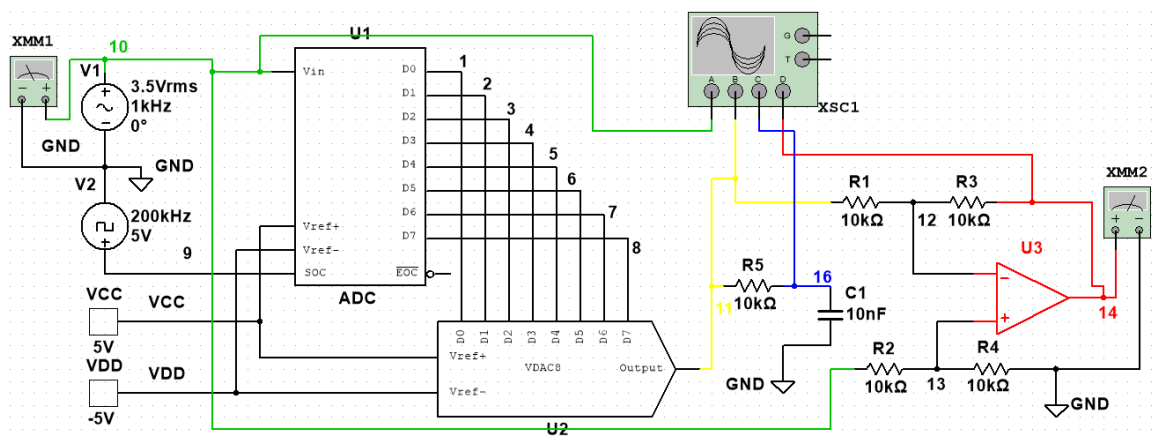


OTE Domácí úkol 10 - Digitalizace a rekonstrukce signálu

Vojtěch Michal

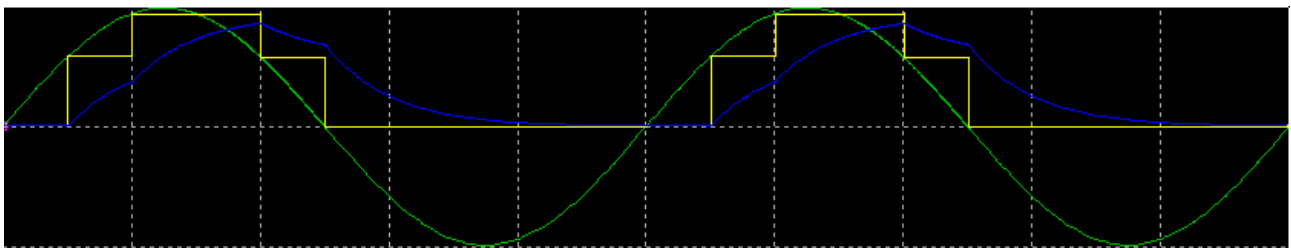
25. května 2022



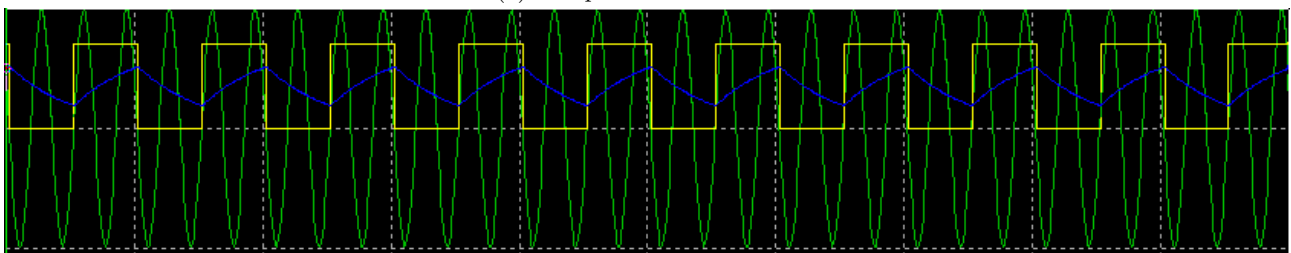
Obrázek 1: Simulační schéma

1 Harmonické zkreslení

Vzorkovací frekvence digitální domény byla nastavena na 10 kHz, rozsah převodníku na interval $[0, 5]$ V. Simulace byla provedena pro frekvence vstupního signálu 1 a 15 kHz, časové průběhy jsou srovnány na obrázku 2. Zeleně je vzorkovaný signál, žlutě je výstup DAC (uzel 11), modře je výstup RC dolní propusti (uzel 16). Časová základna je 200 μ s na dílek a svislá osa má rozlišení 5 V na dílek.

