

# MPC-TVP

## SZZ

Vypracované otázky k SZZ

Mikroelektronika, FEKT VUT

[https://github.com/Cesar0067/SZZ/tree/main/SZZ\\_MPC-TVP](https://github.com/Cesar0067/SZZ/tree/main/SZZ_MPC-TVP)

Text: —  
Korektura: —

4. dubna 2022

# Obsah

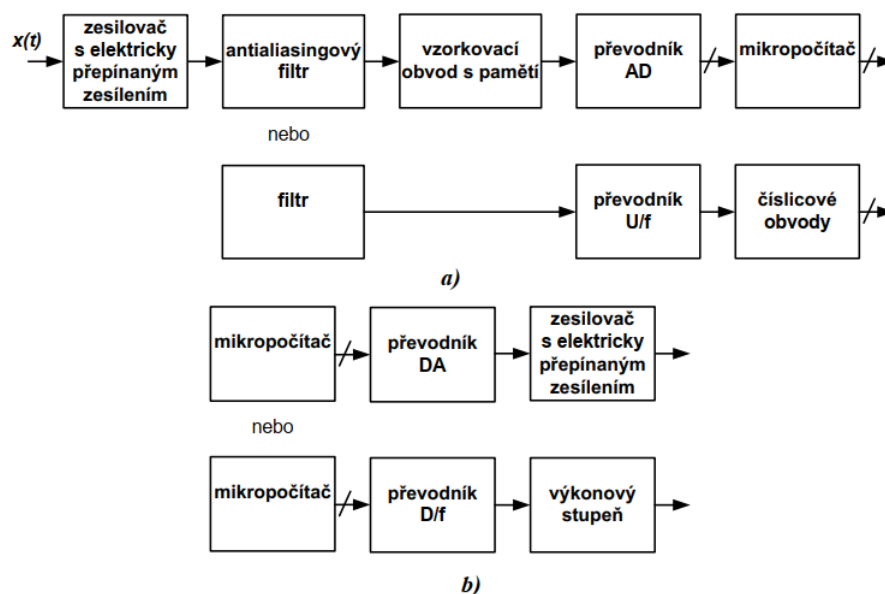
1	Převodníky AD a DA	1
2	Obvody pro předzpracování signálu	4
3	Filtrační obvody	5
4	Vzorkovací obvody	11
5	Referenční zdroje napětí a proudu	12
6	Paralelní převodníky DA	13
7	Sériové převodníky DA	14
8	Převodníky AD s vysokými vzorkovacími kmitočty	15
9	Převodníky AD typu SAR a integrační	16
10	Převodníky sigma-delta	17
11	Testování převodníků	18

# 1 Převodníky AD a DA

- základní princip, blokové schéma, základní statické a dynamické parametry, úloha v řetězci zpracování dat.

## 1.1 Základní princip

Při zpracování analogového signálu je jednou z důležitých funkcí převod tohoto signálu z analogové podoby do číslcové a naopak jsou ADC a DAC velmi důležitými prvky jakéhokoli systému zpracovávajícího signál.

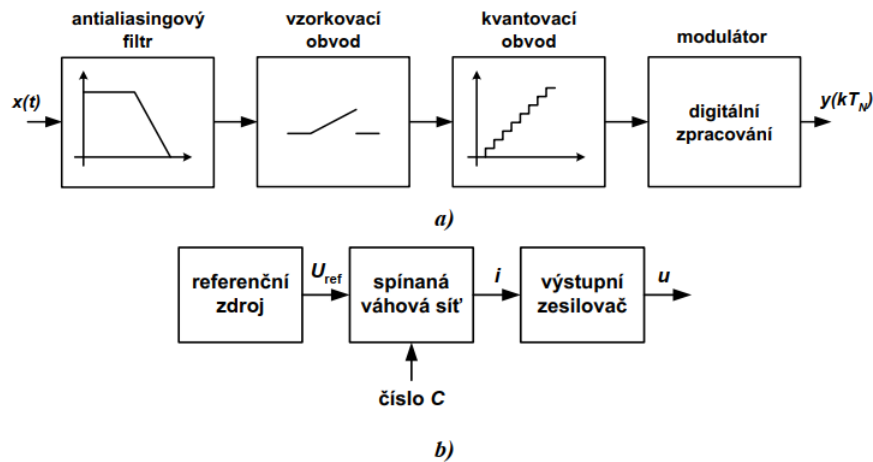


Obrázek 1: Zařazení převodníku AD a DA v rámci měřicího přístroje

Někdy je potřeba provádět měření na více vstupech nebo je nutné budít více výstupů. V těchto případech je pak nutno předřadit na vstup multiplexer a na výstup demultiplexer. Výstup je také obvykle doplněn o posilovač, který může být buď proudový, napěťový nebo obecně výkonový.

