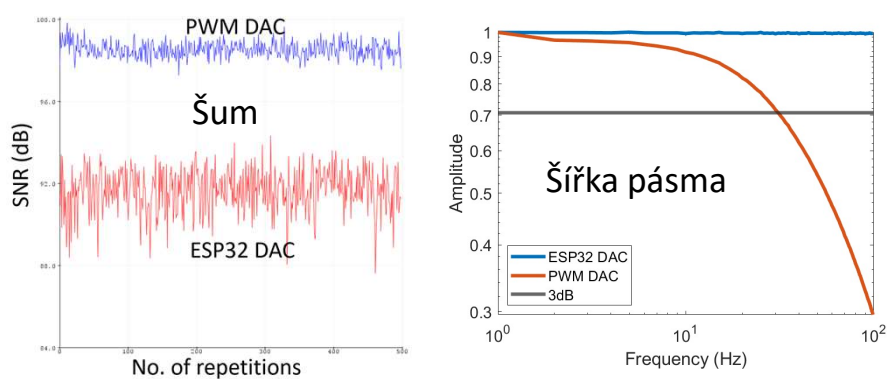
ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

DAC u ESP32 pomocí PWM + filtr RC



DAC u ESP32 pomocí PWM + filtr RC

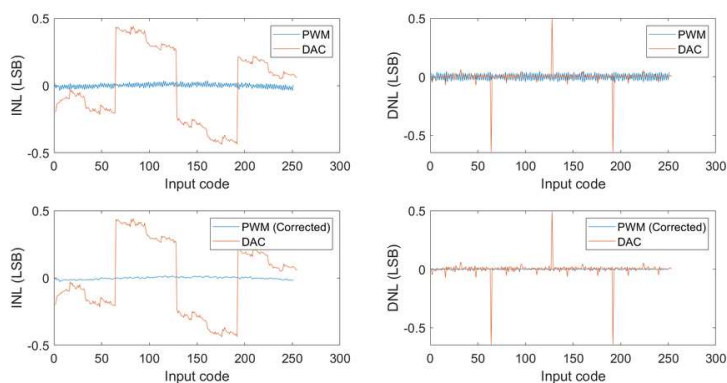
Generace PWM signálu a RC filtr



DAC u ESP32 pomocí PWM + filtr RC

Generace PWM signálu a RC filtr

Chyby převodníků PWM vs. interní DAC



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

DAC u ESP32 pomocí PWM + filtr RC

```
int pwmChannel = 0; // Selects channel 0
int frequency = 1000; // PWM frequency of 1 KHz
int resolution = 8; // 8-bit resolution, 256 possible values
int pwmPin = 23;

void setup(){
    // Configuration of channel 0 with the chosen frequency and resolution
    ledcSetup(pwmChannel, frequency, resolution);

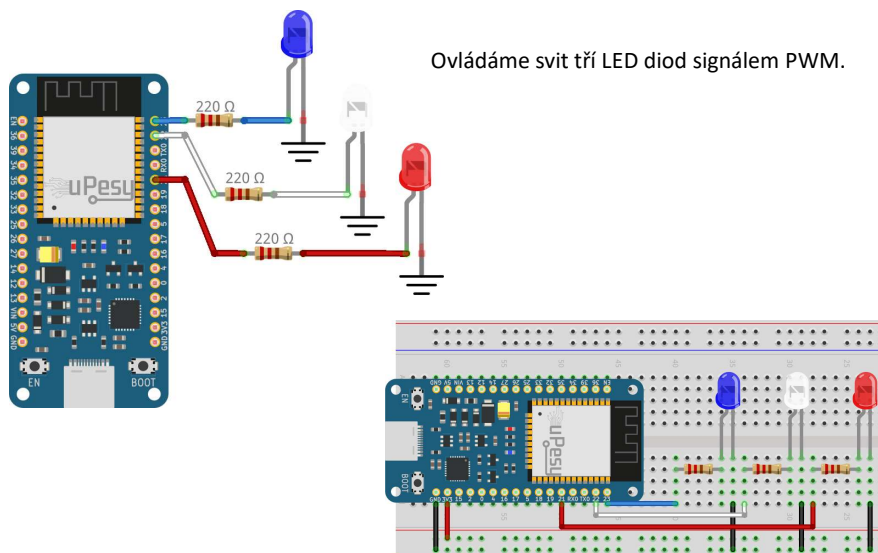
    // Assigns the PWM channel to pin 23
    ledcAttachPin(pwmPin, pwmChannel);

    // Create the selected output voltage
    ledcWrite(pwmChannel, 127); // 1.65 V
}

void loop(){
}
```