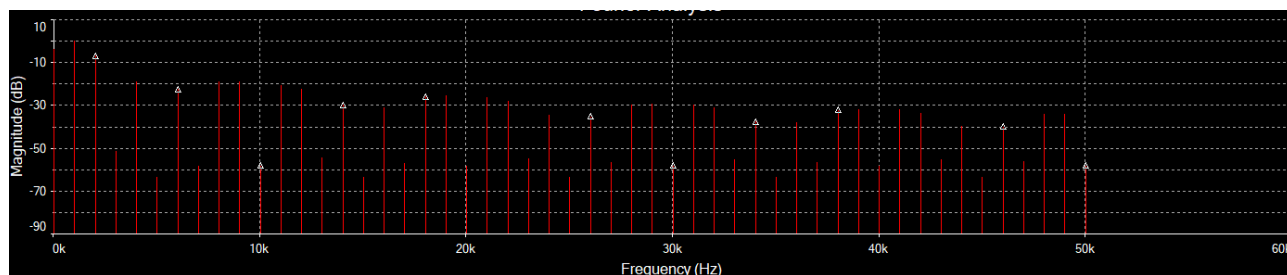


(a) Vstupní frekvence 1 kHz

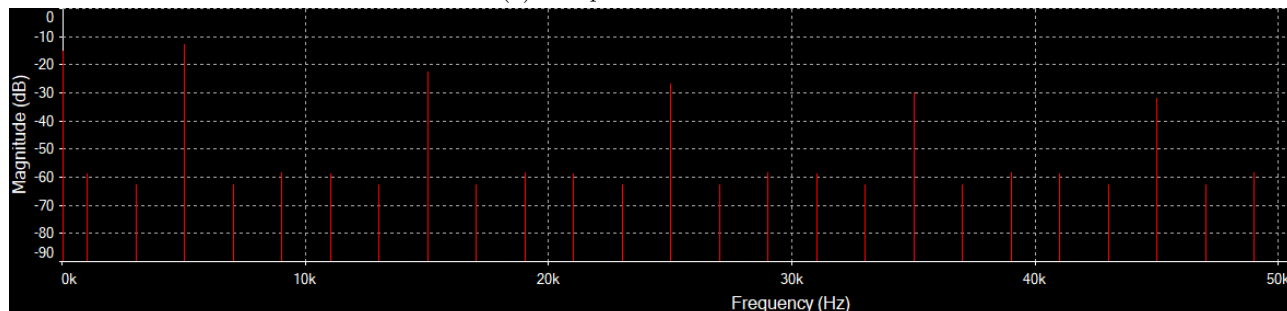


(b) Vstupní frekvence 15 kHz

Obrázek 2: Srovnání časových průběhů pro různé vstupní frekvence a fixní vzorkovací frekvenci 15 kHz



(a) Vstupní frekvence 1 kHz



(b) Vstupní frekvence 15 kHz

Obrázek 3: Srovnání frekvenčních spekter signálů různých frekvence rekonstruovaných s asymetrickým rozsahem

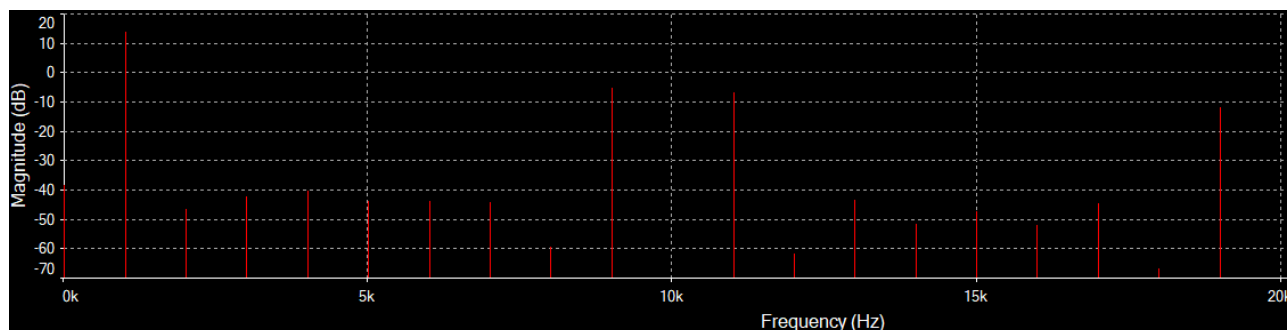
Pro obě frekvence byla provedena Fourierova analýza po částech konstantního výstupu digitálně-analogového převodníku. Spektra jsou srovnána na obrázku 3. Je vidět, že kvůli aliasingu a zrcadlení ve spektru se frekvence signálu 15 kHz projevuje velkou špičkou na 5 kHz čáře.

