

## **Měření vlastností obvodů se spínanými kapacitory**

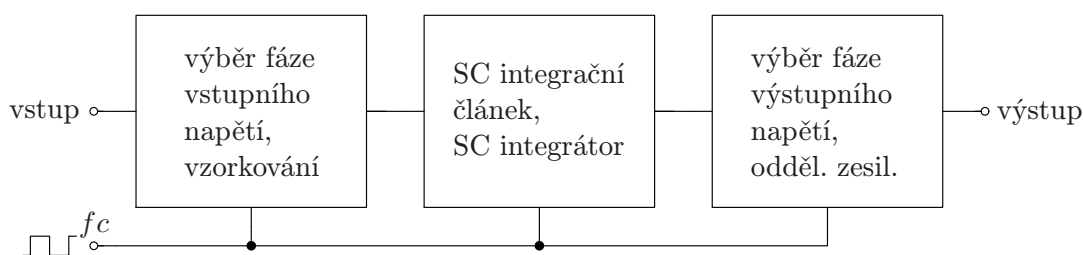
Návod k přípravku pro laboratorní cvičení v předmětu DAS.

Cílem měření je seznámit se se základními vlastnostmi diskřétně pracujících obvodů – obvodů se spínanými kapacitami. Hlavními úkolem je měření kmitočtových charakteristik a časových odezvy pro různé typy obvodů a při různých podmínkách.

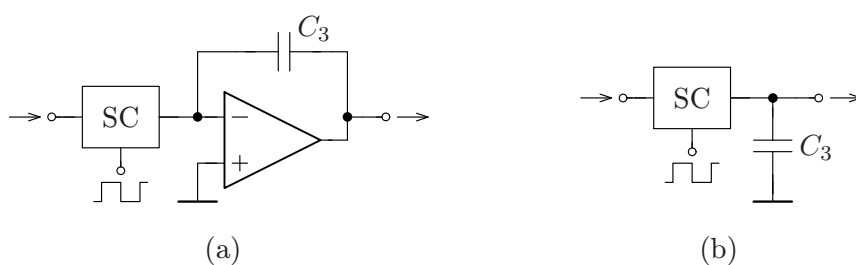
## 1. Popis přípravku

Přípravek je uzpůsoben tak, aby umožňoval demonstrovat základní vlastnosti periodicky spínaných lineárních (PSL) obvodů, v tomto případě obvodů se spínanými kapacitami. Přípravek se napájí symetrickým napětím  $\pm 5\text{ V}$  z externího laboratorního zdroje (nejlépe s proudovým omezením) na svorky B1, B2, B3. Přípravek je chráněn proti přepólování a přepětí diodami D1, D2 pojistkami F1, F2. Pro měření kmitočtových charakteristik je nutné přivést na vstupní svorku VIN (B4) harmonický signál z externího generátoru a dále hodinový signál (např. TTL) pro řízení spínačů na svorku CLK (B6). Obvod je dvoufázový – obasuje dvě topologie, které se periodicky přepínají mezi první (sudou) a druhou (lichou) fází. Výstupní signál se měří na výstupu VOUT (B7).

Přípravek realizuje základní zapojení integračního článku nebo integrátoru s operačním zesilovačem, kde rezistor je realizován 4 druhy spínaného kapacitoru. Blokové schéma je uvedeno na obrázku 1 a zapojení vlastního spínaného obvodu je na dalším obrázku 2. Jak bylo uvedeno, lze volit mezi elementárním zapojením integrátoru (a) nebo integračního článku (b), přičemž spínaný rezistor (na obrázku označen symbolem SC) lze realizovat jedním ze zapojení uvedených na obrázku 3. Kompletní zapojení přípravku, včetně obvodů napájení, je uvedeno na obrázku 4. Rozložení součástek na plošném spoji je na obrázku 5.



