

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TEORETICKÉ A EXPERIMENTÁLNÍ ELEKTROTECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ELECTRICAL
ENGINEERING

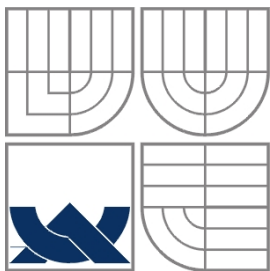
DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ ANALOGOVÝCH SIGNÁLŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

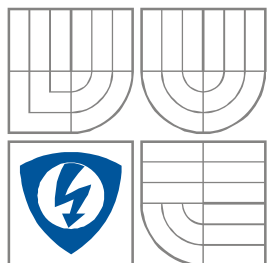
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR ČERMÁK

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TEORETICKÉ A EXPERIMENTÁLNÍ
ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ELECTRICAL
ENGINEERING

DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ ANALOGOVÝCH SIGNÁLŮ DIGITAL PROCESSING ANALOG SIGNAL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Petr Čermák

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Milan Murina, CSc.

BRNO, 2008

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Petr Čermák
Bytem: Jitkov 87, Jitkov, 58301
Narozen/a (datum a místo): 29. května 1986 v Havlíčkově Brodě

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací
technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
 - ☐ diplomová práce
 - ☒ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Digitální zpracování analogových signálů

Vedoucí/ školitel VŠKP: doc. Ing. Milan Murina, CSc.

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli* :

- ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 6. června 2008

.....
Nabyvatel

.....
Autor

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Autor: Petr Čermák

Název závěrečné práce: Digitální zpracování analogových signálů

Název závěrečné práce ENG: Digital conversion of analog signals

Anotace závěrečné práce: Práce se zabývá problematikou digitálního zpracování analogového signálu. V práci je proveden rozbor všech částí řetězce pro zpracování analogového signálu. Vstupní veličinou je signál z měřicí cívky, který je následně zesílen a přiveden do vzorkovače. Navzorkovaný signál je zpracován A/D převodníkem a následně poslán na paralelní port. Na základě získaných údajů je navrženo schéma pro zpracování vzorku. Přenos na paralelní port je uskutečněn ve dvou krocích, kdy se nejprve převede jedna část slova a následně zbylá část. Mezi převodníkem a vzorkovačem je vzájemná vazba a synchronizace. Oba dva jsou řízeny ze stejné řídicí sběrnice.

Anotace závěrečné práce ENG: My work is focused on digital elaboration of the analog signal. In my work the analysis has been carried out in all parts of digit chains processing analog signal. The entranced variable is signal from measuring coil, which is afterwards strengthen and transfer to a sampler. The sample signal is processed by an A/D converter and then sends to a parallel port. On the basis of acquired data the scheme has been constructed for sample processing. The transfer to the parallel port is done (made) in two steps, at first one part of the word is transferred and then the rest of the word follows. Between the converter and sampler is tight relationship and synchronization. Both of them are managed from one central bus.

Klíčová slova: Analogový signál, A/D převodník, zpracování vzorku, paralelní port, vzorkovací obvod, digitální signál

Klíčová slova ENG: Analog signal, A/D converter, sample processing, parallel port, sample and hold, digital signal

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Typ závěrečné práce: bakalářská práce

Datový formát elektronické verze: pdf

Jazyk závěrečné práce: čeština

Přidělovaný titul: Bc.

Vedoucí závěrečné práce: doc. Ing. Milan Murina, CSc.

Škola: Vysoké učení technické v Brně

Fakulta: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav / ateliér: Ústav radioelektroniky

Studijní program: Elektrotechnika, elektronika, komunikační a řídicí technika

Studijní obor: Elektronika a sdělovací technika

Abstrakt

Práce se zabývá problematikou digitálního zpracování analogového signálu. V práci je proveden rozbor všech částí řetězce pro zpracování analogového signálu. Vstupní veličinou je signál z měřicí cívky, který je následně zesílen a přiveden do vzorkovače. Navzorkovaný signál je zpracován A/D převodníkem a následně poslán na paralelní port. Na základě získaných údajů je navrženo schéma pro zpracování vzorku. Přenos na paralelní port je uskutečněn ve dvou krocích, kdy se nejprve převede jedna část slova a následně zbylá část. Mezi převodníkem a vzorkovačem je vzájemná vazba a synchronizace. Oba dva jsou řízeny ze stejné řídicí sběrnice.

Klíčová slova

Analogový signál, A/D převodník, zpracování vzorku, paralelní port, vzorkovací obvod, digitální signál

Abstract

My work is focused on digital elaboration of the analog signal. In my work the analysis has been carried out in all parts of digit chains processing analog signal. The entranced variable is signal from measuring coil, which is afterwards strengthen and transfer to a sampler. The sample signal is processed by an A/D converter and then sends to a parallel port. On the basis of acquired data the scheme has been constructed for sample processing. The transfer to the parallel port is done (made) in two steps, at first one part of the word is transferred and then the rest of the word follows. Between the converter and sampler is tight relationship and synchronization. Both of them are managed from one central bus.

Keywords

Analog signal, A/D converter, sample processing, parallel port, sample and hold, digital signal

Bibliografická citace mé práce:

ČERMÁK, P. *Digitální zpracování analogových signálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 63 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Milan Murina, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma **Digitální zpracování analogových signálů** jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 6. června 2008

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Milanu Murinovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 6. června 2008

.....
podpis autora

Obsah:

OBSAH:	11
SEZNAM OBRÁZKŮ	13
SEZNAM TABULEK	14
1. ÚVOD	15
2. ANALOGOVÉ SIGNÁLY	16
2.1 DEFINICE ANALOGOVÉHO SIGNÁLU	16
2.2 ZPRACOVÁNÍ ANALOGOVÉHO SIGNÁLU	17
3. DIGITÁLNÍ SIGNÁLY	18
3.1 DIGITÁLNÍ SIGNÁL	18
3.2 ZPRACOVÁNÍ DIGITÁLNÍHO SIGNÁLU	18
3.3 VÝHODY A NEVÝHODY	20
4. ZPRACOVÁNÍ DIGITÁLNÍCH SIGNÁLŮ	22
4.1 ZESÍLENÍ ANALOGOVÉHO SIGNÁLU	22
4.2 VZORKOVÁNÍ SIGNÁLU	22
4.3 PŘEVOD VZORKU A/D	24
4.4 SÉRIOVÉ A/D PŘEVODNÍKY	25
4.5 PARALELNÍ A/D PŘEVODNÍKY	26
4.6 OSTATNÍ DRUHY PŘEVODNÍKŮ	26
4.7 ZPRACOVÁNÍ DIGITALIZOVANÉHO SIGNÁLU	29
4.7.1 Sériový port	29
4.7.1 Paralelní port	30
5. VSTUPNÍ ZESILOVAČ	35
5.1 PARAMETRY ZESILOVAČŮ	35
5.2 ROZDĚLENÍ OPERAČNÍCH ZESILOVAČŮ DLE VYUŽITÍ	37
<i>Automaticky nulovaný zesilovač</i>	38
5.3 ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ OPERAČNÍCH ZESILOVAČŮ	39
5.3.1 Invertující zapojení.....	39
5.3.2 Neinvertující zapojení	40
5.3.3 Diferenční zesilovač	41
5.4 ZAPOJENÍ VSTUPNÍHO ZESILOVAČE	42
5.4.1 Požadavky na vstupní zesilovač	42
6. VZORKOVACÍ OBVOD	45
6.1 ZÁKLADNÍ PRINCIP VZORKOVAČE	45
6.2 OBECNÉ ZAPOJENÍ VZORKOVACÍHO OBVODU	45
6.3. ZAPOJENÍ VZORKOVACÍHO ZESILOVAČE	47

7. REALIZACE A/D PŘEVODU	49
7.1 A/D PŘEVODNÍK	49
7.2 REALIZACE A/D PŘEVODU.....	52
7.2.1 Vzorkovač	52
7.2.2 A/D převodník	53
7.2.2 Komunikace s okolím	56
8. REALIZACE PŘÍPRAVKU	57
8.1 DESKA PLOŠNÉHO SPOJE	58
8.2 SEZNAM SOUČÁSTEK	60
9. ZÁVĚR.....	61
LITERATURA	62
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	63

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Šíření signálu.....	16
Obr. 2.2 Průběh sinusového signálu.....	16
Obr. 2.3 Zpracování analogového signálu.....	17
Obr. 3.1 Příklad digitálního signálu.....	18
Obr. 4.1 Vzorkovací signál.....	22
Obr. 4.2 Vzorkovaný signál.....	22
Obr. 4.3 Spektrum vzorkovacího signálu.....	23
Obr. 4.4 A/D převodník.....	24
Obr. 4.5 Jednoduchý A/D převodník.....	25
Obr. 4.6 Zapojení paralelního A/D převodníku.....	26
Obr. 4.7 Převodník f/U	27
Obr. 4.8 Převodník U/f	27
Obr. 4.9 Průběhy napětí u_c a u_2	28
Obr. 4.10 Příklady výstupu z A/D převodníku.....	28
Obr. 4.11 Sériový port.....	29
Obr. 4.12 Hodnoty logických úrovní a napětí u RS 232.....	30
Obr. 4.13 Přiřazení signálů LPT portu 25 pinovému D-SUB konektoru.....	30
Obr. 4.14 Časový průběh komunikace v klasickém SPP módu.....	31
Obr. 4.13 Přiřazení pinů portu k danému registru.....	32
Obr. 4.15 Přiřazení a popis signálů v EPP módu.....	33
Obr. 4.16 Časový průběh komunikace v rozšířeném EPP módu.....	34
Obr. 5.1 Schématická značka OZ.....	35
Obr. 5.6 Automatický nulovaný zesilovač.....	38
Obr. 5.2 Základní zapojení invertujícího zesilovače.....	39
Obr. 5.3 a) Základní zapojení neinvertujícího zesilovače.....	40
Obr. 5.5 Diferenční (rozdílový) zesilovač.....	41
Obr. 5.8 Zapojení zesilovače s přepínačem ve zpětné vazbě.....	43
Obr. 6.1 Jednoduchý vzorkovací zesilovač.....	45
Obr. 6.2 Princip vzorkování v čase.....	46
Obr. 6.3 Vzorkování spojitého signálu.....	47
Obr. 6.4 Vnitřní struktura zapojení vzorkovače HA5320.....	47
Obr. 7.1 12 bitový převodník MAX162.....	49
Obr. 7.2 Zapojení vzorkovače s A/D převodníkem.....	50
Obr. 7.3 Celkové zapojení přípravku.....	51
Obr. 7.5. Práce Sample&Hold.....	52
Obr. 7.4 Časový průběh Slow Memory Read- Paralel Read.....	54
Obr. 7.5. Časový průběh Slow Memory Read- Two Byte Read.....	54
Obr. 7.6 Časový průběh ROM Mode –Parallel Read.....	55
Obr. 7.6 Časový průběh ROM Mode – Two Byte Read.....	56
Obr. 8.1 Schéma v programu Eagle.....	57
Obr. 8.2 Celkový pohled ze strany součástek.....	58
Obr. 8.3 Celkový pohled na cesty tištěného spoje.....	58
Obr. 8.4 Destička tištěného spoje.....	59
Obr. 8.5 Osazená destička tištěného spoje.....	59

Seznam tabulek

<i>Tab. 1 Přiřazení pinů sériového portu</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 2 Napěťové úrovně datových signálů</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 3 Napěťové úrovně řídicích signálů</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 3 Přiřazení pinů D-Type 25 pin konektoru paralelní portu</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 4 Vlastnosti vstupního zesilovače ICL7650</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 5 Vypočítané hodnoty odporů ve zpětné vazbě</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 6 Vlastnosti vzorkovače HA 5320</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 7 Tabulka funkce NAND</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 8 Data na sběrnicích v režimu - Slow Memory Mode (Parallel Read)</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 9 Data na sběrnicích v režimu - Slow Memory Mode (Two Byte Read)</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 10 Data na sběrnicích v režimu - ROM Mode (Parallel Read)</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 11 Data na sběrnicích v režimu - ROM Mode (Two Byte Read)</i>	<i>56</i>

1. Úvod

Zpracování signálů je v dnešní době velmi rozšířenou oblastí. V mnoha oborech se zabýváme signály, které dále upravujeme a měníme jejich vlastnosti. Výsledné signály potom zpracováváme a vyhodnocujeme. Hlavní náplní práce je zpracování analogového signálu z měřicí cívky a jeho následné převedení na signál digitální. Komunikace s okolím bude zajištěna pomocí portu.

