

# Převodníka A/D a D/A

## A/D převodník

**Analogově digitální převodník** (zkratky A/D, v angličtině i ADC) je elektronická součástka určená pro převod spojitého (neboli analogového) signálu na signál diskrétní (neboli digitální). Důvodem tohoto převodu je umožnění zpracování původně analogového signálu na číslicových počítačích. Mezi nimi v současnosti převažují digitální signální procesory DSP, které jsou právě na zpracování takových signálů specializované. V digitální podobě se také dají signály daleko kvalitněji zaznamenávat a přenášet. Opačný převod z digitálního signálu na analogový zajišťuje D/A převodník.

### **Princip převodu**

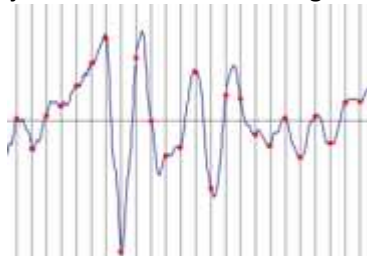
Převod spojitého signálu na diskretní sestává ze dvou fází. Nejprve se provede **vzorkování** signálu, a potom následuje **kvantování**.

#### **Vzorkování**



Ukázka spojitého signálu se zvětšeným detailem

Úsek spojitého signálu se sice dá donekonečna zvětšovat a pozorovat tak jeho nekonečně malé detaily, ale protože počítače mají pouze konečnou kapacitu paměti a ani nejsou nekonečně rychlé, musíme se u reálného vzorkování při A/D převodu omezit pouze na nezbytně nutné množství vzorků, které budeme dále zpracovávat. Na obrázku je cca 15ms zvukového signálu odpovídajícího malému úseku zvuku hlásky „Á“.



Vzorkování spojitého signálu

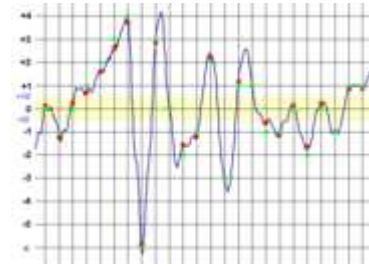
Vzorkování se provede tím způsobem, že rozdělíme vodorovnou osu sinálu (v našem příkladu je na této ose čas) na rovnoměrné úseky a z každého úseku odebereme jeden vzorek (na obrázku jsou tyto vzorky znázorněny červenými kolečkami). Je přitom zřejmé, že tak z původního signálu ztratíme mnoho detailů, protože namísto spojité čáry, kterou lze donekonečna zvětšovat dostáváme pouze množinu diskretních bodů s intervalem odpovídajícím použité vzorkovací frekvenci.

### **Aliasing**

Chyba vzorkování může ovšem být ještě daleko horší. Pokud se totiž v původním spojitém signálu vyskytuje frekvence vyšší než je polovina vzorkovací frekvence (nazývaná též Nyquistova frekvence), dojde, jak praví Shannonův teorém, k úplnému a nenávratnému zkreslení signálu díky jevu nazývanému se aliasing. Aliasingu se dá zabránit jedině takzvaným antialiasing filtrem, což je dolní propust' zařazená před převodníkem. Ta nedovolí frekvencím vyšším než je Nyquistova frekvence vstoupit do převodníku.

Například u záznamu hudby na CD je použita vzorkovací frekvence 44,1kHz, takže na CD mohou být zachyceny frekvence zhruba do 22kHz. Vzhledem k tomu, že rozsah frekvencí slyšitelný lidským uchem se uvádí jako 20Hz - 16kHz, je tak na CD možno zaznamenat slyšitelné spektrum v celé šíři.

## Kvantování



Kvantování vzorků signálu

Vzhledem k tomu, že počítače a další zařízení dále zpracovávající digitální signál umí vyjádřit čísla pouze s omezenou přesností, je potřeba navzorkované hodnoty upravit i na svislé ose. Protože se hodnota vzorku dá vyjádřit pouze po určitých kvantech, nazýváme tuto fázi A/D převodu kvantování.