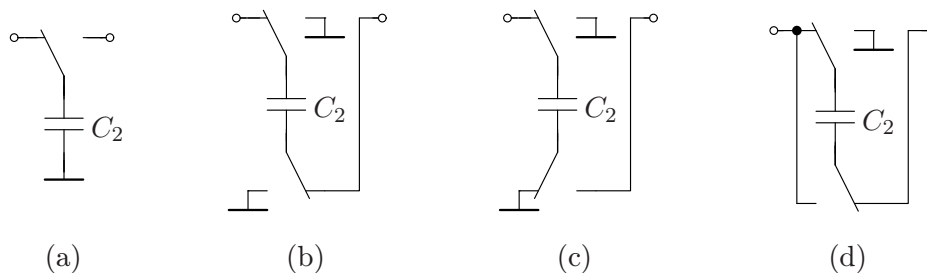
Obrázek 1: Základní blokové schéma zapojení přípravku.



Obrázek 2: Zapojení vlastního obvodu se spínaným kapacitorem.

Zapojení přípravku umožňuje pro měření následující volby:

- výběr vstupního signálu z těchto druhů: sinusový signál, vzorkovaný sinusový signál a sinusový signál vynásobený obdélníkovým průběhem,
- výběr vstupního napětí pro obvod SC v liché nebo v sudé fázi,
- možnost použití více variant realizace rezistoru spínaným kapacitorem,
- možnost zapojení rezistoru do série se spínaným kapacitorem pro zvýšení odporu spínačů, čímž by se tento odpor více projevil a byl by patrnější jeho vliv vlastnosti obvodu,



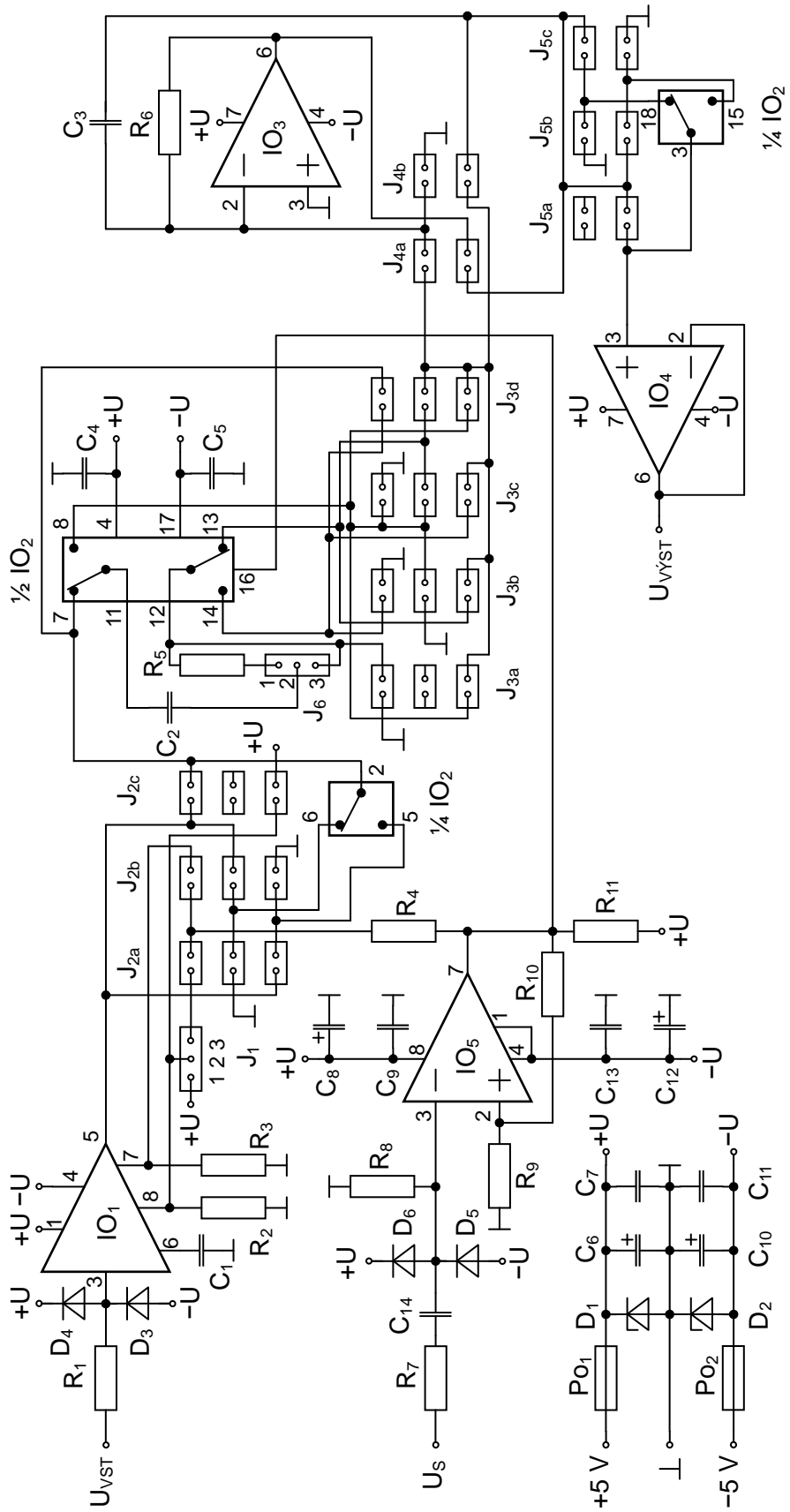
Obrázek 3: Možnosti realizace rezistoru spínaným kapacitorem na přípravku.