Činitele harmonického zkreslení THD – spočtené pomocí vestavěné Fourierovy analýzy v Multisimu – jsou vyneseny v tabulce 1.

vzorkovaná frekvence [kHz]	THD [%]
1	52.22
15	68.37

Tabulka 1: THD v závislosti na frekvenci signálu pro 10 kHz vzorkování

Pro srovnání byl převodníku nastaven symetrický rozsah vstupního napětí $[-5, 5]$ V, aby nedocházelo k ořezávání signálu. Tato úprava vedla na výrazně čistší spektrum vykreslené na 4 s THD pouze 15.2 %. Významný pokles je vidět ve velikosti stejnosměrné složky, která je rázem o 25 dB menší. Na frekvenčním spektru je dobře pozorovatelná symetrie podle celočíselných násobků vzorkovací frekvence 10 kHz.



Obrázek 4: Spektrum rekonstruovaného signálu o frekvenci 1 kHz při vzorkování 10 kHz se symetrickým rozsahem

2 Kvantovací chyba

S použitím vzorkovací frekvence 100 kHz a vstupního signálu o frekvenci 1 kHz byla v uzlu 14 změřena efektivní hodnota kvantovací chyby $U_q = 82 \text{ mV}$ při efektivní hodnotě signálu $U_{\text{sin}} = 3.5 \text{ V}$. Tomu přísluší *odstup signál-šum a zkreslení*

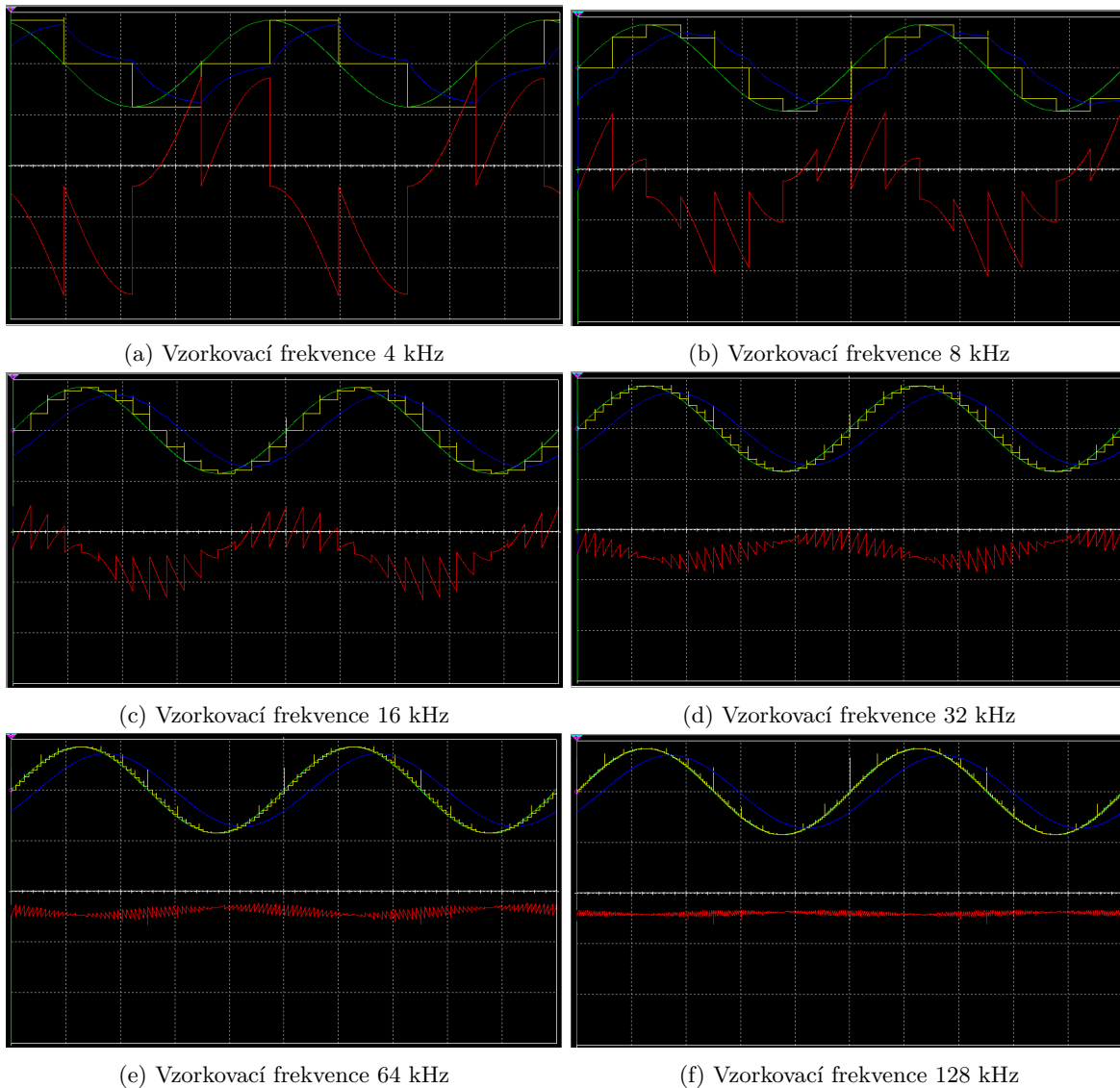
$$\text{SINAD} = 20 \log \frac{U_{\text{sin}}}{U_q} = 32.6 \text{ dB}. \quad (1)$$