Na obrázku může veličina na svislé ose například nabývat pouze celočíslných hodnot. Aby bylo možné určit, které hodnoty má po kvantování nabývat určitý vzorek, je třeba rozdělit prostor kolem jednotlivých hodnot na toleranční pásy (jeden takový pás je naznačen kolem hodnoty 0). Kterémukoliv vzorku, který padne do daného tolerančního pásu, je při kvantování přiřazena daná hodnota. Kvantované hodnoty jsou na obrázku naznačeny zelenými kolečky. Jak je vidět, kvantované hodnoty se ve většině případů liší od skutečných navzorkovaných hodnot. Velikost kvantizační chyby je vzdálenost mezi kvantovanými a původními navzorkovanými body, na obrázku ji vyjadřují délky pomyslných úsečky mezi červenými a zelenými kolečky. Velikost této chyby se pohybuje v intervalu  $+1/2$  až  $-1/2$  kvantizační úrovně.

### Počet kvantizačních úrovní

Protože se digitální signál zpravidla zpracovává na zařízeních pracujících ve dvojkové číselné soustavě, bývají počty kvantizačních úrovní A/D převodníků zpravidla rovny  $N$ -té mocnině čísla **2**, přičemž nakvantovaný signál pak lze vyjádřit v  $N$  bitech.

### Kvantizační šum

Pokud bychom vynesli velikosti chyb od jednotlivých vzorků do grafu, získali bychom náhodný signál, kterému se říká kvantizační šum. Velikost šumu je zvykem vyjadřovat jako poměrné číslo v decibelech, a sice jako poměr užitečného signálu ku šumu. Protože číslo ve jmenovateli zlomku - kvantizační chyba je u všech lineárních převodníků stejná (interval  $+1/2$  až  $-1/2$  kvantizační úrovně), závisí velikost kvantizačního šumu jen na čitateli zlomku, tedy na velikosti užitečného signálu, což je maximální počet kvantizačních úrovní daného převodníku.

$$SNR_{A/D} = 20 \log 2^N \approx 6,02 \cdot N \text{ [dB]}$$

Například u 16 bitového kvantování použitého u záznamu hudby na CD je odstup signálu od šumu  $16 \cdot 6,02 = 96,32 \text{ dB}$



Analogový signál rekonstruovaný z digitálních hodnot

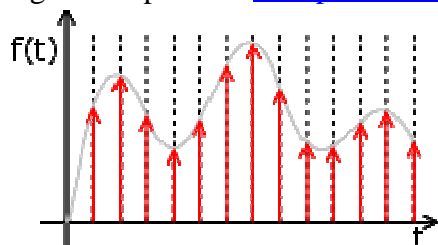
Díky diskretizaci původního spojitého signálu ve dvou osách nemůže ve většině případů signál zpětně převedený z digitální podoby do analogové přesně odpovídat původnímu signálu. Černá čára na obrázku znázorňuje zpětným D/A převodem zrekonstruovaný analogový signál, zatímco modrá čára je původní analogový signál, ze kterého byl A/D převodníkem získán signál digitální (zelená kolečka).

## D/A převodník

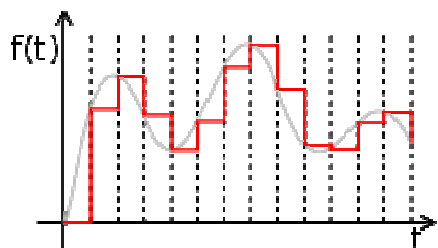


Moderní 8-kanálový D/A převodník [Cirrus Logic CS4382](#) umístěný na zvukové kartě [Sound Blaster X-Fi Fatal1ty](#)

**Digitálně analogový převodník** (zkratky D/A, v angličtině i DAC) je elektronická [součástka](#) určená pro převod digitálního (diskrétního, tj. nespojitého) signálu na signál analogový (spojitý). Pro opačný převod signálu se používá [A/D převodník](#).



Ideálně navzorkovaný signál.



Signál na výstupu A/D převodníku.

### **Použití**

D/A převodník se dnes používá všude tam kde je třeba z digitálního signálu udělat zpět analogový tedy ve všech přehrávačích ([CD](#), [MP3 přehrávač](#), [Minidisc](#), ...), zvukových kartách v počítačích. V každém moderním digitálním [telefonu](#) ([ISDN](#), [GSM](#), [UMTS](#)) se také nachází D/A a A/D převodník.

### A/D a D/A převodníky

#### **A/D převodníky pracující metodou dvojí integrace**

Existuje několik způsobů provedení metody dvojí integrace.