- výběr výstupního napětí obvodu SC v liché nebo v sudé fázi,
- výběr pasivního integračního článku nebo aktivního integrátoru s OZ.

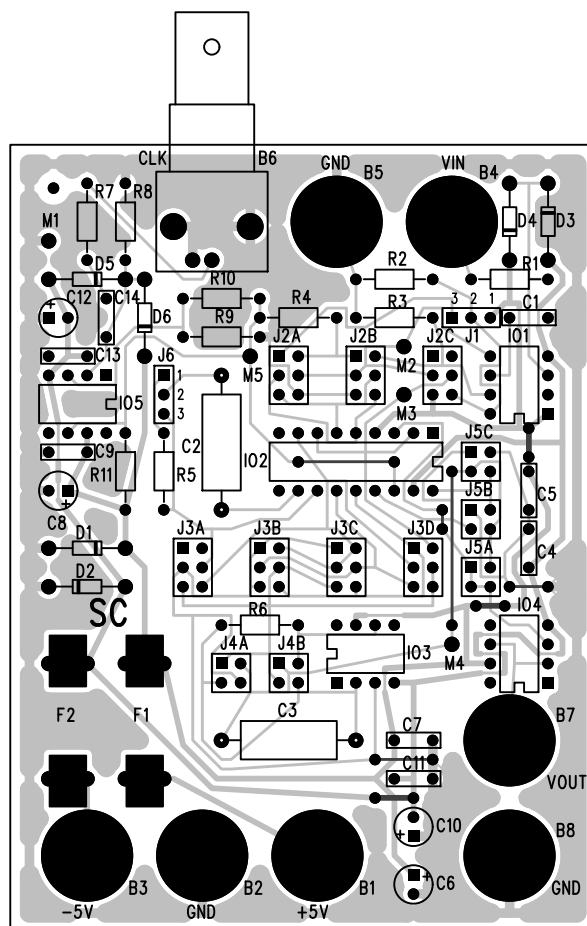
Pro volbu funkce obvodu z výše uvedených možností se používají zkratovací propojky (jumpery) J1 až J6. Propojky J1 a J6 spojují v jedné poloze jednu dvojici kontaktů a ostatní propojky spojují v jedné poloze zároveň více dvojic kontaktů (tyto dvojice jsou ve schématu 4 kresleny pod sebou). V případě propojek J2 a J3 jsou zároveň spojeny tři dvojice kontaktů a propojky J4 a J5 spojují zároveň dvojice dvě. Všechny propojky nemají stejný počet poloh. Propojky J1 a J6 mají polohy dvě – podle zvolené možnosti spojují buď kontakty 1 a 2, nebo 2 a 3. Ostatní propojky mají polohy dvě, tři, nebo čtyři. Tyto polohy jsou ve schématu vyznačeny písmenem v označení propojky. Propojky J1 až J6 mají na funkci obvodu následující význam:

