

# 3<sup>RD</sup> ORDER SWITCHED-CURRENT DELTA-SIGMA MODULATOR

Daniel ŠIROKÝ, Bachelor Degree Programme (3)  
Dept. of Microelectronics, FEEC, BUT  
E-mail: xsirok01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Dr. Lukáš Fucik

## ABSTRACT

The Switched-Currents (SI) technique is a circuit method that enables mixed analog and digital circuits to be realized with a standard digital CMOS technology. This article is focused on a third-order switched-current Delta-Sigma Modulator (DSM). DSM is main part of delta-sigma analog-to-digital converter. The third-order DSM based on MOS transistors and its Matlab model will be proposed in this article.

## 1 ÚVOD

Analogově-digitální převodníky (ADC) představují strukturu, kde vstupní analogový (spojitý) signál je převáděn na signál číslicový (diskrétní, nespojitý), reprezentující velikost analogového signálu. Delta-sigma převodníky se značně liší od jiných ADC a vynikají v mnoha směrech. S využitím techniky spínaných proudů se otevírají nové možnosti využití těchto převodníků ve všech odvětvích (automatizace, sensorika, lékařská technika, aj.)

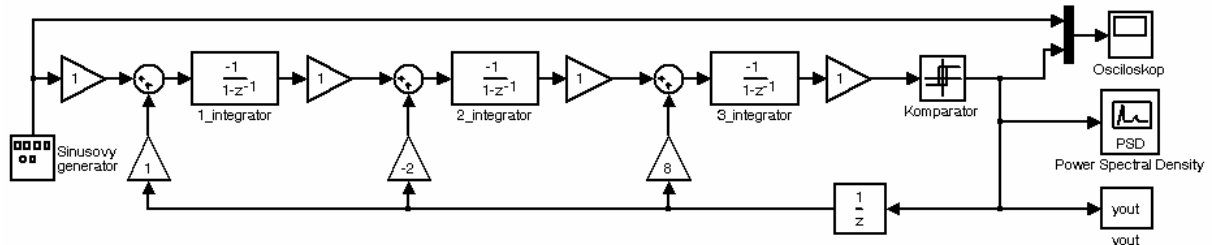
## 2 DELTA-SIGMA MODULACE

Hlavními součástmi DSM jsou součtový integrátor a komparátor. Komparátor generuje jednobitový výstupní signál a zjišťuje znaménko analogového výstupního integrátoru. Komparátor je ve skutečnosti jednobitovým převodníkem ADC. Jednička na jeho výstupu znamená, že výstupní signál integrátoru byl v okamžiku komparace kladný, nula indikuje zápornou hodnotu. Posloupnost nul a jedniček se v rámci bloku vede zpět do jednobitového převodníku DAC. Výstupní analogový signál převodníku DAC může nabývat pouze hodnoty kladného (pro logickou 1) nebo záporného (pro logickou 0) referenčního napětí  $U_{REF}$ . To se na vstupu součtového integrátoru od vstupního signálu (napětí  $U_{IN}$ ) odečítá. Blíže v [ 1].

## 3 DELTA-SIGMA MODULATOR 3. ŘÁDU

DSM 3. řádu používá vyšší řád integrace. Tím lépe frekvenčně posouvá kvantovací šum, zvyšuje zisk bitového rozlišení při stejném decimálním koeficientu  $M$  a podstatně snižuje