Základem digitálního zpracování je převodník typu A/D. Tedy převodník, který nám převede analogový signál na signál digitální, ten jsme schopni zpracovat pomocí již zmíněného portu. Výsledné hodnoty pak zaznamenáme a dále zpracujeme na základě dalších pokynů. Měřicí přípravek se bude skládat ze vstupního zesilovače, který nám potřebně zesílí vzorek z měřicí cívky pro vstup do vzorkovače, jehož vstupní napětí je v rozmezí $\pm 2,5$ V.

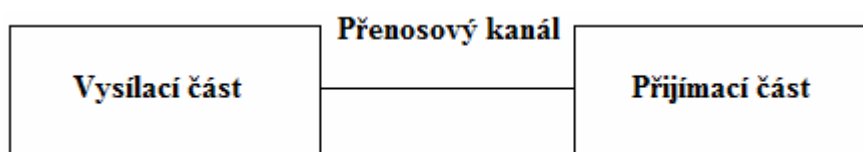
Získaný navzorkovaný signál bude přiveden na A/D převodník, kde dojde k převodu a následnému odeslání na port. Velmi důležitou částí této práce je zpracování a následné vyhodnocení měření v PC. V dnešní době existuje mnoho druhů jak komunikovat s PC, ale před vysíláním dat je velmi důležité signál navzorkovat ve zvoleném vzorkovači a poté zpracovat v A/D převodníku. Paralelní port je velmi ověřeným portem v měřicí technice a proto bude v této práci využit, jeho rychlost posílání dat je dostačující stále i v dnešní době. Jelikož paralelní port obsahuje pouze 8 vstupů pro data. Budeme muset nejprve z převodníku poslat 8 bitů a následně zbylé 4 bity jelikož máme k dispozici 12 bitový převodník. V poslední části práce byla provedena realizace celého řetězce pro digitální zpracování analogových signálů. Pomocí programu Eagle firmy CadSoft byla navržena destička tištěného spoje. Po osazení proběhlo oživení plošného spoje.

2. Analogové signály

Definice signálu:

Signál (z latinského *signalis* - dávat znamení)

Signál je obecně chápán jako nositel informace. Pokud má signál určitý význam, můžeme ho použít k přenosu nějaké zprávy. I v případě že, nemá předem známý význam, může být nositelem informace. Pokud dojde k přenosu signálu, tak místo odkud se nám signál vysílá se nazývá vysílač a místo kam signál směřuje a kde končí se nazývá přijímač. Signály se přenášejí přenosovou cestou. Nikdy se žádný signál nemůže šířit rychlostí, která je větší, než rychlost světla.

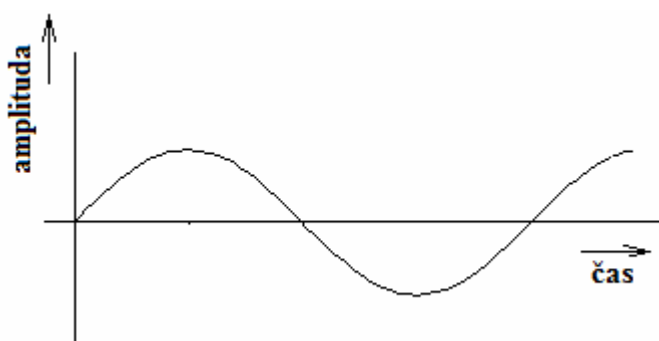


Obr. 2.1 Šíření signálu

2.1 Definice analogového signálu

Základní vlastností analogového signálu je, že má nekonečně mnoho stavů. Je to hlavní a zásadní rozdíl mezi analogovým a digitálním signálem, který nabývá na rozdíl od analogového signálu pouze konečného počtu stavů.

Pod pojmem spojitý signál rozumíme spojitou reálnou nebo komplexní funkci jedné spojitě reálné proměnné t . Pokud mluvíme o dvojrozměrných a nebo vícerozměrných signálech, tak počet nezávislých proměnných není omezen. Tyto signály se tedy označují běžným názvem jako je analogový signál. Velmi často bývají reprezentovány průběhy fyzikálních veličin. Nejčastější nezávislou proměnou je čas, odtud se tyto signály někdy potom označují jako signály se spojitým časem. Ovšem toto označení může být někdy velmi zužující, jelikož může být nezávisle proměnou také např. prostorový rozměr. Také je možno zahrnout funkce, které mají tu vlastnost že nejsou po částech spojitě a taky některé signály, které tyto vlastnosti nemají, budeme interpretovat jako jejich limitní případy.



Obr. 2.2 Průběh sinusového signálu

2.2 Zpracování analogového signálu

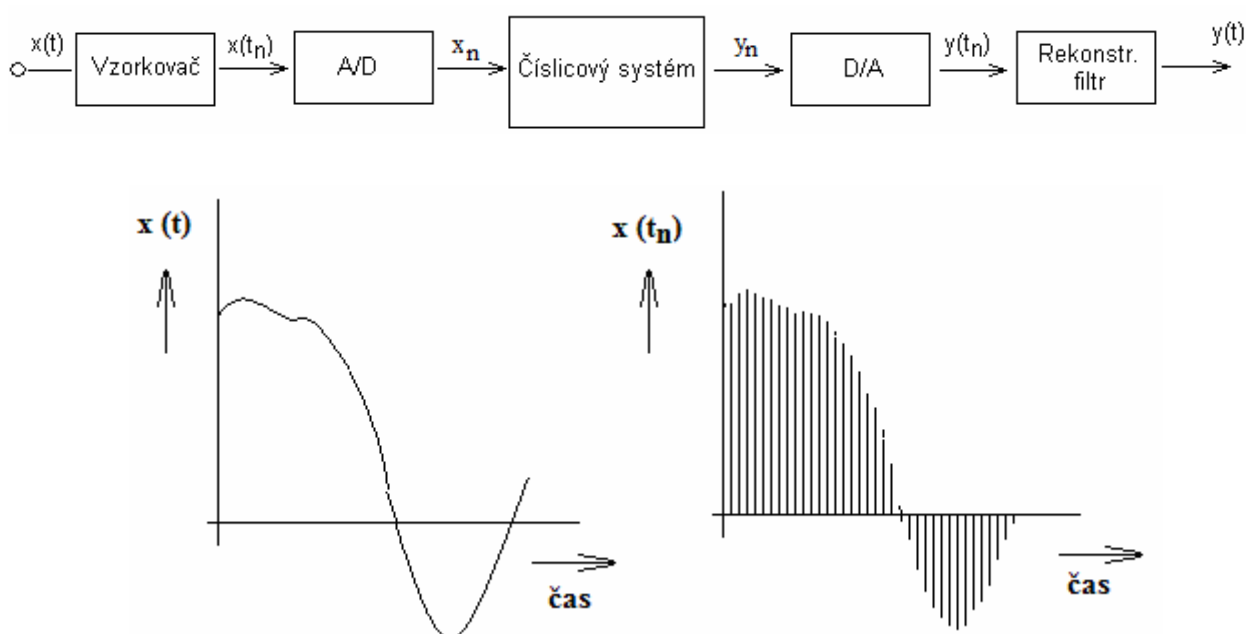
Zpracování signálů (spojitých) v závislosti na čase je možné ve fyzikálních soustavách. Tyto soustavy pracují v čase spojitě a je u nich definováno jeden a nebo také více vstupů a výstupů pro spojité signály. Tímto způsobem vzniklá soustava je poté matematicky charakterizována diferenční rovnicí, případnou analýzou lze získat informaci na jejích vstupech nebo výstupech. Tyto vlastnosti jsou pro nás důležité pro zpracování signálů.

Pro zpracování analogových signálů slouží vzorkování. Vzorkování nám slouží k vyjádření spojitého signálu $f(t)$ jeho diskrétními vzorky $f_n = f(t_n)$ pro určité hodnoty t_n nezávislé proměnné t .

Pokud má být zpracován známý analogový signál, je zapotřebí na jeho vstupu i výstupu diskrétního systému zařadit vhodné bloky. Hlavními bloky takového zpracování jsou analogově - číslicový a číslicově - analogový převodník. Další a velmi důležitou podmínkou je, aby signál splňoval vzorkovací teorém s ohledem na zvolený vzorkovací kmitočet. Je třeba před vzorkováním zařadit dolnofrekvenční.

V současnosti je díky vysokému rozvoji techniky možno použít velmi vysoce kvalitní, přesné a hlavně rychlé převodníky. Pro většinu navrhovaných aplikací se jedná o integrované obvody. [1]

Řetězec číslicového zpracování analogového signálu:

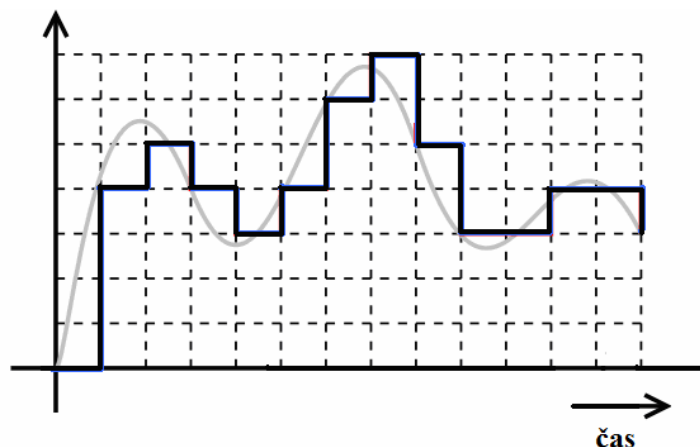


Obr. 2.3 Zpracování analogového signálu

3. Digitální signály

3.1 Digitální signál

Digitální signál nám nabývá pouze konečného počtu stavů. Je vytvořen z posloupnosti vzorků, které mohou nabývat pouze omezeného počtu hodnot. Tento signál bývá velmi často binárním signálem. Přenášené hodnoty binárního signálu tedy odpovídají dvou číslům jednička a nula.



Obr. 3.1 Příklad digitálního signálu

3.2 Zpracování digitálního signálu

Zpracování signálu lze charakterizovat jako přepočítání vstupní posloupnosti známých hodnot na posloupnost výstupní. Soustavy tento přepočítání realizující jsou označovány jako diskrétní systémy. Z hlediska matematiky jsou popsány diferenčními rovnicemi. Pokud provedeme jejich analýzu obdržíme informace o vlastnostech soustavy.

Tento výpočet bývá realizován číslicově a nebo analogově pomocí programového počítače. V případě, že zpracováváme diskrétní spojitý signál $x(t)$ a na výstupu požadujeme získat opět spojitý signál $y(t)$, je na prvním místě vzorkovač. Ten nám v zadaných časových okamžicích $t(n)$ získává vzorky vstupu $x(n)$, které tvoří vstupní posloupnost diskrétního systému. Poté na základě diskrétní posloupnosti $y(n)$, je zapotřebí vytvořit spojitou funkci označenou $y(t)$ pomocí rekonstrukčního interpolátoru.

Jak bylo výše uvedeno, diskrétní signál může být realizován také číslicově, má-li akceptovat vstup, který je tvořený vzorky analogového signálu. Pokud bude poskytovat obdobný výstup, musí svému vlastnímu číslicovému systému ještě předcházet blok s analogově - číslicovým

převodníkem a poté za ním následovat převodník číslicově analogový. Číslicový systém je velmi důležitý článek. Pokud jde o zpracování časových posloupností musí pracovat v režimu tzv. reálného času. Musí být velice výkonný, aby v době mezi dvěma vzorky dokázal zvládnout celý algoritmus výpočtu jednoho výstupního vzorku. Jedním ze způsobu realizace je univerzální počítač, který je řízen vhodným programem.