- J1 výběr vstupního signálu obvodu SC mezi sinusovým signálem násobeným obdélníkovým průběhem (spojené kontakty 1 a 2) a vzorkovaným sinusovým signálem (spojené kontakty 2 a 3),
- J2 výběr napětí přivedeného na vstup obvodu SC, v liché fázi – poloha J2b, v sudé fázi – poloha J2a, bez výběru fáze (na vstup obvodu SC se přivede kompletní signál) – poloha J2c, v této poloze nezáleží na nastavení propojky J1,
- J3 výběr realizace rezistoru spínaným kapacitorem, poloha J3a – podle obrázku 3(a), poloha J3b – podle obrázku 3(b), poloha J3c – podle obrázku 3(c) a poloha J3d – podle obrázku 3(d),
- J4 výběr SC obvodu, integrátor s OZ (obrázek 2(a)) – poloha J4a nebo integrační článek (obrázek 2(b)) – poloha J4b,
- J5 výběr fáze napětí odebírané z výstupu obvodu SC, lichá fáze – poloha J5b, sudá fáze – poloha J5a, při poloze J5c je napětí z výstupu obvodu odebíráno v obou fázích,
- J6 zařazení rezistoru do série se spínaným kapacitorem při spojení kontaktů 1 a 2, při spojení kontaktů 2 a 3 rezistor zapojen není.

Vstupní sinusový signál se přivádí na vstup  $U_{vst}$ . Rezistor R1 a diody D3 a D4 chrání vstup vzorkovacího obvodu IO1 před příliš velkým vstupním napětím. Pokud není potřeba vzorkovat vstupní napětí, tj. poloha propojky J1 je zvolena tak, že spojuje kontakty 1 a 2, nebo propojka J2 je v poloze J2c, pracuje vzorkovací obvod jen jako sledovač. Vzorkovací obvod spolu s jedním přepínačem z integrovaného obvodu IO2 tvoří obvod pro úpravu vstupního napětí obvodu SC. Vlastní obvod SC se skládá ze dvou přepínačů obvodu IO2 a z kapacitorů C2 a C3. Pro aktivní integrátor je dále použit operační zesilovač IO3. Na výstupu obvodu SC je zapojen obvod pro výběr fáze, který využívá čtvrtého přepínače



Obrázek 4: Celkové zapojení přípravku.



Obrázek 5: Celkový pohled na plošný spoj a rozložení součástek přípravku.

obvodu IO2. Následuje ještě sledovač s operačním zesilovačem IO4. Na svorce označené Uvst lze pak výstupní signál obvodu odebrat.

Hodinový (přepínací) signál pro SC obvod a pro vzorkovací obvod se přivádí na vstup Us. Pro úpravu tohoto signálu (zajištění strmosti hran a požadovaných napěťových úrovní) je použit komparátor IO5 s hysterezi nastavenou rezistory R9 a R10. Diody D5 a D6 jsou ochranné podobně jako D3 a D4. Napájecí napětí přípravku je  $\pm 5$  V. Před přivedením vyššího napětí, případně napětí opačné polarity chrání přípravek pojistky Po1 a Po2 spolu se zenerovými diodami D1 a D2. Filtrace napájecího napětí je zajištěna kapacitami C6, C7, C10 a C11 a dále blokovacími kapacitami C4, C5, C8, C9, C12 a C13 u jednotlivých IO.