Tento způsob využívá např. převodník *C520D*, který se skládá z analogové a digitální části. K analogové části patří vstupní převodník napětí/proud, komparátor, zdroj referenčního napětí a konstantního proudu. Číslicovou část tvoří oscilátor, děličky, kontrolní a řídicí logika, čítač, multiplexer a výstupní obvody. Převod se uskutečňuje dvěma kroky. V prvním časovém intervalu se nabíjí integrační kondenzátor proudem, který přichází z výstupu převodníku napětí/proud. Tento převodník je zabudován uvnitř a převádí vstupní měřené napětí na proud, jehož velikost je tomuto napětí přímo úměrná. Generátor hodinového signálu s pomocnými obvody zaručuje, že doba po kterou se kondenzátor nabíjí, je stále stejně dlouhá, takže stupeň nabití kondenzátoru skutečně odpovídá velikosti vstupního napětí.

V druhé části převodu se kondenzátor vybíjí. Vybíjecí proud je stálý, takže doba vybíjení je různě dlouhá a závisí na stupni nabití kondenzátoru. Tím závisí i na velikosti vstupního napětí. Dolní hranici při

vybíjení hlídá komparátor, který pomocí řídicí logiky zastaví čítač, který od začátku vybíjení čítá impulsy generátoru, trvale pracujícího uvnitř. Komparátor tedy vyhodnocuje stav nabití a vybití integračního kondenzátoru a výstupem ovládá start i konec práce čítače. Spočítané impulsy hodinového signálu přejdou z čítače přes multiplexer na vstup dekodéru. Takže stav čítače vyjádřený číslicovou formou odpovídá vstupnímu napětí přicházejícímu v analogové podobě.

Druhý způsob je použit u převodníku *ICL7071*. V první fázi se měřené napětí přivede na vstup integrátoru. Na integračním kondenzátoru pak lineárně roste napětí úměrně k velikosti vstupního napětí. V druhé fázi se na stejný vstup připojí vnitřní referenční napětí s opačnou polaritou. Napětí na kondenzátoru se proto snižuje. V okamžiku, kdy dosáhne nulové hodnoty, převod končí, o což se starají řídicí logické obvody. I zde je použit přesný generátor a čítač, který čítáním impulsů generátoru zjišťuje dobu nabíjení i vybíjení kondenzátoru. Stav čítače se na konci druhé fáze dostane k obvodům indikace a zobrazí se číslo, odpovídající měřenému napětí. Následuje třetí fáze, kdy dochází k automatickému nulování, které má zvýšit přesnost a spolehlivost měření.

Převod napětí na kmitočet

Příklad zapojení převodníku vstupního napětí na frekvenci  $f$  ( $U/f$ ) je na [obrázku](#). Zesilovač OZ 1 integruje vstupní proud na kondenzátoru C a zesilovač OZ 2 působí jako komparátor napětí v klopném zapojení. Má dva stabilní stavy určené součtem napětí na stabilizačních diodách SD1 a SD2, zapojených za sebou s opačnou polaritou tak, aby stabilizované napětí na nich bylo v obou polaritách stejné.

Za výchozí stav považujeme kladné výstupní napětí OZ 2. Proud prochází přes stabilizační diody a tranzistor T1 je sepnut. Kondenzátor C1 se vybíjí přes odpor 15 k $\Omega$  a tranzistor T1 je sepnut a výstupní napětí OZ 1, tedy i napětí na vstupu OZ 2 stoupá do té doby, dokud nedostoupí hladiny určené diodami SD1 – SD2. Komparátor OZ 2 změní polaritu výstupu na zápornou a tranzistor T1 se uzavře, ale napětí SD1 – SD2 zůstává přes odpor 4,7 k $\Omega$  připojeno na zem přes D1. Po uzavření tranzistoru T1 se kondenzátor C nabíjí přes odpory 30 + 15 k $\Omega$  a napětí na výstupu klesá, až dosáhne záporné hladiny SD1 – SD2. Pak se OZ 2 překlopí, T1 se otevře a děj se opakuje.

Převodník pracuje velmi přesně, pokud je použito stabilních odporů a kondenzátorů. Nesmějí být teplotně závislé.

Zdroj: [http://cs.wikipedia.org/wiki/D/A\\_p%C5%99evodn%C3%ADk](http://cs.wikipedia.org/wiki/D/A_p%C5%99evodn%C3%ADk)  
[http://panwiki.panska.cz/index.php/A/D\\_p%C5%99evodn%C3%ADk](http://panwiki.panska.cz/index.php/A/D_p%C5%99evodn%C3%ADk)  
[http://www.z-moravec.net/ext\\_el/io/addaprev.php](http://www.z-moravec.net/ext_el/io/addaprev.php)