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

DAC u ESP32 pomocí PWM + filtr RC



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

DAC u ESP32 pomocí PWM + filtr RC

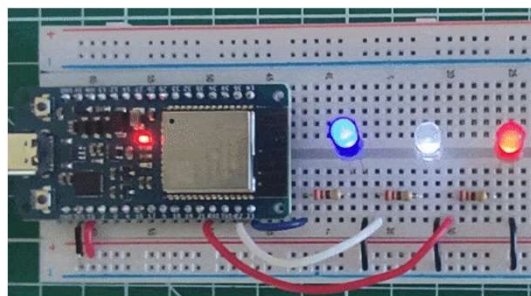
```
const int ledPin = 23;
const int ledPin2 = 22;
const int ledPin3 = 21;
```

```
// PWM channel 0 parameter
const int freq = 5000; // 5000 Hz
const int ledChannel = 0;
const int resolution = 8; // 8-bit resolution
```

```
void setup(){
  // Configure the channel 0
  ledcSetup(ledChannel, freq, resolution);

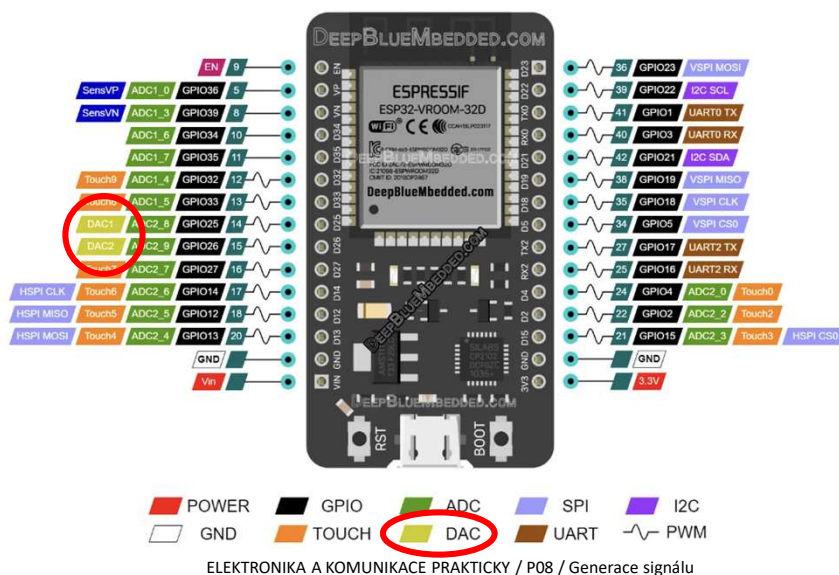
  // Attach the channel 0 on the 3 pins
  ledcAttachPin(ledPin, ledChannel);
  ledcAttachPin(ledPin2, ledChannel);
  ledcAttachPin(ledPin3, ledChannel);
}
```

```
void loop(){
  // Increase the brightness of the led in the loop
  for(int dutyCycle = 0; dutyCycle <= 255; dutyCycle++){
    ledcWrite(ledChannel, dutyCycle);
    delay(15);
  }
}
```



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

DAC u ESP32 (2x 8bit, rozsah 200 mV – 3,2 V)



DAC u ESP32 (2x 8bit, rozsah 200 mV – 3,2 V)