Převodníky AD a DA jsou velmi důležitými stavebními prvky mnoha elektronických zařízení. Obě skupiny převodníků mohou typicky obsahovat komparátory, číslcové obvody, spínače, integrátory, vzorkovací obvody, přesný zdroj referenčního napětí a/nebo pasivní součástky. Parametry převodníků lze rozdělit na statické (určují se z převodní charakteristiky) a dynamické (určují se z kmitočtového spektra signálu)

## 1.2 Blokové schéma



Obrázek 2: Blokové schéma a) ADC a b) DAC

## 1.3 Základní statické a dynamické parametry

**Statické parametry** převodníků jsou určovány pomocí převodní charakteristiky.

**Dynamické vlastnosti** se vyhodnocují z kmitočtového spektra převodníku.

**Statické parametry:**

- rozsah,
- integrální a diferenciální nelinearita (INL a DNL),
- rozlišení převodníku (resolution),
- přesnost (accuracy),
- chyba monotónnosti,
- chyba nastavení nuly (offset error),
- a hysterze.

**Dynamické parametry:**

- odstup signál-šum (signal to noise ratio - SNR),
- efektivní počet bitů (effective number of bits - ENOB),
- harmonické zkreslení (total harmonic distortion - THD),
- odstup signál-šum a zkreslení (signal to noise and distortion - SINAD),
- dynamický rozsah bez parazitních složek (spurious free dynamic range - SFDR),
- krátké přechodové špičky (glitches),
- šum - vrcholový, efektivní (noise - rms, peak)
- a doba přepnutí a ustálení a další.

## 1.4 Úloha v řetězci zpracování dat

Úloha v řetězci spočívá skoro vždy mezi senzorem zachycujícím data (teploměr, otáčkoměr, měření napětí...) a jednotkou, která tato data zpracovává (PC, MCU, FPGA...) v případě ADC. v případě DAC stojí v řetězci opět mezi jednotkou, která tentokrát posílá digitální data a např. reproduktorem, který přehrává analogový zvuk.

## **2 Obvody pro předzpracování signálu**

-důvody použití, využití multiplexeru a demultiplexeru, invertované a neinvertované sítě, diferenční sítě - příklady zapojení funkce.

### **2.1 Důvody použití**

Multiplexery a demultiplexery se používají z důvodu nutnosti snímat více vstupů (ADC) nebo budit více výstupů (DAC). Zesílení se poté používá pro zesílení vstupní veličiny, což snižuje náchylnost na šum a usnadňuje jeho převod z analogového do digitálního signálu.

### **2.2 Využití multiplexeru a demultiplexeru**

#### **2.2.1 Multiplexery**

## 3 Filtrační obvody

-funkce, příklady realizací, důvody použití v převodnících, aproximační charakteristiky, přesné filtry.

### 3.1 Funkce

Jedná se obvykle o filtry typu dolní propust. Je určen k:

- potlačování záznějí (Aliasing) – omezení šířky pásma vstupního signálu,
- potlačení kvantovacího šumu na výstupu DAC
- a potlačení střídavých složek v nepřímých převodnících DA.