Efektivní počet bitů je

$$\text{ENOB} = \frac{\text{SINAD}(\text{dB}) - 1.76}{6.02} = 5.12. \quad (2)$$

3 Zkreslení signálu vzorkováním

Pro digitalizaci vstupního signálu $U_{\text{in}} = 3\sqrt{2} \sin(2\pi 1000t)$ bylo vyzkoušeno několik vzorkovacích frekvencí v rozsahu od 4 kHz do 128 kHz v mocninách dvou kHz. Porovnání průběhů je na obrázcích 5. Originální signál je vykreslen zeleně, výstup DAC žlutě, vyfiltrovaný rekonstruovaný signál modře, odchylka výstupu DAC od původního signálu červeně. Časová základna je $200 \mu\text{s}$ na dílek, na svislé ose mají všechny signály 5 V na dílek kromě červeného kanálu, jenž má pro lepší rozlišitelnost 2 V na dílek.

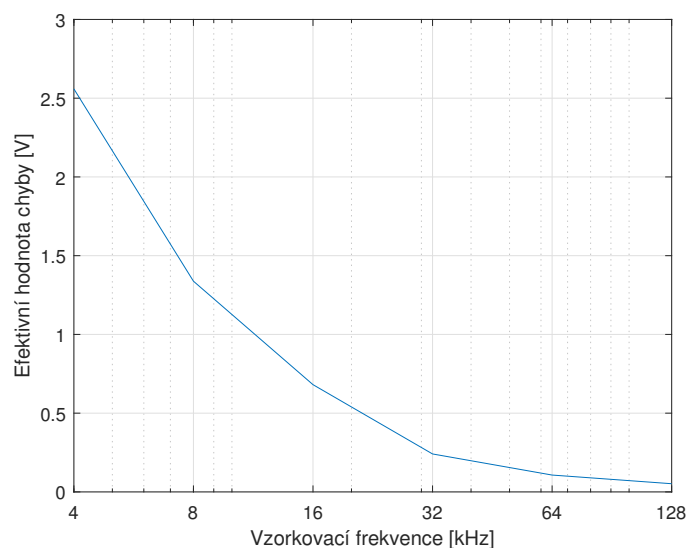


Obrázek 5: Srovnání rekonstrukce signálu s různou vzorkovací frekvencí.

Ačkoli je vstupní signál pro všechny zvolené vzorkovací frekvence rekonstruovatelný (je dodržen vzorkovací teorém), u nejnižší použité frekvence 4 kHz je patrná amplituda chyby až 4 V. Naopak pro frekvence 32 kHz

vzorkovací frekvence [kHz]	RMS chyba [V]
4	2.559
8	1.338
16	0.681
32	0.241
64	0.107
128	0.052

Tabulka 2: Efektivní hodnota chyby v závislosti na vzorkovací frekvenci



Obrázek 6: Efektivní hodnota chyby v závislosti na vzorkovací frekvenci

a vyšší je velikost chyby omezená pod volt. Pro každou vzorkovací frekvenci byla změřena efektivní hodnota chyby pomocí multimetru XMM2 ve schématu 1. Naměřené efektivní hodnoty jsou v tabulce 2 a vykresleny na obrázku 6