Generace statického napětí

```
#define DAC1 25

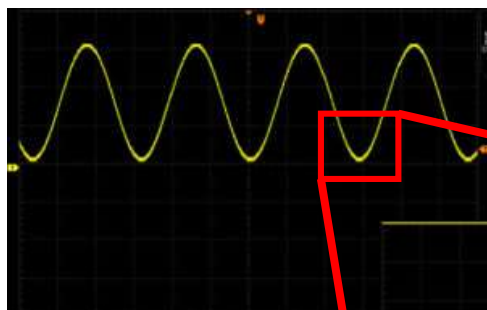
void setup() {
  Serial.begin(115200);
}

void loop() { // Generate a static voltage
  int Value = 255; //255= 3.3V 128=1.65V

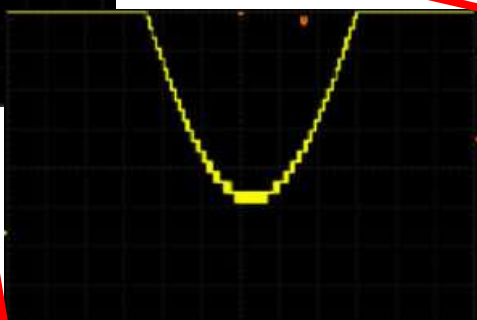
  dacWrite(DAC1, Value);
  delay(1000);
}
```

ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

DAC u ESP32 (2x 8bit, rozsah 200 mV – 3,2 V)



Rychlost generace
sinového signálu
130(130 Hz) ~ 55000(100 kHz).



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

DAC u ESP32 (2x 8bit, rozsah 200 mV – 3,2 V)

```
int SineValues[256];    // an array to store our values for sine

void setup()
{
    float ConversionFactor=(2*PI)/256;    // convert my 0-255 bits in a circle to radians
                                           // there are 2 x PI radians in a circle hence the 2*PI
                                           // Then divide by 256 to get the value in radians
                                           // for one of my 0-255 bits.
    float RadAngle;        // Angle in Radians
    // calculate sine values
    for(int MyAngle=0;MyAngle<256;MyAngle++) {
        RadAngle=MyAngle*ConversionFactor;    // 8 bit angle converted to radians
        SineValues[MyAngle]=(sin(RadAngle)*127)+128; // get the sine of this angle and 'shift' up so
                                                    // there are no negative values in the data
                                                    // as the DAC does not understand them and would
                                                    // convert to positive values.
    }
}

void loop()
{
    for(int i=0;i<256;i++)
        dacWrite(25,SineValues[i]);
}
```



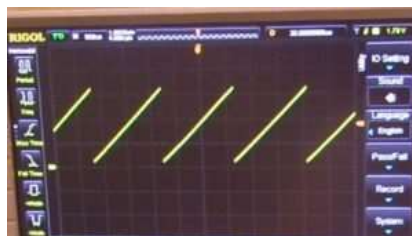
ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

DAC u ESP32 (2x 8bit, rozsah 200 mV – 3,2 V)

```

4 void setup()
5 {}
6
7 void loop()
8 { for(int i=0;i<256;i++)
9   dacWrite(25,i);}

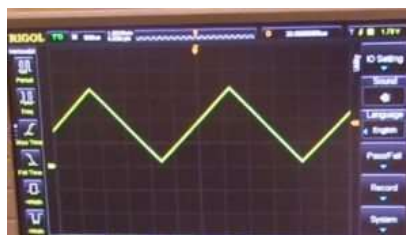
```



```

6 void setup()
7 {}
8
9 void loop()
10 { for(int i=0;i<256;i++)
11   dacWrite(25,i);
12   for(int i=254;i>0;i--)
13     dacWrite(25,i);}

```



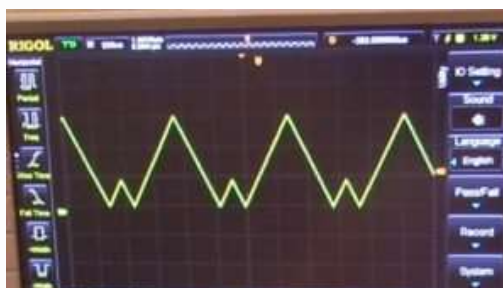
ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu

DAC u ESP32 (2x 8bit, rozsah 200 mV – 3,2 V)

```

6 void setup()
7 {
8 }
9
10 void loop()
11 {
12   for(int i=0;i<256;i+=2)
13     dacWrite(25,i);
14   for(int i=254;i>0;i-=2)
15     dacWrite(25,i);
16   for(int i=1;i<75;i+=2)
17     dacWrite(25,i);
18   for(int i=74;i>0;i-=2)
19     dacWrite(25,i);
20 }

```



ELEKTRONIKA A KOMUNIKACE PRAKTICKY / P08 / Generace signálu