Digitální podobu analogového signálu $f(t)$ získáme jeho vzorkováním a kvantováním. Pod pojmem vzorkování si můžeme představit výběr určitých hodnot a nebo úseků $f(t)$ v časových okamžicích. Analogový signál je násoben funkcí $g(t)$. Tento vztah je možné vidět v rovnici: [1]

$$g(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left[1\left(t - mT + \frac{\Gamma}{2}\right) - 1\left(t - mT + \frac{\Gamma}{2}\right) \right] \quad (3.1)$$

Vzorkovací funkce je tvořena periodickou posloupností impulsů délky t a periody T . Diskretizovaný signál pak podle (3.2) můžeme napsat ve tvaru:

$$\bar{f}(t) = f(t)g(t) \quad (3.2)$$

Spektrum diskretizovaného signálu je pak ve tvaru: [1]

$$\bar{F}(j\omega) = \frac{\Gamma}{T} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \frac{\sin \frac{m\pi\Gamma}{T}}{\frac{m\pi\Gamma}{T}} F\left(j\omega - jm\frac{2\pi}{T}\right) \quad (3.3)$$

Spektrum impulsového signálu $\bar{F}(j\omega)$, se skládá ze dvou částí a to z původního spektra $F(j\omega)$ analogového signálu $f(t)$ a druhé části, která obsahuje spektra posunutá s periodou $2\pi/T$. V obecném případě se nám jednotlivá posunutá spektra mohou překrývat. Pokud provedeme diskretizaci signálu s překrývajícími spektry dochází k jeho zkreslení z důvodu nesplnění podmínky regulárního vzorkování ve vztahu (3.1).

Číslicové zpracování má v současné době široké využití:

- možnost výběru určité složky signálu ze směsi více signálů
- odstranění zkreslení signálu
- určitá možnost omezení šumu např. audiotechnika

Dalším hodně užitečným typem zpracování je **restaurace signálu**. Jedná se při ní o obnovení signálu z jeho zkreslené a zašuměné podoby.

3.3 Výhody a nevýhody

V dnešní době má číslicové zpracování velmi široké využití. Hlavním cílem zpracování signálu je vytvoření signálu, který bude aspoň z nějakého hlediska lepší než signál vstupní. V mnoha aplikacích změnou nějakého parametru signálu docílíme mnohem lepších vlastností celé aplikace, které jsou požadovány. Takto vzniklá aplikace pak plní požadavky spotřebitele. [1]

Nevýhody:

Nevýhodou diskrétních metod je limitace zpracovávaného rozsahu frekvence do Nyquistovy meze, tj. do poloviny vzorkovacího kmitočtu. Dnešní doba umožňuje realizovat vyšší a vyšší kmitočet, který dosahuje ve špičkových aplikacích stovek MHz.

Dalším měřítkem byla v minulých letech často taky cena zařízení, která bylo poměrně vysoká. Tak nebylo možno obecnějšího použití číslicových metod. Později s rozvojem techniky zvláště v oblasti číslicové techniky tato překážka pomalu mizí. V dnešní době je dokonce řada aplikací, v nichž se číslicové zpracování užívá nejen pro dobré parametry, ale taky z ekonomických důvodů. A tak je v dnešní době patrné vidět, že dosavadní těžiště číslicového zpracování ve vědeckých aplikacích postupně míří i to oblasti sdělovací a spotřební elektroniky.

Výhody:

Časová stálost číslicového zpracování je dána tím, že jsou v systému obsaženy konstanty. Pokud je tedy splněna funkčnost systému, nemůže dojít ke změně charakteristik zpracování. Není tedy zapotřebí žádného nastavení nebo ladění, které je nutné zpravidla u analogových signálů, kde často dochází i k opakovanému ladění. Zde se údržba vztahuje pouze na ověření funkčnosti. Jedná se o velmi velkou výhodu, kdy je číslicové zpracování signálu reprodukovatelné.

Pružnost zpracování je umožněno díky tomu, že charakteristiky diskrétního signálu jsou udávány konstantami, ty můžeme snadno měnit. Změnu frekvenční charakteristiky lze dosáhnout pouhou změnou vzorkovacího kmitočtu nebo přeprogramováním konstant. Pokud systém realizujeme číslicově, funkce je potom dána vnitřním programem. Pokud tedy provedeme změnu programu dosáhneme libovolné změny funkce a tím následovně i její charakteristik.

Časově neomezená paměť číslicových systémů nám umožňuje pracovat i s velmi pomalými signály. Příkladem může být např. řízení rozsáhlých celků s velkými časovými konstantami. Dále je velkou výhodou realizace paměťových prvků na rozdíl od analogových paměťových prvků, které obsahují velké kapacity a indukčnosti. Digitální paměti se vyznačují větší spolehlivostí jejich snadnou realizací.

Slučitelnost s informačními systémy je dána velmi snadnou kompatibilitou s dalšími prvky technických realizací. Možnost zpracování měření např. v automatizovaní výrobě, dopravním provozu.

U těchto systémů nám také odpadá problém se vzájemným ovlivňováním spolupracujících bloků. Ty musíme u analogových systému řešit. Z těchto vlastností vyplývá možnost spolehlivé realizace komplikovaných způsobů zpracování. Toto zpracování by se velmi těžko řešilo analogově. V mnoha moderních aplikacích představují číslicové metody zpracování jedinou alternativu.

4. Zpracování digitálních signálů

4.1 Zesílení analogového signálu

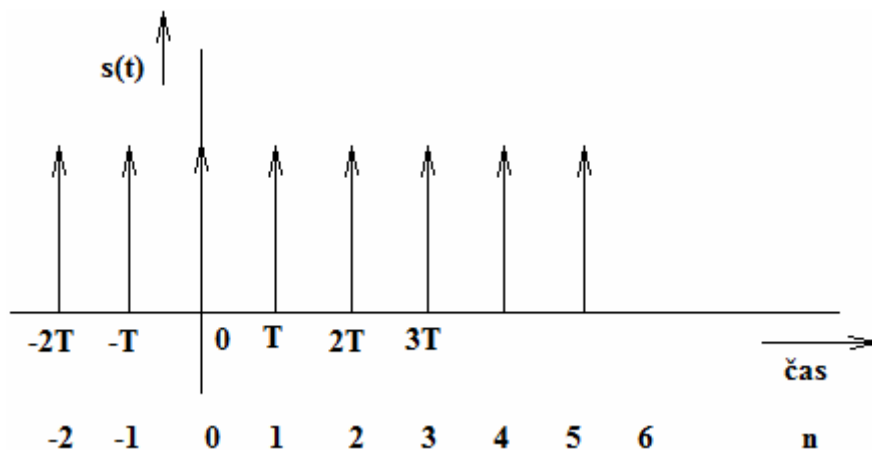
K zesílení analogového signálu se používají zesilovače. Jedná se o elektronické obvodové signály, které se používají k zesílení slabých elektronických signálů. Při zesilování se zvětšuje pouze amplituda signálu, tvar a frekvence zůstávají nezměněny.

4.2 Vzorkování signálu

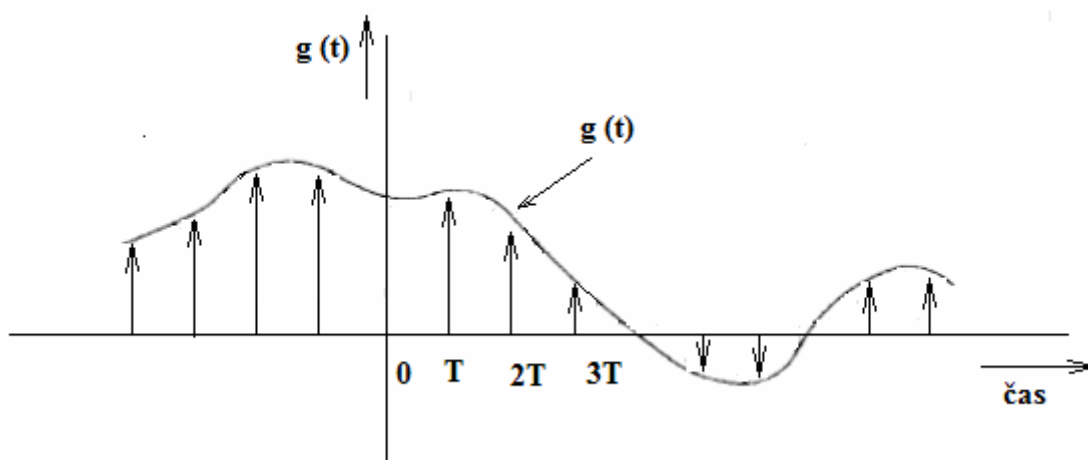
Vzorkování slouží k vyjádření spojitého signálu $f(t)$ jeho diskrétními vzorky $f_n = f(t_n)$ pro určité hodnoty t_n nezávisle proměnné t . Zpravidla jsou tyto vzorky ekvidistatní, tj. $t_n = n \cdot T$, kde T je vhodná reálná konstanta. [1]

$$f_n = f(n \cdot T) \quad (4.1)$$

T – perioda vzorkování



Obr. 4.1 Vzorkovací signál

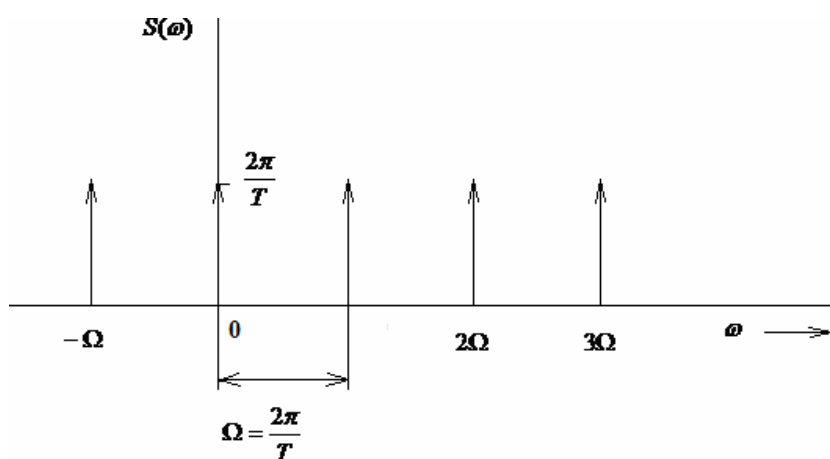


Obr. 4.2 Vzorkovaný signál

Spektrum vzorkovaného signálu (jeho spojitou Fourierovu transformaci) vyjádříme pomocí spektra původního analogového signálu. Využijeme zde již známých poznatků z teorie spojitého signálu, zejména konvolučního teorému: [1]

$$F_V(\omega) = \Gamma\{f(t) * v(t)\} = \frac{1}{2\pi} F(\omega) * V(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega - u) V(u) du \quad (4.2)$$

Hvězdička zde označuje operátor spojité konvoluce, definovaný integrálem na pravé straně, a $F(\omega)$, resp $V(\omega)$ jsou spektra (integrální Fourierovy transformace) spojitého signálu, resp. vzorkovacího signálu např.



Obr. 4.3 Spektrum vzorkovacího signálu

Musí být splněna vzorkovací kmitočet f_s podle Shanon-Kotelníkova teorému:

$$f_s \geq 2 f_{x \max} \quad (4.3)$$

f_s - vzorkovací frekvence

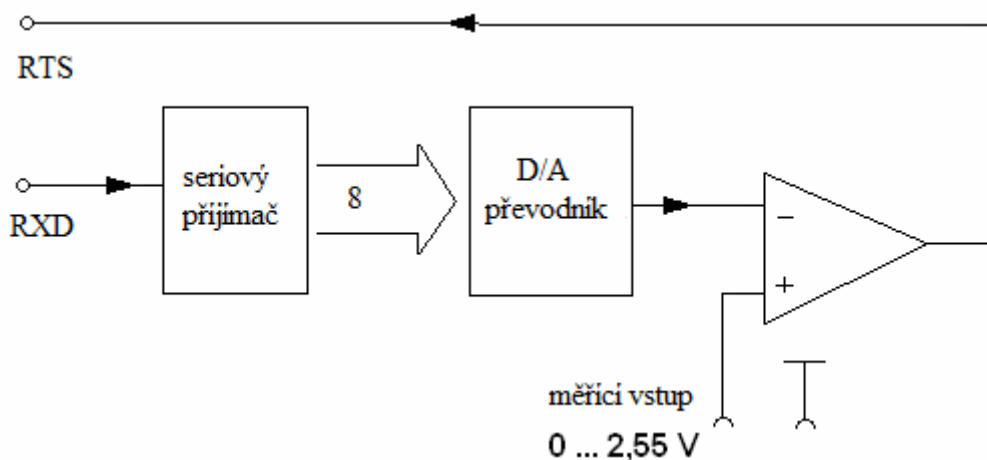
$f_{x \max}$ - maximální přítomná frekvence ve vzorkovaném signálu

Pokud chceme aby byla splněna podmínka Shanon-Kotelníkova teorému, budeme muset vzorkovat signál s frekvencí, která je aspoň dvakrát větší, než je největší přítomná frekvence která je obsažena v signálu. Při nedodržení Shanon-Kotelníkova teorému, vznikne překrytí spekter.