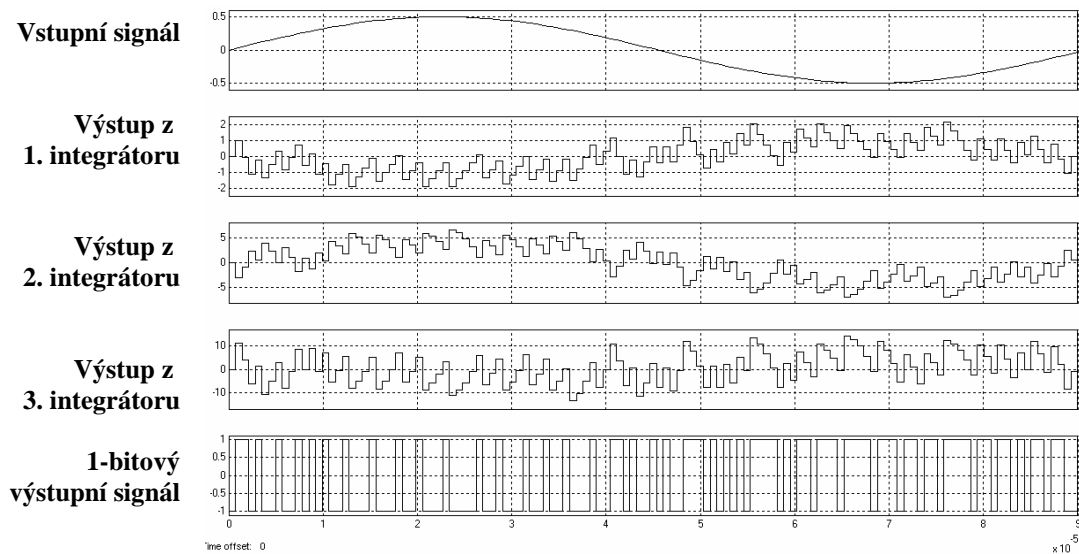
úroveň šumu v užitečné oblasti signálu. Na druhou stranu však použití více kaskádně zapojených integrátorů zvyšuje nebezpečí vzniku oscilací. Pro zajištění stability je část signálu zpětné vazby přivedena na vstupy všech integrátorů v kaskádě. Navržený DSM 3. řádu je na obr. 1. Jedná se o strukturu CIDF (*Cascaded Integrators with Distributed Feedback*). Tato struktura byla simulována v programu Matlab Simulink. Jednotlivé koeficienty udávají vlastnost přenosu signálu a výrazně ovlivňují výslednou stabilitu DSM.



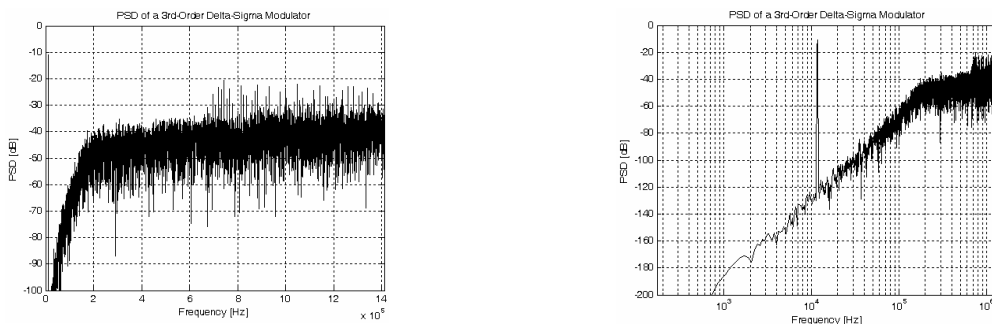
**Obr. 1:** Matlab model navrženého delta-sigma modulátoru 3. řádu se strukturou CIDF

### 3.1 SIMULACE DELTA-SIGMA MODULÁTORU 3. ŘÁDU V MATLABU

Pro názornou simulaci byl použit 11,025 kHz vstupní sinusový signál s amplitudou 0,5 a vzorkovací frekvence  $f_s=1411,2$  kHz. Tomu odpovídá koeficient převzorkování  $OSR=64$ . Výsledné SNR tohoto modulátoru při použití ideálních integrátorů bez zpoždění je 84,7 dB.