## 2. Příprava měření

1. Simulací zjistěte přenosy obou zapojení z obrázku 2, kde spínaný rezistor je realizován postupně všemi způsoby z obrázku 3. Uvažujte idealizovaný případ, kdy zanedbáváme svodové proudy spínačů, jejich odpor v sepnutém stavu, vstupní proudy operačních zesilovačů, atd.
2. Zvolte poměr kapacitorů C2 a C3.
3. Prostudujte katalogové listy použitých integrovaných obvodů a zvolte absolutní hodnoty obou uvedených kapacitorů tak, aby nabíjecí i vybíjecí časové konstanty byly zanedbatelné (jednalo se o idealizované obvody) vůči délce přepínací půlperiody. Uvažujte hodinový (přepínací) kmitočet  $f_c = 10$  kHz.

4. Určete velikost rezistoru  $R_5$  tak, aby se při přepínání uplatnil nabíjecí efekt, tj.  $\tau$  je porovnatelné s délkou trvání poloviny periody  $T_c/2$  hodinového signálu.
5. Přílušné kmitočtové charakteristiky a časové odezvy odsimulujte.

### 3. Postup měření

1. Změřte kmitočtové charakteristiky pro jednotlivé případy, přičemž kmitočet budícího signálu zvyšujte až do velikosti  $f_c$ . Zaměřte se zejména na následující případy:
  - Rezistor realizujte spínaným kapacitorem podle obrázku 3 (a) a 3 (c).
  - Měření proveďte pro oba typy spínaných obvodů z obrázku 2. Pro případ obvodu z obrázku 2 (a) použijte pouze realizaci rezistoru podle obrázku 3 (a).
  - Měření proveďte vzorkovaným vstupním signálem v sudé fázi (použit Sample&Hold obvod).
  - Měření opakujte pro případ  $f_c = 20$  kHz.
2. Změřte časové průběhy výstupního signálu, zejména pro následující případy:
  - Obvod buďte jak vzorkovaným (použit Sample&Hold obvod), tak i nevzorkovaným vstupním signálem v sudé fázi.
  - Rezistor realizujte spínaným kapacitorem podle obrázku 3 (a) a 3 (b).
  - Pro měření použijte např. obvod podle obrázku 2 (a).

Pro měření kmitočtových charakteristik odebírejte výstupní signál např. v sudé fázi, časové průběhy změřte bez výběru fáze (v obou fázích). Měření případně modifikujte podle instrukcí cvičícího.

### 4. Zpracování výsledků

Kmitočtové charakteristiky vynesete zvlášť pro každý obvod tak, že pro jednotlivé případy vynesete modulové charakteristiky do jednoho grafu a stejně i fázové charakteristiky.

Časové průběhy zobrazte na osciloskopu a zaznamenejte zejména pronikání nevzorkovaného průběhu vstupního signálu na výstup (ve vybraných případech) a nabíjecí procesy při přepínání fázi.

Obdržené výsledky komentujte a porovnejte se simulací.

#### Seznam součástek

R1	10 k $\Omega$	C1	1 nF	D1	6,2 V, 2 W
R2	6,8 k $\Omega$	C2	volitelný	D2	6,2 V, 2 W
R3	6,8 k $\Omega$	C3	volitelný	D3	BAT41
R4	10 k $\Omega$	C4	100 nF	D4	BAT41
R5	volitelný	C5	100 nF	D5	BAT41
R6	1 M $\Omega$	C6	47 $\mu$ F	D6	BAT41
R7	1 k $\Omega$	C7	100 nF	IO1	LF398
R8	47 k $\Omega$	C8	47 $\mu$ F	IO2	LTC1043
R9	10 k $\Omega$	C9	100 nF	IO3	LT1055
R10	68 k $\Omega$	C10	47 $\mu$ F	IO4	LF356
R11	470 $\Omega$	C11	100 nF	IO5	LM311
		C12	47 $\mu$ F	Po1	100 mA, F
		C13	100 nF	Po2	100 mA, F
		C14	10 nF		