4.3 Převod vzorku A/D

Digitálně analogový převodník je možno používat nejenom k výstupu napětí, ale lze ho použít pro měření. Při pohledu na následující obrázek je možno vidět, že je potřeba připojit ještě komparátor, který porovnává námi měřené napětí s napětím na vstupu převodníku D/A. Obdržený výsledek porovnání se musí zaslat zpět do počítače. Tento způsob spočívá v tom, že nám počítač mění napětí na výstupu tak dlouho, až je prakticky rovno námi měřenému napětí. K samotnému chodu je potřeba pouze posuzování jestli je hodnota větší/menší. To je možné přenášet digitální linkou jako log. 1 a nebo log. 0.

Konstrukce jednoduchého AD převodníku:



Obr. 4.4 A/D převodník

Použitý komparátor je vytvořen pomocí zesilovače. Signál na výstupu komparátoru je možné přenášet do PC jako digitální informaci. RTS vývod nám zde slouží jako vstup pro přenos informace větší/menší, jehož signál je přiveden na vstup CTS počítače. Tento postup se podobá výběru námi hledaného napětí. Používají se dvě metody. [2]

První metoda: Hodnotu napětí pomalu zvětšujeme po určitých krocích, tak dlouho než se nám komparátor překlopí. Pokud tento stav nastane tak poslední hodnota je výsledek měření.

Druhá metoda: Jedná se o metodu tzv. postupných aproximací. Tato metoda si vystačí s 8 kroky pro libovolné měření v měřicím rozsahu. Jako první zkusíme střed měřicího rozsahu (128). Poté v závislosti na výsledku porovnání s měřením napětím se nám odečte a nebo připočítá polovina (64). Následující kroky jsou vždy o polovinu menší. Pokud nastane osmý průchod máme zjištěný bit s nejnižší váhou.

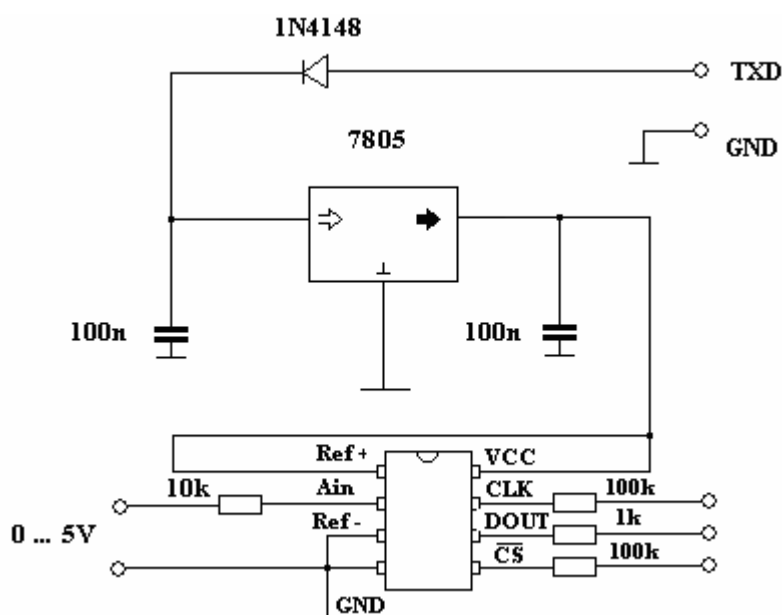
4.4 Sériové A/D převodníky

A/D převodníky mohou využívat pro přenos naměřených hodnot sériový port. Pokud tento port porovnáme s portem paralelním, vystačíme si s menším počtem vodičů. Toho lze využít např. u mikrokontroléru, kde tyto volné linky můžeme využít pro jiné účely. Přenos po sériovém portu probíhá v téměř všech případech synchronně, kdy využijeme dodatečnou linku s hodinovým signálem. Převodníky se seriovým rozhraním jsou hlavně koncipovány pro použití s mikrokontroléry. Tyto zapojení se často mohou obejít i bez dodatečného napájení. Jejich přenosová rychlost není pevně dána, ale je ve velmi širokých mezích volitelná.

Osmibitový AD převodník s obvodem TLC549

Na obr. 4.5 je zapojen osmibitový převodník. [2] Jeho vstupní napětí se nám převede na digitální hodnotu, které bude mít rozlišení 8 bitů. V tomto případě se nám o napájení stará port.. Rozsah měření je v závislosti na referenčním napětí. Je zapotřebí několik řídicích linek pro čtení dat. Obvod TLC549 potřebuje pro komunikaci s počítačem tři linky. Pokud chceme provést samotný převod tak se na velmi krátkou dobu musí objevit vysoká úroveň na lince CS. Poté se námi převáděný byte při vysoké úrovni na CS čte po bitech přes D_{OUT}. Pokud se objeví další kladný hodinový impuls na CLK přivede obvod následující bit na D_{OUT}.

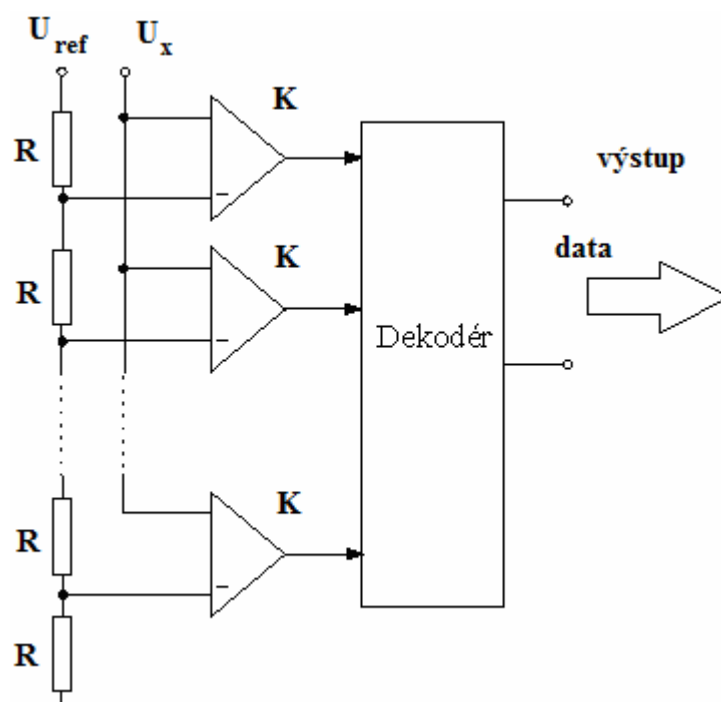
Pokud budeme propojovat převodník se sériovým portem je zapotřebí jen výstup a dva vstupy. Snížení úrovně z 12V na 5V se provede pomocí rezistorů zapojených do série, ty spolu s diodami vytvoří potřebné snížené napětí. Potřebné napájecí napětí se bere s linky TXD. Tato linka je na úrovni H. Použitý regulátor napětí 7805 nám dodává pro TLC549 referenční a napájecí napětí.



Obr. 4.5 Jednoduchý A/D převodník

4.5 Paralelní A/D převodníky

Paralelní převodník se zejména využívá v oblastech, kde jsou rychlejší děje. Odporový dělič, který nám vytvoří napětíové úrovně, které odpovídají vahám binárního čísla je umístěn mezi referenčním napětím a společným vodičem. Na jeden vstup komparátorů je přivedeno napětí měřené a na druhý vstup příslušná komparační úroveň podle váhy. Pokud bude hodnota měřícího napětí rovna nule, bude na všech výstupech komparátorů napětí 0 V. Jakmile začneme zvětšovat měřené napětí, budou se postupně překlápět komparátory K1 až K3. Na výstupech se objeví postupně log. 1. Pokud je měřící napětí maximální bude na všech třech výstupech log. 1. Dekodér potom převede vstupní binární údaje do požadovaného kódu. Doba převodu je v tomto případě závislá na délce přeběhu komparátoru z jedné úrovně do druhé. Nevýhoda tohoto zapojení se nám objeví pokud bude realizován více bitový převodník (počet komparátorů). [11]



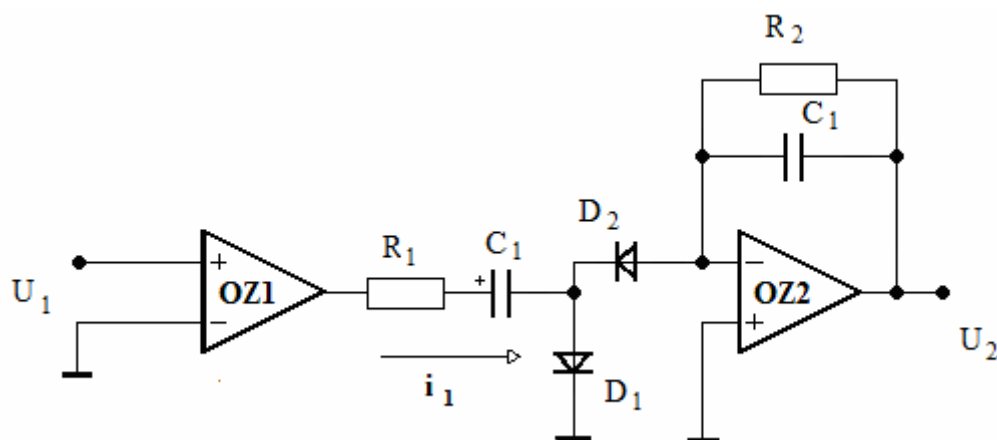
Obr. 4.6 Zapojení paralelního A/D převodníku

4.6 Ostatní druhy převodníků

Převodník kmitočet/napětí

Jedná se o převodník, který nám převede vstupní veličinu (kmitočet) na výstupní veličinu (napětí). Pokud chceme tento převodník realizovat je jednou z možností realizace pomocí tzv. nábojové pumpy, schéma nám ukazuje obr. 4.7. Ten se skládá ze dvou operačních zesilovačů. První zesilovač je zapojen jako komparátor a má funkci tvarovače vstupního průběhu.

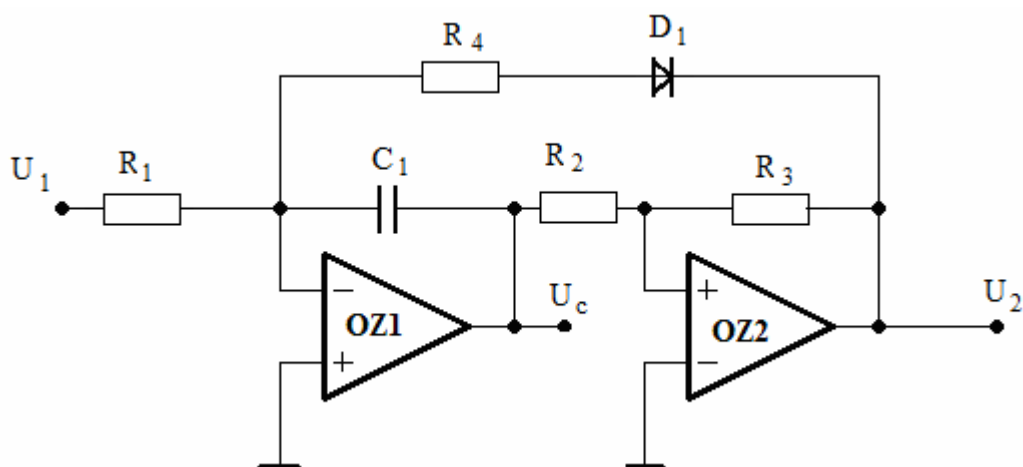
Můžeme tedy říct, že z libovolného vstupního signálu nám vyrábí obdélníkový průběh. Na jeho výstupu se objeví po určitou dobu části periody vstupního signálu $+U_{SAT}$ a pro zbytek periody $-U_{SAT}$.