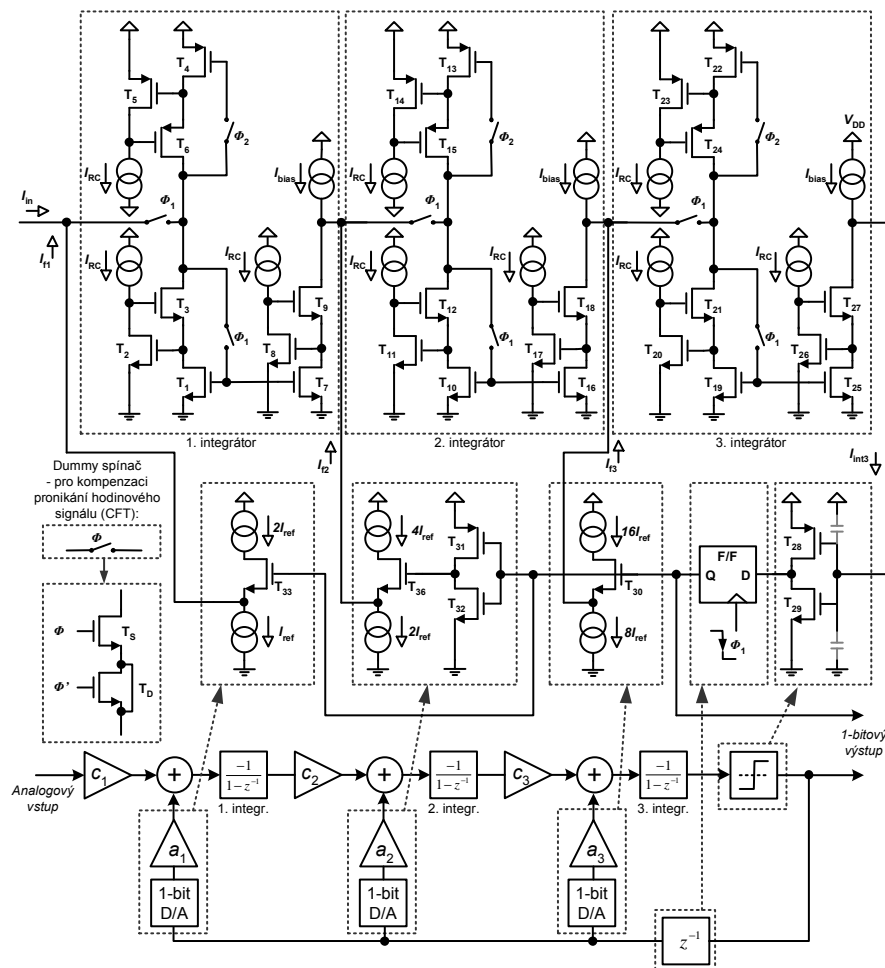
**Obr. 2:** Průběh signálu v jednotlivých částech modulátoru



**Obr. 3:** Výkonová hustota výstupního signálu (Power Spectral Density - PSD)

### 3.2 REALIZACE DELTA-SIGMA MODULATORU 3. ŘÁDU

Schéma navrženého DSM 3. řádu na bázi MOS tranzistorů využívající techniky spínaných proudů je na obr. 4. Podrobný popis jednotlivých bloků lze nalézt v [ 2].



Obr. 4: Navržený DSM 3. řádu se strukturou CDF na bázi MOS tranzistorů

## 4 SHRUTÍ

Navržený DSM 3. řádu byl simulován v Matlabu. Pro názornost byl použit koeficient převzorkování  $OSR$  pouze 64. V praxi se používá mnohem vyšší hodnota, např. 256. Dosáhneme tak vyšší přesnosti vzorkování. Při simulaci byly použity ideální integrátory bez zpoždění. Poměr signál-šum (SNR) pro tento model dosahoval hodnoty 84,7dB. Reálné integrátory však mohou mít zpoždění, konečné ss zesílení, omezenou rychlost přeběhu, konečný tranzitní kmitočet atd. Proto při realizaci DSM na čip dosahuje nižších hodnot SNR.

## LITERATURA

- [1] Bourdopoulos, G.: Delta-Sigma Modulators: Modeling, Design and Applications, London (UK): Imperial College Press, 2003. 241 stran. ISBN 1-86094-369-1
- [2] Toumazou, C., Hughes, J. B., Battersby N. C.: Switched-currents an analog technique for digital technology, London, UK: Peter Peregrinus Ltd., 1993, 594 s., ISBN 0 86341 294 7