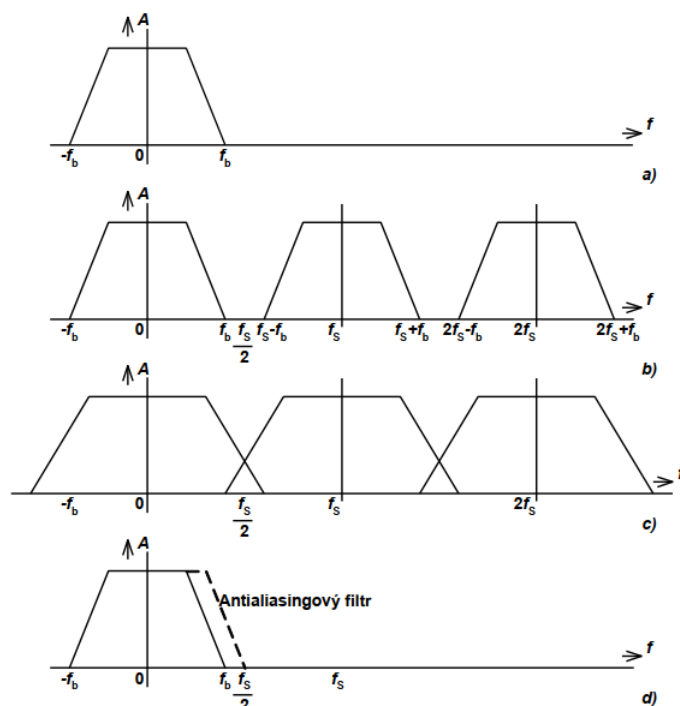
Problém aliasingu (záznějí) je vidět na obrázku 3, kde vstupní analogový signál má kmitočtovou odezvu (3a)) a kmitočet  $f_b$  je maximální kmitočet vstupního signálu. Pokud je vstupní analogový signál vzorkován s vzorkovacím kmitočtem  $f_s$  je kmitočnotá odezva tohoto signálu jako na 3b).

Spektrum vstupního signálu se zrcadlí na kmitočtu  $f_s$  a každé jeho vyšší harmonické složce. Pokud ale  $f_b$  přesáhne polovinu  $f_b$ , dojde k částečnému překrytí postranních složek, viz 3c). V důsledku toho pak může dojít k významné ztrátě informace o původním signálu, který pak již nelze rekonstruovat do původní podoby.

Proto musí být dodržen vzorkovací teorém:

$$f_s > 2 * f_b \quad (1)$$

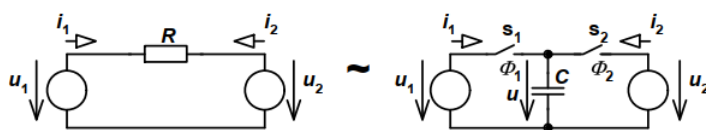
Uvedený vztah platí pouze pro harmonický signál resp. nejvyšší harmonickou složku jiného signálu. Antialiasingový filtr je použit proto, aby zabránil překrytí postranních složek, 3d)



Obrázek 3: Problém aliasingu

### 3.2 Příklady realizací

Klasické aktivní filtry se k výše uvedeným účelům užívají stále méně z důvodu složitého seřizování, obtížně se přeladují a nejsou příliš vhodné k integraci na čip. Proto se používají filtry využívající techniku spínaných kapacitorů (SC). Hlavním důvodem využití této techniky byla jednoznačně možnost nahrazení pasivního prvku – rezistoru, který na čipu zabírá velkou plochu, kapacitorem a spínačem MOS, které simulují funkci rezistoru



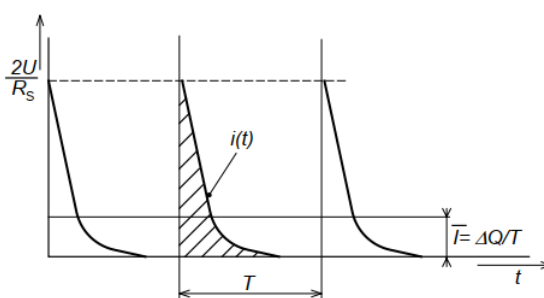
Obrázek 4: Princip SC

$$i = \frac{u}{R} \approx i_{ekv} = \frac{q}{T} = \frac{C * u}{T} = \frac{u}{R_{ekv}} \Rightarrow R_{ekv} = \frac{T}{C} \quad (2)$$

kde  $R$  je odpor,  $C$  je kapacita a  $T$  časová konstanta,  $q$  je náboj na kapacitoru,  $i_{ekv}$  je celkový proud tekoucí kapacitorem a  $u$  je celkové napětí na kapacitoru.



Rezistor, kterým protéká kontinuálně konstantní proud  $I$  lze nahradit spínačem s rezistorem. Z tohoto vyplývá, že proud tekoucí kapacitorem má impulzní charakter (Obrázek 5), tedy naprosto jiný, než je tomu u rezistoru. Pokud ale budeme uvažovat střední hodnotu těchto impulzů, která bude odpovídat rov. 2), je možné uvedené obvodové prvky nahradit.