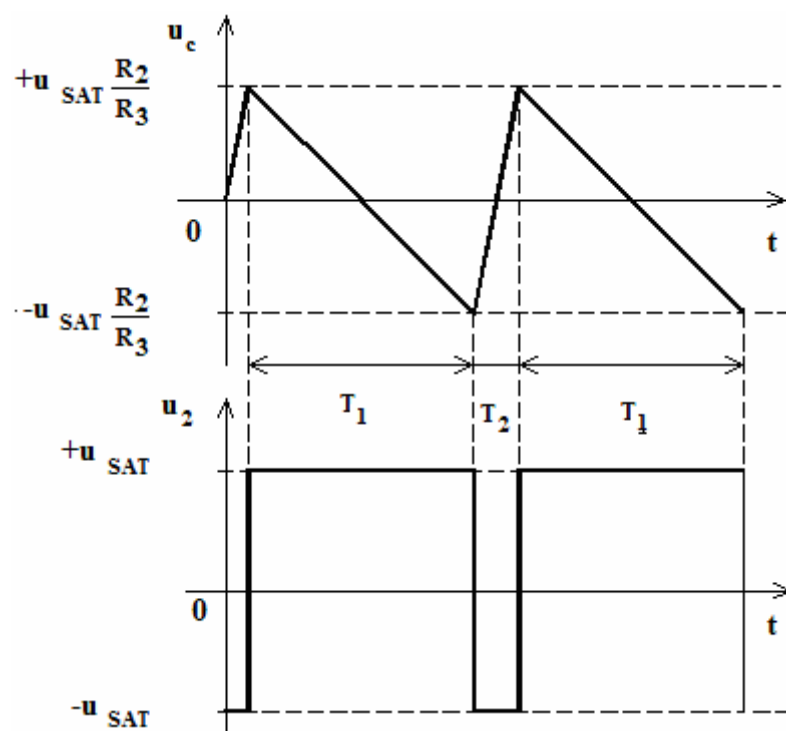
Obr. 4.7 Převodník f/U

Převodník napětí/kmitočet

Dalším možným typem převodníku je převodník jehož vstupní veličinou je napětí a na výstup se nám po převodu objeví frekvence. Jednou z mnoha možností jak vytvořit tento převodník je modifikovaný relaxační generátor. Relaxační generátor lze modifikovat jedním odporem a jednou diodou na převodník napětí/frekvence. Při použití tohoto zapojení je funkce operačních zesilovačů shodná jako u relaxačního generátoru.



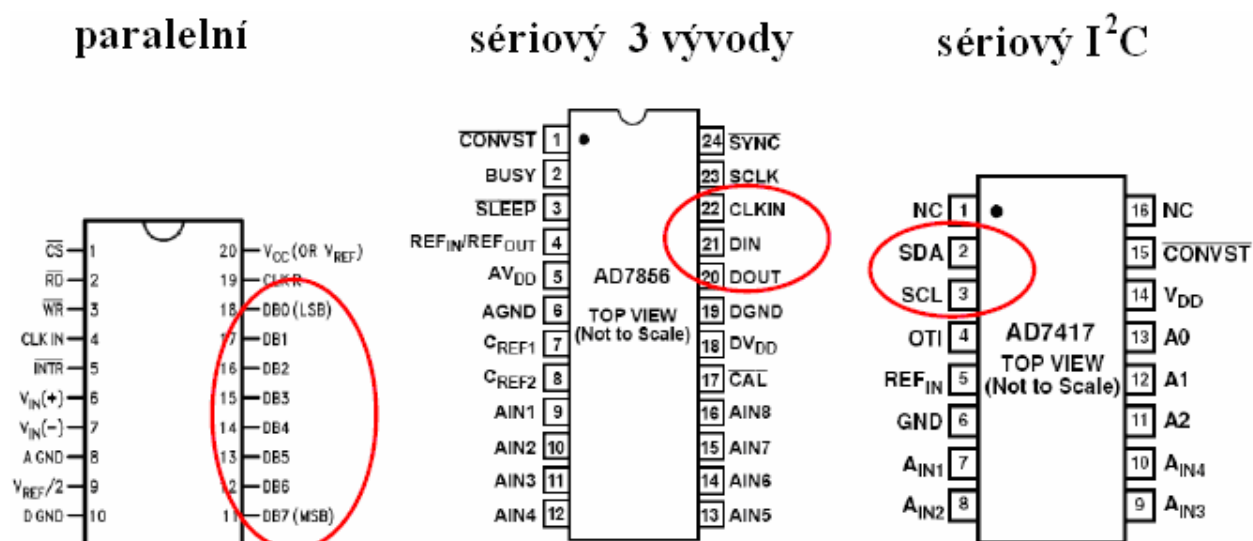
Obr. 4.8 Převodník U/f



Obr. 4.9 Průběhy napětí u_c a u_2

Možnosti výstupu z A/D převodníku :

U převodníků existují různé druhy výstupu pro další zpracování. Pro naši práci bude nejlepším řešením převodník s paralelním výstupem. Jelikož pro rychlé děje se využívá paralelního portu. Tento výstupní signál bude dále zpracován pomocí PC. K propojení s A/D převodníkem nám poslouží vývody DB0 - DB7, které zmíněný převodník obsahuje viz. obr. 4.10.

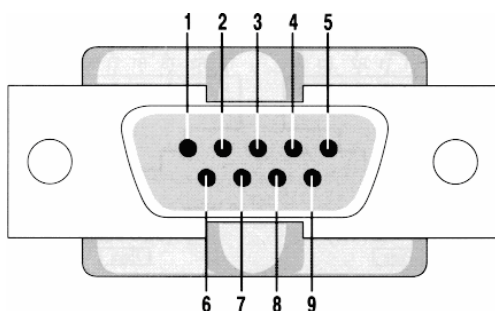


Obr. 4.10 Příklady výstupu z A/D převodníku

4.7 Zpracování digitalizovaného signálu

4.7.1 Sériový port

Je nejstarším rozhraním, známe ho i pod označením V.24. Kvůli sériovému přenosu (bit za bitem) je pomalejší než paralelní rozhraní, je však univerzálnější – pracuje s ním většina periférií. Používá se konektor typu Canon, existují dvě velikosti. Buď má sériový port 25pinů nebo 9pinů. 25-pinový sériový port je stejného provedení jako paralelní port, pro odlišení má na počítači kolíky. 9-pinový konektor je menší, na počítačové zásuvce má také kolíky. [8]



Obr. 4.11 Sériový port

Tab. 1 Přiřazení pinů sériového portu

9 – pinový konektor	Označení	Funkce jednotlivých pinů	I/O
1	DCD	Detektor přijímaného signálu	Vstup
2	RxD	Přijímaná data	Vstup
3	TxD	Vysílaná data	Výstup
4	DTR	Pohotovost terminálu	Výstup
5	GND	Zem	---
6	DSR	Pohotovost vysílače	Vstup
7	RTS	Výzva k vysílání (cesta volná)	Výstup
8	CTS	Pohotovost k vysílání (cesta volná)	Vstup
9	RI	Indikátor zvonění	Vstup

RS 232 využívá pro svojí činnost dvě napěťové úrovně logickou 1 a logickou 0.

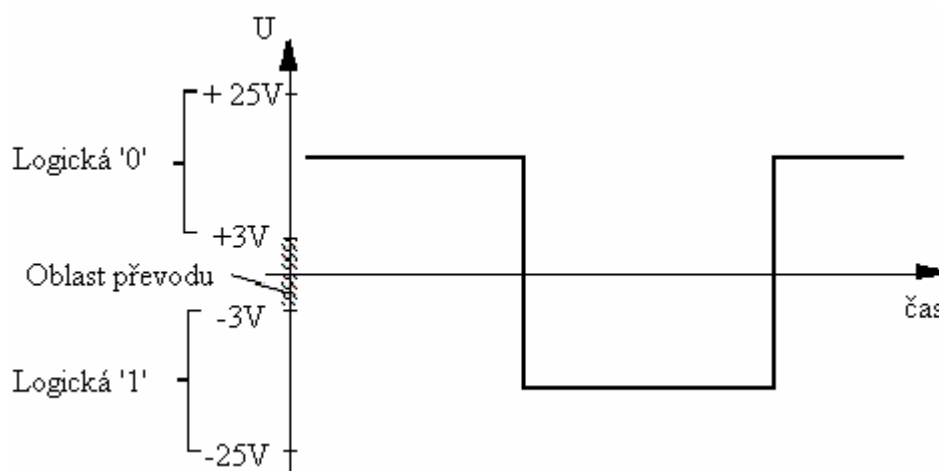
Povolené napěťové úrovně pro RS 232 jsou uvedeny v tab. 2:

Tab. 2 Napěťové úrovně datových signálů

Úroveň	Vysílač	Přijímač
Log. L	+5 V to +15 V	+3 V to +25 V
Log. H	-5 V to -15 V	-3 V to -25 V
Nedefinovaný	-3 V to +3 V	

Tab. 3 Napěťové úrovně řídicích signálů

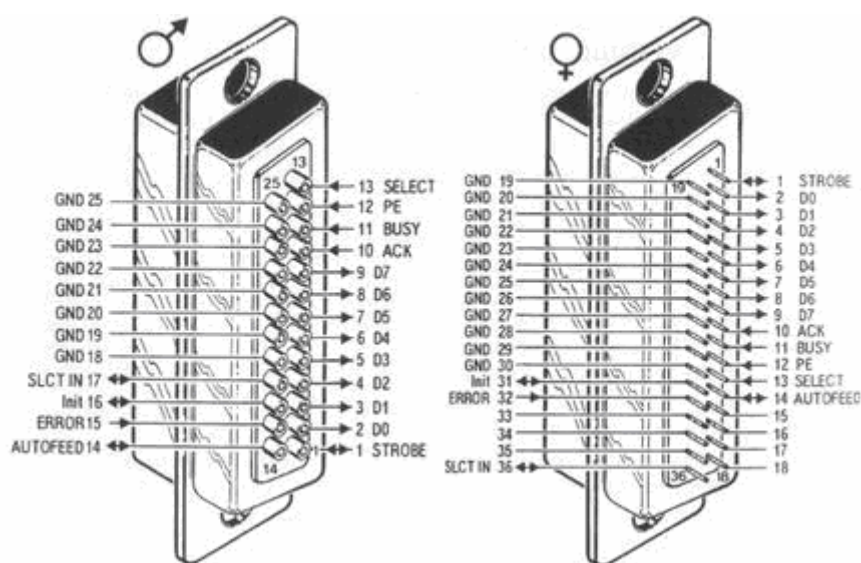
Signál	Driver	Terminátor
"Off"	-5 V to -15 V	-3 V to -25 V
"On"	5 V to 15 V	3 V to 25 V



Obr. 4.12 Hodnoty logických úrovní a napětí u RS 232

4.7.1 Paralelní port

Paralelní port LPT je standardní součástí běžných počítačů PC pro paralelní komunikaci (paralelní přenos bitů signálu) s periferiemi pomocí 17 digitálních linek, které lze rozdělit na 8 datových signálů a 9 signálů pro řízení komunikace. PC s periferií lze spolehlivě propojit na vzdálenost 2m, v praxi lze komunikovat i na vzdálenost max. 5m, při správném stínění datových vodičů komunikačního kabelu. Paralelní port byl v roce 1994 standardizován pod IEEE 1284. [5]



Obr. 4.13 Přiřazení signálů LPT portu 25 pinovému D-SUB konektoru

Tab. 3 Přiřazení pinů D-Type 25 pin konektoru paralelní portu

Pin číslo (D-Sub)	Pin číslo (Centronics)	Signál	Směr In/out	Registr	Hardverově invertovaný
1	1	nStrobe	In/Out	Control	ano
2	2	Data 0	Out	Data	
3	3	Data 1	Out	Data	
4	4	Data 2	Out	Data	
5	5	Data 3	Out	Data	
6	6	Data 4	Out	Data	
7	7	Data 5	Out	Data	
8	8	Data 6	Out	Data	
9	9	Data 7	Out	Data	
10	10	nAck	In	Status	
11	11	Busy	In	Status	ano
12	12	Paper-Out / Paper-End	In	Status	
13	13	Select	In	Status	
14	14	nAuto-Linefeed	In/Out	Control	ano
15	32	nError / nFault	In	Status	
16	31	nInitialize	In/Out	Control	
17	36	nSelect-Printer / nSelect-In	In/Out	Control	ano
18 - 25	19-30	Ground	Gnd		

25 pin D-sub female konektor (obr. 4.13), který je dnes obvykle součástí základní desky PC.

36 pin Centronics female konektor, který se obvykle vyskytuje na tiskárnách a jiných periferních zařízeních.

