

# Analogově digitální a digitálně analogový převod



## Tento článek je určen pro studenty navazujícího magisterského studia

Prosíme, neprovádějte věcné editace, nemáte-li potřebnou kvalifikaci.  
Editujte s rozvahou. Věcné změny nejprve projednejte v diskusi.

Většina medicínsky významných biosignálů má spojitý charakter, tedy mohou nabývat prakticky libovolné hodnoty z nějakého intervalu. Oproti tomu dnešní počítače jsou výhradně číslicové, tedy pracují jen s diskrétními hodnotami. Naopak někdy je třeba číslicová data z počítače převést na hodnotu spojitě veličiny. Konkrétní technická realizace je zajímavá, ovšem pro zdravotnické odborníky není důležitá. Důležité je, aby zdravotník znal zhruba princip a omezení.

## Analogově digitální převod

Předpokládáme, že spojitý napěťový signál nese informaci v hodnotě svého napětí<sup>[pozn. 1]</sup>. Budeme předpokládat, že se napětí může měnit v rozsahu 0 až 5 V. Analogový (spojitý) signál může v principu nabývat nekonečně mnoha hodnot. Cenou za to je ovšem poměrně vysoká citlivost na poruchy a šum různého původu. Tak například na vedení se může indukovat proud z elektrické sítě (tzv. brumové napětí) Změna teploty vede ke změně odporu vodičů, elektrické součástky stárnou a mění se jejich parametry, atd. Digitální signál, nejlépe binární (tj. jen např. 0 nebo 5 V<sup>[pozn. 2]</sup>), je naopak vůči těmto poruchám velmi odolný, protože úroveň šumu jen zcela výjimečně dosáhne takových hodnot, aby došlo k omylu v interpretaci.

Představme si nyní, že chceme toto napětí změřit a zapsat do paměti, když máme k dispozici např. jeden byte. Běžný způsob je ten, že nejmenší hodnotu (0) přiřadíme nejmenšímu napětí a největší hodnotu (255) největšímu napětí. Tedy v našem případě bude pro digitální reprezentaci  $D$  napětí  $U$  platit:

$$D = \text{ceil}(51 \cdot U)$$

, kde funkce ceil značí celou část argumentu.

A zde se dostáváme k prvnímu omezení analogově digitálního převodu. Hodnota se zaokrouhluje, a tedy existuje jisté malé napětí, které převodník nerozliší. V našem případě je to přibližně 20 mV (jako cvičení si může laskavý čtenář ověřit). Jevu, kdy převodník ztrácí informace o malých změnách digitalizovaného signálu, se říká kvantovací chyba.

Kvantovací chyba je velmi důležitá při studiu nasazení. Pokud budou diagnosticky významné změny v biosignálu srovnatelné s kvantovací chybou, dojde při digitalizaci k jejich potlačení.

Další slabé místo analogově digitálního převodu tkví ve vlastní technické realizaci. Obvyklé typy převodníků provádějí převod tak, že jsou jednotlivé bity výsledného digitálního čísla stanovovány postupně. Teoretický problém spočívající ve změně převáděné hodnoty během převodu je většinou vyřešen technickými prostředky uspokojivě. Problémem je v tom, že převod trvá poměrně dlouhou dobu a je tím pomalejší, čím větší počet bitů má mít výstup, tedy čím menší je požadovaná kvantovací chyba. Řečeno jinými slovy, pokud chceme digitalizovat příliš rychle se měnící signály, je z technických důvodů omezená citlivost měření a naopak.<sup>[pozn. 3]</sup>

Poslední a potenciálně velmi významným zdrojem chyb jsou změny parametrů součástek v převodníku (velmi přesné děliče napětí, operační zesilovače,...). U nových převodníků toto garantuje výrobce, ale v případě použití např. ve výzkumné praxi je žádoucí průběžně kontrolovat tzv. linearitu převodu.

S problematikou analogově digitálního převodu souvisí problematika vzorkování, tedy vlastně diskretizace času a omezení znalosti o hodnotě napětí jen na hodnoty v daných časových bodech. Zajímavou úlohou byla otázka, jakou nejmenší frekvenci může mít vzorkování (smplování), aby ve vzorkovaném signálu byla obsažena veškerá informace z původního signálu. Řešení je známo jako Shanon-Kotelnikovův teorém, Nyquistova věta nebo vzorkovací věta, výsledek je překvapivě jednoduchý. Postačuje, aby byla vzorkovací (smplovací) frekvence dvojnásobkem nejvyšší harmonické ve Fourierovském spektru signálu. Z řady technických důvodů však toto nepostačuje a obvykle se volí vzorkovací frekvence vyšší.<sup>[pozn. 4]</sup>

## Digitálně analogový převod

Digitální převod je poměrně složitý co se týče principu i zdroje možných chyb. Digitálně analogový převod je mnohem jednodušší. Jde často o ovládání poměrně výkonných součástek, kdy dbáme pouze na bezpečnostní prvky.

V řadě aplikací, a to i medicínských, je výhodnější přímý převod digitálního signálu na žádanou fyzikální veličinu. Roli D/A převodu tak přebírá např. krokový motor (otáčky, posun), zapínání a vypínání topného tělesa (ohřev) nebo řízení rychlým střídáním stavu "zapnuto" a "vypnuto" (regulace jasu LED diod).

## Odkazy

## Poznámky pod čarou

1. O napěťovém signálu hovoříme z toho důvodu, že se s takovým signálem obvykle pracuje nejlépe. Navíc řada biosignálů je již z podstaty napěťových (EKG, EEG) a snímače dalších biosignálů mají jako výstup elektrické napětí nebo proud.
2. Nejde o zcela náhodnou volbu. Jde o tzv. TTL logiku používanou v číslicové technice, kde hodnota *logická 0* je přiřazena napětí  $0\text{ V}$  a hodnota *logická 1* je přiřazena napětí  $5\text{ V}$ . Jen pro úplnost zmiňujeme, že nejde o jediný systém a např. procesory osobních počítačů používají nižší napěťové úrovně.
3. Toto je jeden z hlavních důvodů, proč je problematické použití audio vstupů osobního počítače např. k digitalizaci většiny biosignálů a je třeba používat dražšího hardware, např. měřící karty.
4. Tak například v digitální hudbě by mělo teoreticky stačit, aby byla smplovací frekvence záznamu  $40\text{ kHz}$ . Vzhledem ke kvantovacímu šumu a k tomu, že ve výsledku chceme opět převádět signál na analogový na ne zcela ideálním převodníku, používá se vzorkovací frekvence  $44,1\text{ kHz}$  (zvuková CD) spíše pro koncové uživatele, zatímco pro profesionální účely se používá mnohem vyšších frekvencí.

## Odkazy

- AD a DA převodníky na WikiKnihách
- HÁZE, Jiří a Vladimír VRBA, et al. *Teorie vzájemného převodu analogového a číslicového signálu* [online]. FEKT VUT Brno, Poslední revize 10.2.2010, [cit. 2.9.2013].  
<[https://www.umel.feec.vutbr.cz/MTVP/prednasky/AD\\_DA\\_scripta.pdf](https://www.umel.feec.vutbr.cz/MTVP/prednasky/AD_DA_scripta.pdf)>.

## Literatura

- HAASZ, Vladimír a Miloš SEDLÁČEK. *Elektrická měření – Přístroje a metody*. 1. vydání. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01717-6.