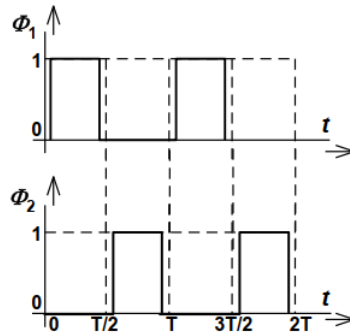
Obrázek 5: Impulzní průběh SC

#### **Z této náhrady vyplynulo několik výhod:**

- na rozdíl od rezistoru, jehož výrobní chyba v IO je 5 až 20 %, je přesnost zpracování vstupního analogového signálu dána pouze přesností poměru kapacit, která může být řádově až 0,01 %,
- kapacity je možné v technologii CMOS snadněji implementovat na čip,
- spínače CMOS mají v sepnutém stavu nízký odpor (řádu desítek ohmů),
- dobrá přesnost časových konstant,
- dobrá napěťová linearita
- a dobré teplotní charakteristiky.

#### **Mezi nevýhody techniky SC patří**

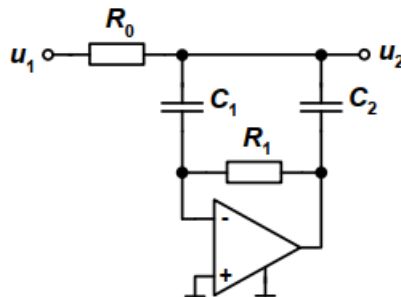
- pronikání řídicího hodinového signálu přes spínače do signálové cesty – dochází ke znehodnocení zpracovávaného užitečného signálu,
- injekce náboje ze spínače – dochází ke znehodnocení zpracovávaného užitečného signálu,
- jednotlivé fáze řídicího hodinového signálu musí být realizovány jako nepřekrývající se, což klade vysoké nároky na přesnost generovaného řídicího hodinového signálu (viz. Obrázek 8),
- chyby způsobené použitými kapacitami – negativně ovlivňují přesnost převodu
- a parazitní kapacity.



Obrázek 6: Řídící a nepřekrývající se hodinové signály

### 3.2.1 Stejnosměrné přesné filtry

Jsou vhodné jako antialiasingové filtry i jako filtry pro nepřímé převodníky. Kaskádní struktura filtru, však není pro realizaci příliš vhodná, protože se uplatňuje napěťová nesymetrie použitých OZ ve výstupním signálu. Jistým řešením je použití pasivních prvků, což způsobuje problémy při realizaci induktorů. Východiskem je tedy použití nekaskádní struktury aktivního filtru.



Obrázek 7: Nekaskádní zapojení aktivního filtru 2. řádu

## 3.3 Důvody použití v převodnících

Plní hned několik funkcí, mezi které patří zejména potlačení aliasingu (záznějí), potlačení kvantovacího šumu na výstupu DAC a potlačení střídavých složek v nepřímých převodnících DA.