Paralelní port má 5 módů činnosti : 1) SPP mode

4) EPP Mode

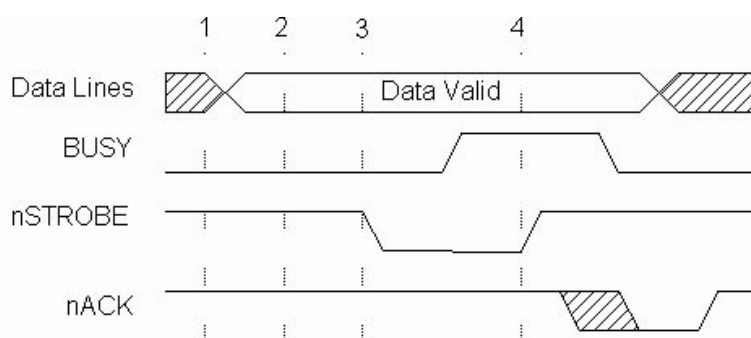
2) Nibble mode

5) ECP Mode

3) Byte mode

SSP mode

Tento základní mód pro paralelní port, byl původně určen pro komunikaci PC s tiskárnou. Rychlost přenosu se pohybuje jen do 150KB/s.



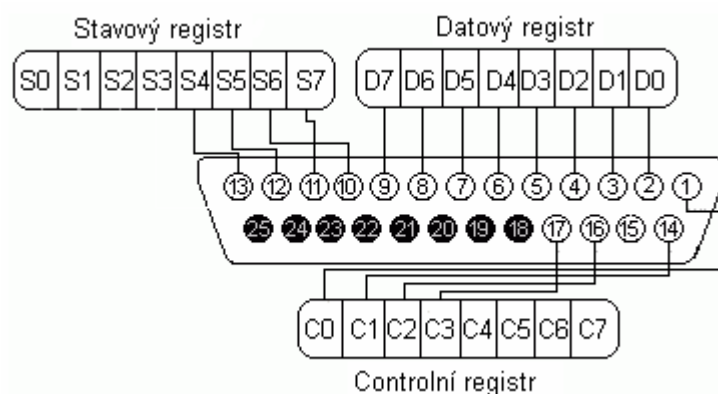
Obr. 4.14 Časový průběh komunikace v klasickém SPP módu

Popis fází přenosu dat:

- data jsou zapsány do datového registru
- program čte stavový registr pro kontrolu jestli není LPT port používán
- jestliže pracuje, změní se stav v kontrolním registru u nSTROBE na nízkou úroveň
- tiskárna či periferie přijme data a potvrdí je signálem nACK, který se změní na nízkou úroveň

Základní SSP mód má 3 základní registry:

- Datový registr (Data) – pro zápis a vysílání dat
- Stavový registr (Status) – pro čtení stavů na lince
- Řídící registr (Control) – pro řízení periferií, které přijímají vysílaná data



Obr. 4.13 *Přiřazení pinů portu k danému registru*

Nibble mode

Tento mód je cestou k získání zpětného kanálu. Je tedy možné uskutečnit obousměrnou komunikaci mezi periferiemi a PC. Nutností je softwarová podpora. Rychlost přenosu je 100KB/s.

Byte mode

Díky vypuštění budiče datových linek, dosáhneme zvýšení kapacity přenosu. Vypuštěním budiče umožníme obousměrnou 8-bitovou komunikaci přes datové linky. Přenosová rychlost tohoto módu je 100 až 200KB/s.

EPP mode (Enhanced Parallel Port)

Tento protokol byl vyvinut Intel, Xircom a Zenith Data Systems. Jedná se o výkonné propojení přes paralelní port. Rychlost přenosu dat je mezi 500KB/s až 2MB/s. Přenosová rychlost se vždy přizpůsobí tomu nejpomalejšímu komunikujícímu zařízení z důvodu spolehlivosti přenosu dat. [5]

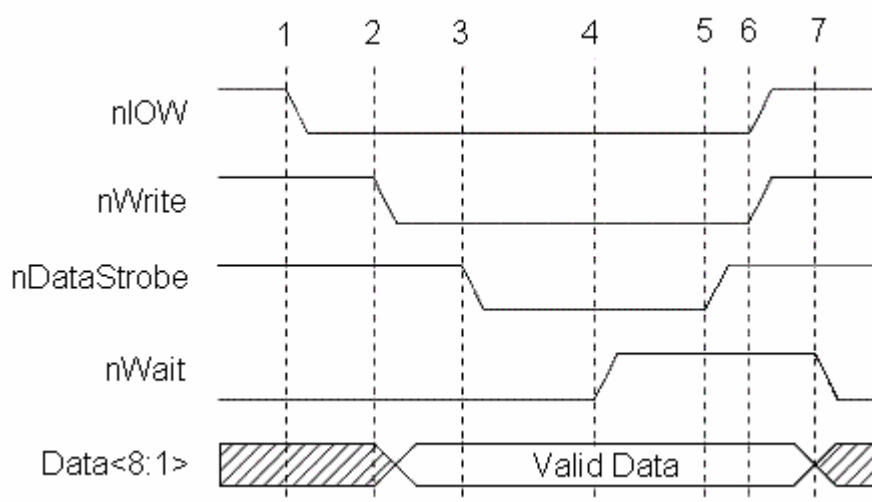
Protokol EPP poskytuje 4 přenosové cykly:

- Data Write cycle
- Data Read cycle
- Address Write cycle
- Address Read cycle

SPP Signál	EPP Mód	In/Out	Popis -- Využití signálů v EPP Mode přenosu dat
nSTROBE	nWRITE	Out	Aktivní v log.0 indikuje zápisovou operaci, zatímco v log.1 indikuje cyklus čtení.
nAUTOFEED	nDATASTB	Out	Aktivní v log.0 a indikuje čtení dat resp. zápis dat.
nSELECTIN	nADDRSTB	Out	Aktivní v log.0 a indikuje operaci čtecí adresy, resp operaci zápisu adresy.
nINIT	nRESET	Out	Aktivní v log. 0. Reset periferií.
nACK	nINTR	In	Přerušeni od periferií. Užívá se k generování přerušeni od periferie.
BUSY	nWAIT	In	Handshake signál. Když je v log.0 indikuje OK stav pro začátek cyklu, když log.1 indikuje OK stav pro ukončení cyklu
D[8:1]	AD[8:1]	Bi-Di	Obousměrné adresové / datové linky.
PE	definován uživatelem	In	Může být využit rozdílně dle každé periferie.
SELECT	definován uživatelem	In	Může být využit rozdílně dle každé periferie.
nERROR	definován uživatelem	In	Může být využit rozdílně dle každé periferie.

Obr. 4.15 Přiřazení a popis signálů v EPP módu

Všechny cykly jsou důležité a musíme je zobrazovat jako dva rozdílné přenosové cykly. Adresové cykly slouží k přenosu adresy kanálu. Datové cykly jsou použity pro přenos dat mezi PC a periferiemi.



Obr. 4.16 Časový průběh komunikace v rozšířeném EPP módu

Popis fází přenosu v datovém zápisovém cyklu:

- 1) Program vykoná I/O zápisový cyklus na port
- 2) nWrite linka uvolní zapisovací operaci, data jsou vyslána na paralelní port
- 3) nDataStrobe zahájí indikaci zápisové operace dokud je nWait na low
- 4) port čeká na potvrzení od přijímacího zařízení, dokud je nWait na light
- 5) nDataStrobe indikuje konec operace přenosu
- 6) I/O cyklus končí

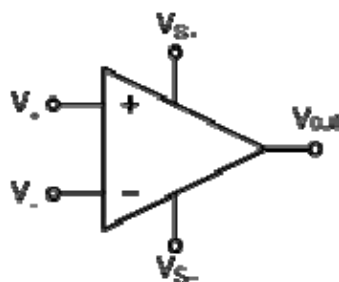
5. Vstupní zesilovač

5.1 Parametry zesilovačů

Jako první byl operační zesilovač navržen pro matematické operace. Odtud si získal svůj název. Jeho stavba byla nejprve realizována z elektronek, později se začali používat polovodičové součástky. Postupně se technologie zdokonalovala a v dnešní době jsou vyráběny téměř výhradně jako integrované obvody. Integrovaný obvod může obsahovat až několik operačních zesilovačů. První vyrobené zesilovače pocházejí z konce šedesátých let. Nejprve byli operační zesilovače konstruovány pouze z bipolárních tranzistorů. Až v sedmdesátých letech se začaly v operačních zesilovačích používat unipolární tranzistory FET a o deset let později tranzistory MOSFET. Tyto součástky nám výrazně zlepšují parametry OZ, tím se blížíme k téměř ideálnímu operačnímu zesilovači.

Operační zesilovač (zkratka OZ)

Můžeme říct, že se jedná o obvod který funguje jako diferenciální napěťový zesilovač. Obsahuje invertující vstup, který označujeme znaménkem (–) a neinvertující, který označujeme znaménkem (+) a jednoduchý výstup. Operační zesilovače jsou většinou konstruované se zpětnou vazbou vzhledem k vysokému zisku. Zpětná vazba má velký vliv na chování zesilovače. S operačním zesilovačem pro zjednodušení výpočtů pracujeme jako s ideálním zesilovačem.



Obr. 5.1 Schématická značka OZ

Vlastnosti ideálního operačního zesilovače:

- nekonečné zesílení A
- nekonečná vstupní impedance
- nulová výstupní impedance
- nekonečný vstupní odpor obou vstupů
- nulový výstupní odpor
- nulový šum

- nulové offsetové napětí (jsou-li napětí na vstupech shodná, je na výstupu skutečně přesně nulové napětí)
- fázový posun vstupní ku výstupnímu je 0 nebo π
- žádný z parametrů není závislý na teplotě

Reálné vlastnosti operačního zesilovače [4]:

Stejnoseměrné parametry:

- Zisk není nekonečný - projevuje se to zejména v obvodech, které mají mít zisk blízký se vnitřnímu zisku OZ.
- Vstupní odpor není nekonečný - to omezuje maximální použitelné odpory zpětnovazebních obvodů.
- Nenulový výstupní odpor - zpravidla nehraje roli protože dříve se projeví výkonové limity součástky
- Nenulový vstupní proud - do vstupů teče řádově desítka nA u bipolárních a jednotky pikoampér u unipolárních OZ.
- Nenulové offsetové napětí - při shodě napětí na vstupu není nulové napětí na výstupu. U přesných obvodů se musí offset kompenzovat vnějšími součástkami nebo má OZ speciální kompenzační vstupy.

Vstupní napěťová nesymetrie U_{IO} :

Vstupní obvody operačních zesilovačů nejsou zcela symetrické, vstupní tranzistory nemají stejné parametry a rozdíly se zde projevují i v odporech rezistorů. Následkem toho je nesymetrie, která se projeví tím, že na výstupu OZ se objeví určité napětí U_{IO} , i když napětí mezi oběma vstupy je nulové. Vstupní napěťová nesymetrie U_{IO} se tedy rovná napětí, které musíme přivést na vstupní svorky OZ, aby výstupní napětí u_0 bylo nulové.

Změna vstupní napěťové nesymetrie:

Napěťová nesymetrie vstupů není stálá hodnota, neboť se mění s časem, teplotou napájecím napětím atd. Největší změnu však tvoří změna teploty, a proto jedním z parametrů je teplotní změna vstupní napěťové nesymetrie ($\mu V/^{\circ}C$).

Vstupní proudová nesymetrie I_{IO} :

Nesymetrie vstupních obvodů OZ vyvolá rozdíly proudů I_{B1} a I_{B2} . $I_{IO} = I_{B1} - I_{B2}$. Nedokonalá nesymetrie se projeví vznikem určitého napětí na výstupu OZ.

Maximální napájecí napětí :

Nutno dodržet tuto maximální hodnotu napájecího napětí podle katalogu výrobce, neboť jeho překročení mívá převážně za následek zničení OZ průrazem, popřípadě přehřátím.

Zpětná vazba a stabilita

Problém stability úzce souvisí s problematikou zpětné vazby. Zpětná vazba zavádí část energie z výstupu zesilovače na vstup zesilovače a to se stejnou fází – kladná zpětná vazba nebo s opačnou fází – záporná zpětná vazba. V praxi však není situace tak jednoznačná. Díky existenci parazitních členů RC i neideálnosti vlastních OZ, je fázový posuv ve smyčce zpětné vazby frekvenčně závislý a záporná zpětná vazba se může pro určité frekvence měnit ve vazbu kladnou, ve které vzniká nebezpečí oscilací (které jsou většinou nežádoucí) – nestabilita.

Stabilitu systému se zpětnou vazbou zajišťujeme pomocí korekcí – to je takovou úpravou frekvenčních vlastností zesilovače, aby nevznikaly nežádoucí kmity v systému. Opačným požadavkem je zajištění kmitů na určité frekvenci, konstrujeme-li oscilátor, záměrně zavádíme frekvenčně závislou vazbu, aby na námi požadované frekvenci byla kladná. Základní zesilovací větev má napětíové zesílení (5.1).

$$A_U = \frac{U_2}{U_1} \quad (5.1)$$

Nyquistovo kritérium stability zní: Má-li být zesilovač stabilní, musí při procházení Nyquistova diagramu ve směru rostoucích frekvencí ležet vždy bod, o souřadnicích (1, 0j) v levé polorovině komplexní roviny.

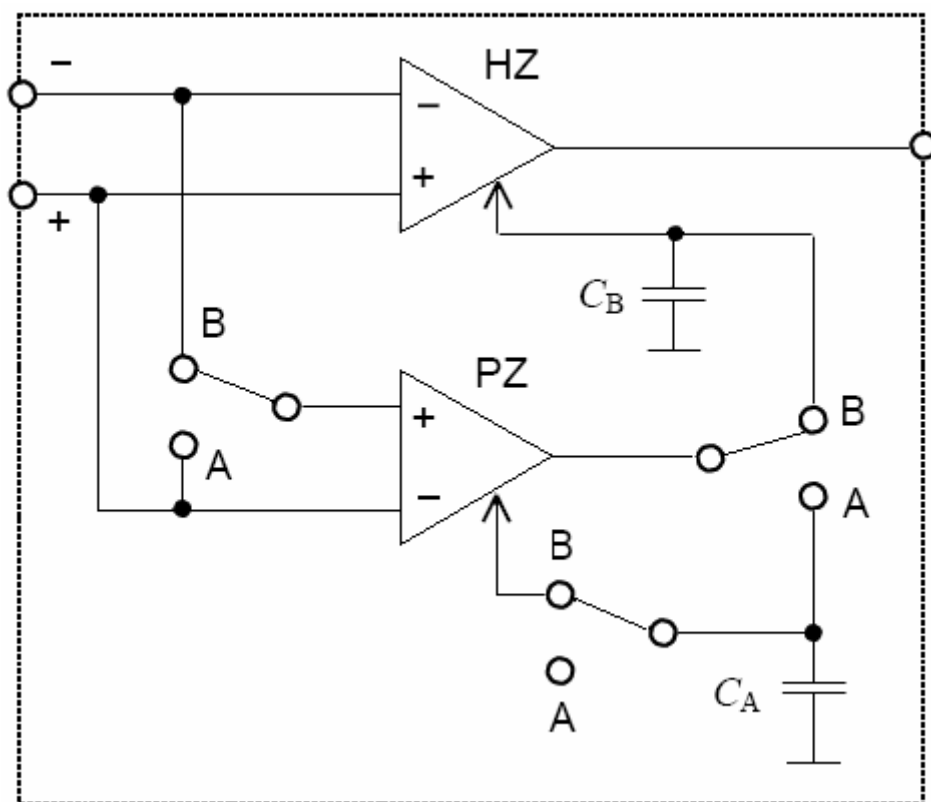
5.2 Rozdělení operačních zesilovačů dle využití

- 1.) **Univerzální OZ** – jsou určeny pro běžné použití v zařízeních na které nejsou kladeny nadměrné požadavky ohledně kvality. Parametry lze označit jako průměrné.
- 2.) **Přístrojové OZ** – jsou určeny pro měření malých napětí, mají velké zesílení a malé zbytkové napětí. Jsou na ně kladeny velké požadavky i ohledně časové stability parametrů. Používají se hlavně v měřicí technice.
- 3.) **Širokopásmové rychlé OZ** – jsou určeny ke zpracování vysokých frekvencí (20 až 700MHz) a impulsů, mají vysoký mezní kmitočet.
- 4.) **OZ pro velká výstupní napětí** – umožňují dosáhnout na výstupu napětí až stovek voltů (30 až 150V) ostatní parametry odpovídají skupině 1.
- 5.) **Speciální OZ** – do této skupiny patří tzv. „mikropříkonové“, které se vyznačují velmi malou spotřebou. Dále jsem patří operační zesilovače, jejichž výstupní výkon je větší než 1W a výstupní proud je větší než 100mA. [4]

Automaticky nulovaný zesilovač

Automaticky nulovaný zesilovač umožňuje snížení vstupní nesymetrie. Skládá se z dvou hlavní částí: OZ_1 - hlavní zesilovač

OZ_2 - pomocný zesilovač



Obr. 5.6 Automatický nulovaný zesilovač

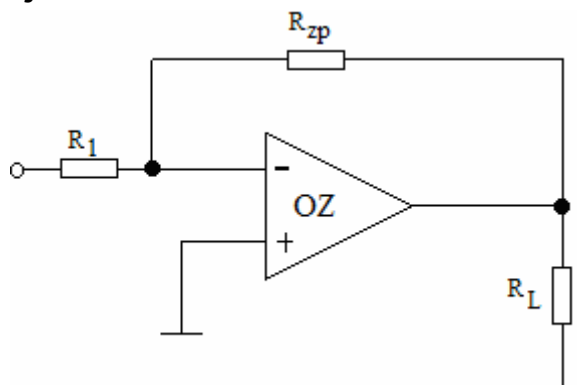
Hlavní zesilovač OZ_1 slouží pro zesílení signálu, pomocný zesilovač OZ_2 pro korekci vstupní nesymetrie OZ_1 .

Poloha A: Pomocný zesilovač je nulován zpětnou vazbou, nulovací napětí je pamatováno na C_A

Poloha B: Pomocný zesilovač kompenzován napětím z C_A , vstupní offset HZ je zesílen pomocným zesilovačem a přiveden na kompenzační vstup hlavního zesilovače – tím je kompenzován offset hlavního zesilovače.

5.3 Základní zapojení operačních zesilovačů

5.3.1 Invertující zapojení



Obr. 5.2 Základní zapojení invertujícího zesilovače.

Invertující zapojení patří mezi základní zapojení OZ. [7] Pracuje tak, že signál přichází do invertujícího vstupu (-), zatímco druhý neinvertující vstup (+) je uzemněn. K výstupu je připojena jednak zátěž R_L proti zemi a dále zpětnovazební odpor R_{zp} . Vstupní signál prochází odporem R_1 , který svou velikostí zároveň určuje vstupní odpor, kterým se invertující zesilovač projevuje. Připojíme-li na vstup napětí U_1 , rozloží se celé na odporu R_1 . Protože na invertujícím vstupu je uzel s nulovým napětím, tzv. virtuální zem, začne obvodem téci proud I_1 . Do invertujícího vstupu teče proud také zpětnovazebním odporem R_{zp} . Podle Ohmova zákona mají tyto proudy velikost (5.2).

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} \quad , \quad I_{zp} = -\frac{U_{zp}}{R_{zp}} \quad (5.2)$$

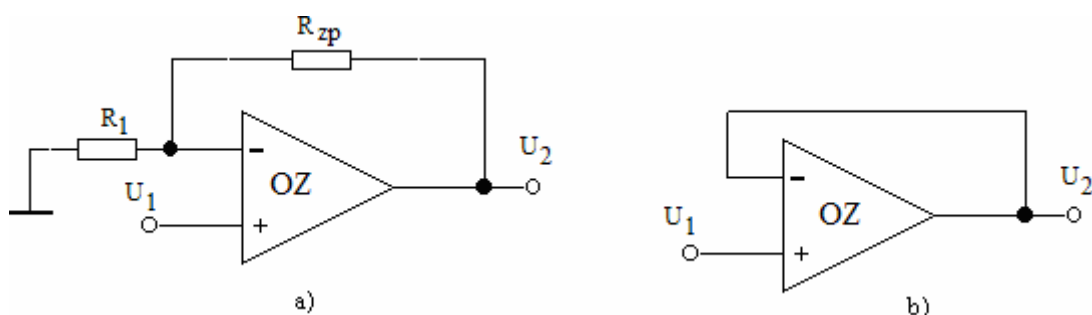
U zpětnovazebního odporu je záporné znaménko, protože podle Kirchhoffova zákona je součet vstupního a výstupního proudu roven nule ($I_1 + (-I_{zp}) = 0$). Toto potvrzuje, že invertující vstup má nulový potenciál, ačkoliv není uzemněn. Neinvertující vstup je uzemněn přímo, takže jsou oba dva vstupy na nulovém potenciálu. Vztahy vyjadřující činnost OZ platí za předpokladu, že OZ pracuje s nekonečně velkým zesílením a nulovými vstupními proudy. Dále se předpokládá, že zesilovač má nulové diferenční napětí U_d mezi oběma vstupy. Z výstupu teče proud I_0 jednak do zpětné vazby I_{zp} a také I_L zatěžovacím odporem R_L k zemi. Platí, že $I_0 = I_{zp} + I_L$.

Z těchto vztahů lze vyjádřit rovnici, která platí pro ideální zesilovač: (5.3)

$$U_2 = -\frac{R_{zp}}{R_1} U_1 \quad (5.3)$$

Výstupní napětí U_2 je přímo úměrné výstupnímu napětí U_1 a zpětnovazebnímu odporu R_{zp} . Nepřímo úměrné je vstupnímu odporu R_1 . Čím větší bude zpětnovazební odpor a čím menší vstupní odpor, tím bude větší zesílení na výstupu. Záporné znaménko na pravé straně znamená, že zvětšující se kladné napětí na invertujícím vstupu vyvolá zvětšující se záporné napětí na výstupu. Přivedeme-li na vstup střídavý signál, pak signál na výstupu je posunut o 180° . Tato inverzní funkce dala jméno zesilovači.

5.3.2 Neinvertující zapojení



Obr. 5.3 a) Základní zapojení neinvertujícího zesilovače

b) Neinvertující zesilovač jako impedanční převodník

Jedná se o jedno z nejčastějších zapojení, kdy neinvertující vstup je uzemněn a signál je přiváděn přes R_1 na invertující vstup. Vhodnou volbou velikosti odporů můžeme vstupní napětí U_1 násobit číslem větším a nebo menším než jedna. Velikost výstupního napětí je dáno vztahem:

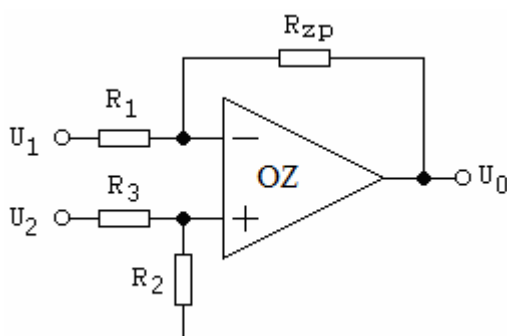
$$U_2 = U_1 \left(1 + \frac{R_{zp}}{R_1}\right) \quad (5.4)$$

Záporné znaménko udává, že výstupní napětí je vůči vstupnímu napětí posunutě o 180 stupňů. I v tomto případě je rozhodující poměr zpětnovazebního a vstupního odporu, ale zvětšený o jedničku. Díky této jedničce nemůže být nikdy výraz v závorce menší než jedna, a proto ani zesílení nemůže být záporné. [7]

U neinvertujícího zesilovače je výstupní signál ve fázi se vstupním signálem. Nejdůležitější vlastností neinvertujícího zesilovače je vysoký vstupní odpor. Ten je velmi cenný, protože v případě připojení k měkkému zdroji nedochází k zatěžování zdroje. Neinvertující zesilovač je dokonale souměrný a pracuje se stejnosměrným i střídavým napětím. Protože oba vstupy jsou na úrovni vstupního signálu (nikoliv na nulové úrovni), musíme dbát o co nejlepší potlačení součtového signálu.

Přičemž součtovým napětím rozumíme část napětí, která je společná oběma vstupům. Projevuje se jako zdroj chybového napětí a zhoršuje linearitu přenosu. Krajní variantou neinvertujícího zesilovače je zapojení podle obr. 5.3 b) kde chybí oba dva odpory, takže výstup je přímo spojen s invertujícím vstupem. Toto zapojení slouží jako impedanční člen mezi dvěma obvody. Má za úkol oddělit předchozí obvod od následujícího, aby první obvod nebyl zatěžován. Přiváděné napětí se nezesiluje, zesílení impedančního členu je rovno jedné. Podstatné však je, že toto zapojení má vstupní odpor řádově desítky megaohmů a výstupní prakticky nulový.