## 3.4 Aproximační charakteristiky

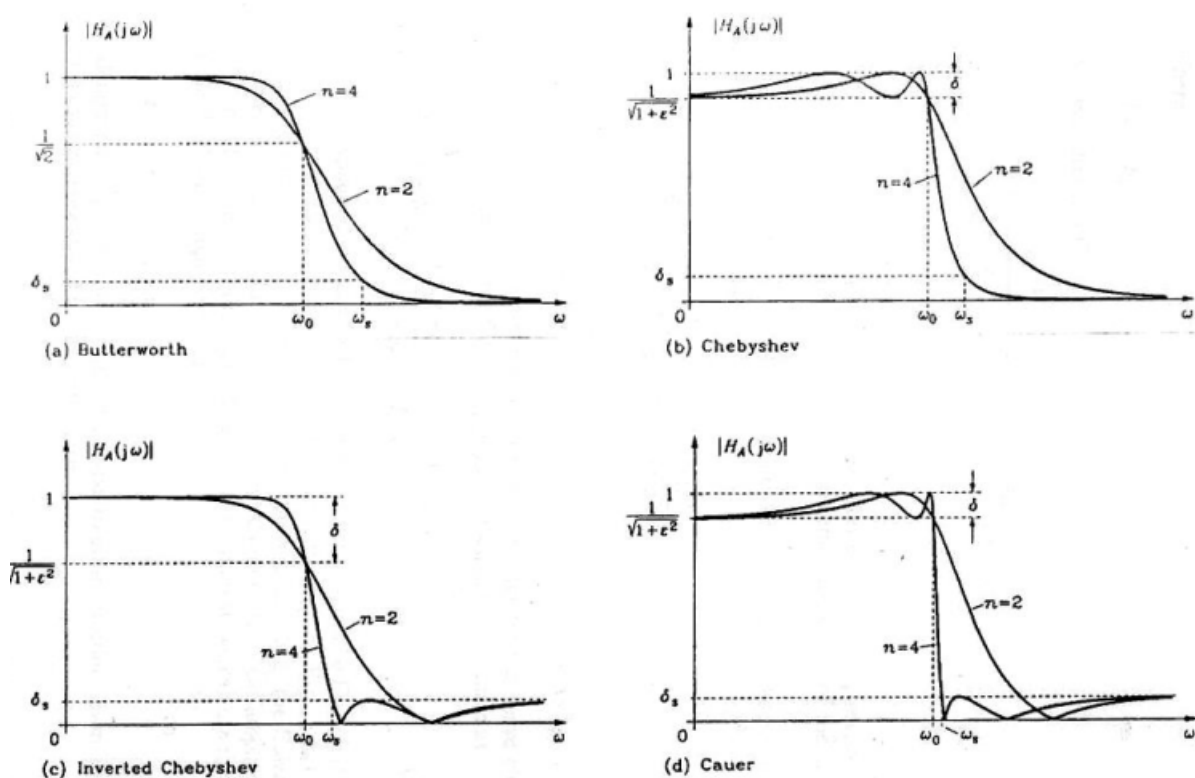
Filtry obecně nejsou specifikovány pouze mezními kmitočty, které definují propustné a zádržné oblasti. Důležitá je také zvolená aproximační metoda realizace filtru. V případě filtrů typu dolní propust existují čtyři základní aproximace, a to aproximace podle Butterwortha, Chebysheva (vč. inverzní verze) a Cauera (Darlingtona).

**Butterworthova aproximace** má maximálně plochou kmitočtovou charakteristiku kolem počátku a monotónně klesající průběh od mezního kmitočtu v nepropustném pásmu.

**Aproximace podle Chebysheva** je v propustném pásmu mírně zvlněná s monotónně klesající průběhem od mezního kmitočtu v nepropustném pásmu.

**Inverzní Chebysheva aproximace** má maximálně plochou kmitočtovou charakteristiku v propustném pásmu a pásmu potlačení je mírně zvlněná.

**Aproximace Cauera nebo také Darlingtonova** je mírně zvlněná v obou pásmech své kmitočtové charakteristiky. Proto se také pro ni ustálil výraz eleptický filtr.



Obrázek 8: Jednotlivé aproximace

### 3.5 Přesné filtry

Realizace filtru – ss přesné filtry

- výhodou těchto struktur je stejnosměrné oddělení všech výstupů OZ pomocí kapacitorů od hlavní signálové cesty,
- šum OZ se uplatňuje tím více, čím jsou blíže hlavní signálové cesty => horní OZ nízkošumové,
- filtr nesmí být zatěžován => doplnit na výstupy vysoce kvalitní oddělovací zesilovač.

Viz. Obrázek 7.

## **4 Vzorkovací obvody**

- S/H a T/H obvody - rozdíly, funkce, základní parametry, příklady realizací

## 5 Referenční zdroje napětí a proudu

-jednoduché reference, reference řízené prahovým napětím tranzistoru, bandgap reference, výhody, nevýhody, teplotní závislost, stabilita

## 6 Paralelní převodníky DA

-základní zapojení a funkce, využití sítě R-2R a modifikace, váhové sítě, typičtí představitelé

## **7 Sériové převodníky DA**

- základní zapojení a funkce, využití kapacitorů v síti, příklady využití



## **8 Převodníky AD s vysokými vzorkovacími kmitočty**

- komparační, řetězové - základní zapojení a funkce, příklady využití.

## **9 Převodníky AD typu SAR a integrační**

- základní zapojení a funkce, příklady využití.

## 10 Převodníky sigma-delta

- základní zapojení a funkce, příklady využití.

# **11 Testování převodníků**

- statické a dynamické testy