5.3.3 Diferenční zesilovač



Obr. 5.5 Diferenční (rozdílový) zesilovač

Využití tohoto zapojení je při sledování dvou signálů s velmi málo odlišnými hodnotami napětí, výstupní napětí úměrné rozdílu napětí na vstupech. Má-li diferenční zesilovač skutečně zesilovat jen rozdílové napětí, musí se dodržet následující podmínka:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{U_{zp}}{R_2} \quad (5.5)$$

To znamená, že dvojice odporů R_2 a R_3 musí být ve stejném poměru jako R_{zp} a R_1 . Jinak situaci komplikuje souhlasný signál. Velmi záleží na tom, aby použité odpory byly přesné! Výstupní napětí je dáno vztahem:

$$U_0 = \frac{R_{zp}}{R_1} (U_2 - U_1) \quad (5.6)$$

Rovnice platí pro ideální zesilovač, ale ve skutečném zapojení se příliš neliší. Je z ní vidět, že rozdíl vstupních napětí se násobí poměrem určujícím velikost zesílení. V praxi se většinou používá složitější zapojení diferenčního zesilovače, které eliminuje vliv odporů zdrojů napětí U_1 a U_2 .

5.4 Zapojení vstupního zesilovače

5.4.1 Požadavky na vstupní zesilovač

Hlavní požadavky na vstupní zesilovač pro mojí práci je:

- velikost vstupního napětí 2,5 mV – 0,25 V
- výstupní napětí pro vzorkovač max. 2,5 V
- vstupní odpor

Pro dosažení výstupní napětí o hodnotě 2,5 V platí:

- velikost vstupního napětí 2,5 mV => výpočtem získáme velikost zesílení 1000
- velikost vstupního napětí 0,25 V => výpočtem získáme velikost zesílení 10

- pro využití všech pozic přepínače jsme zvolili ještě hodnoty zesílení mezi těmito krajními a to 30, 100, 300

Nedostatečná napěťová nesymetrie. Standardní operační zesilovače mají napěťovou nesymetrii 1-2 mV, proto je nutné využít speciální operační zesilovač.

Vstupní odpor R_{vst} musí být podstatně větší než impedance cívky, ze které budeme zpracovávat napětí. Pro vstupní odpor tedy platí vztah:

$$R_{vst} \ll Z_L \quad (5.7)$$

Z této podmínky volíme velikost vstupního odporu 100 k Ω .

Pro tyto požadavky byl vybrán operační zesilovač s označením ICL7650, který vyniká velmi malými hodnotami proudové a napěťové nesymetrie. [13]

Tab. 4 Vlastnosti vstupního zesilovače ICL7650

Vstupní vlastnosti	min.	typ.	max.	jednotky
Vstupní odpor	-	1E+13	-	Ω
Napěťová nesymetrie	-	+/-0,7	+/-5	μV
Klidový proud	-	4	10	pA
Proudová nesymetrie	-	8	20	nA
Napájecí vlastnosti				
Provozní napětí	4,5	-	16	V

V tab. 4 jsou uvedeny vlastnosti zesilovače. Napájecí napětí je v rozmezí 4,5 V – 16 V, mnou zvolené napětí je 5 V. Ke snížení na potřebné napětí použijeme stabilizátory, jak pro kladné, tak i pro záporné napětí. Jedná se o stabilizátory s označením 78L05 pro kladné napětí a 79L05 pro záporné napětí. Poté bude mít napájecí napětí pro vstupní zesilovač hodnotu +/- 5 V. Použijeme neinvertující zapojení. Vztah pro výpočet zesílení je dán jako poměr výstupního napětí a napětí vstupního.

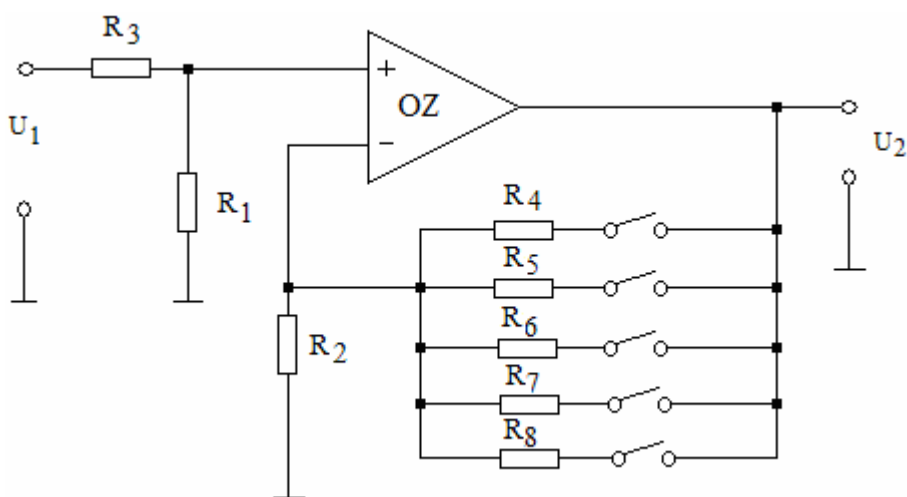
$$A_U = \frac{R_2 + R_x}{R_2} = 1 + \frac{R_x}{R_2} \quad (5.8)$$

Zvolené hodnoty pro vstupní zesilovač:

$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$

$R_1 = R_{\text{vst}} = \text{min. } 100 \text{ k}\Omega$

$R_x = R_{4, 5, 6, 7, 8}$ - odpor ve zpětné vazbě



Obr. 5.8 Zapojení zesilovače s přepínačem ve zpětné vazbě

Ze vztahu (5.8) vypočítáme velikosti odporů ve zpětné vazbě. Hodnoty odporů jsou přehledně uvedeny v následující tabulce.

Tab. 5 Vypočítané hodnoty odporů ve zpětné vazbě

Zesílení	R_2	R_x	
-	k Ω	k Ω	
10	1	9	R_4
30	1	29	R_5
100	1	99	R_6
300	1	299	R_7
1000	1	999	R_8

Změny zesílení provedeme pomocí přepínače s vypočtenými velikostmi odporů. Přepínač bude zapojen ve zpětné vazbě vstupního zesilovače který je zapojen na obr 5.8.

Dalším řešením by mohlo být použití přesného programovatelného zesilovače. Jedná se například o zesilovač firmy National Semiconductor. Jeho zesílení je nastavitelné v 16 stupních od 1 V/V do 16 V/V s přesností 0,03%. Rozsah teploty je $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tento zesilovač je určen k úpravě signálů ze senzorů v průmyslových, přístrojových aplikacích včetně systému pro sběr dat. Je vyroben pomocí unipolární a bipolární technologie. Jeho vstupní napěťový ofset je nejvýše $250\mu\text{V}$. Rychlost přeběhu je potom $12\text{ V}/\mu\text{s}$. K napájení je zapotřebí napětí v rozsahu 2,7 V až 5,5 V při odběru ze zdroje 5,3 mA. Označení tohoto zesilovače je LMP8100A, nachází se v pouzdře SOIC-14. Vyřešit by se musel ovšem problém se zesílením jelikož požadujeme v našem případě zesílení až 1000. [15]

6. Vzorkovací obvod

6.1 Základní princip vzorkovače

Pojmem vzorkovač rozumíme zařízení, které odvozuje ze známého vstupního signálu $u_1(t)$ řadu vzorků, snímaných v časových okamžicích $t_n = 0, 1, 2 \dots$ ve tvaru impulsů s výškou rovnou analogovému signálu. Proces probíhá obvykle periodicky s nějakou periodou T_p potom platí :

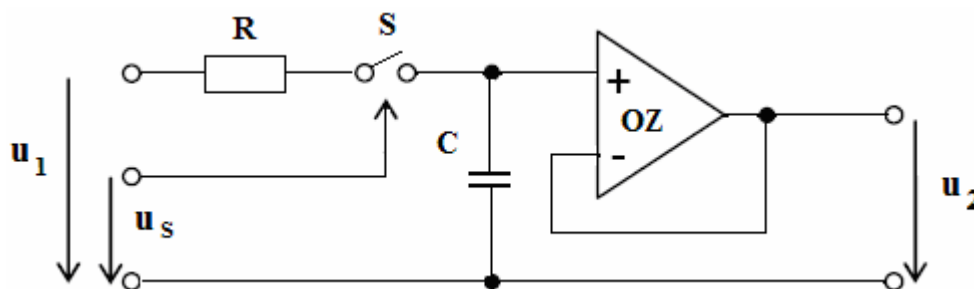
$$t_n = n T_p \quad (6.1)$$

Pro další použití jsou takto získané vzorky nevýhodné, protože umožňují přenos informace vždy jen pro krátkou dobu. Proto se vzorky $u_1(t_n)$ rozšiřují pomocí analogové paměti tak, že údaj $u_1(t_n)$ zůstane na výstupu zachován prakticky od okamžiku t_n až do okamžiku snímání dalšího vzorku, tj. do doby $t_n + 1$. Na výstupu vzorkovače s pamětí tedy nemáme řadu jehlovitých impulsů s výškou $u_1(t_n)$, ale stupňovaný časový průběh, u něhož jednotlivé stupně mají úroveň $u_1(t_n)$.

Nejpoužívanějším druhem analogového paměťového prvku bývá kondenzátor. U vzorkovače s pamětí požadujeme, aby kondenzátor na němž je z předchozí doby napětí $u_1(t_{n-1})$, nabil prakticky okamžitě na napětí vzorku $u_1(t_n)$. Tím pro nás vzniká důležitý požadavek dodat kondenzátoru s kapacitou C náboj $\Delta q = C(u_1(t_n) - u_1(t_{n-1}))$ za velmi krátkou dobu trvání vzorkovacího impulsu. To tedy znamená s dostatečně velkým proudovým impulsem [6].

Vzorkovače a sledovače s pamětí jsou často užívány v měřicí technice, a to tehdy, nesmí-li se hodnota analogového signálu po dobu měření měnit, jak je tomu např. u některých typů A/D převodníků. Dalším využitím těchto obvodů je v demodulátorech impulsově modulovaných signálů, kde se uplatňují jako interpolační obvody.

6.2 Obecné zapojení vzorkovacího obvodu

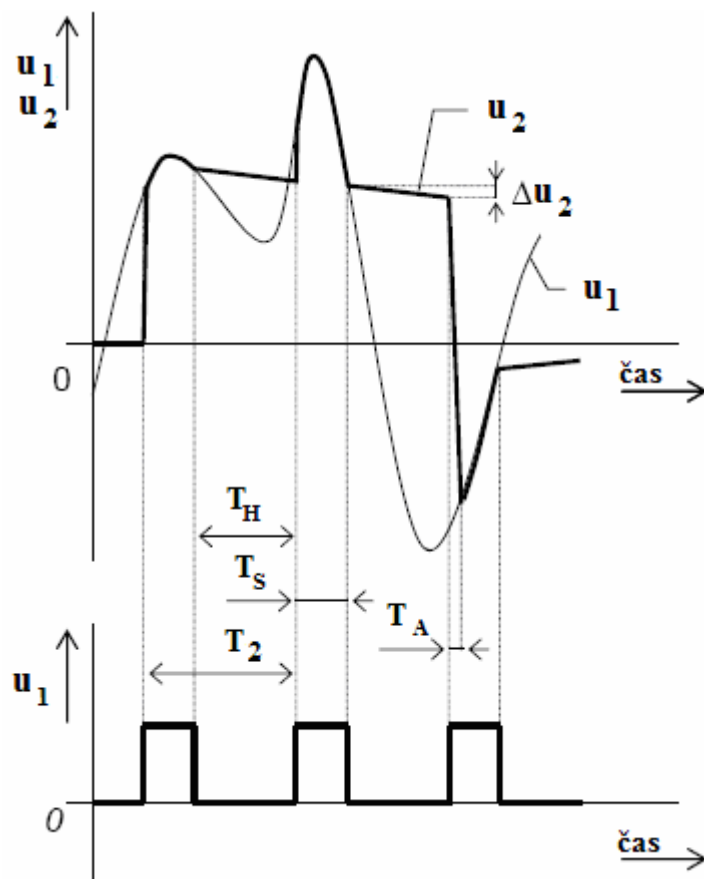


Obr. 6.1 Jednoduchý vzorkovací zesilovač

Reálný vzorkovač nám pracuje s chybami viz obr 6.2. Pokud dojde ke změně vzorkovače z režimu pamatování do režimu vzorkování tak se nám vstupní napětí nezmění skokem, ale změní se konečnou rychlostí, která je daná vlastnostmi zesilovače OZ a konstantou RC .

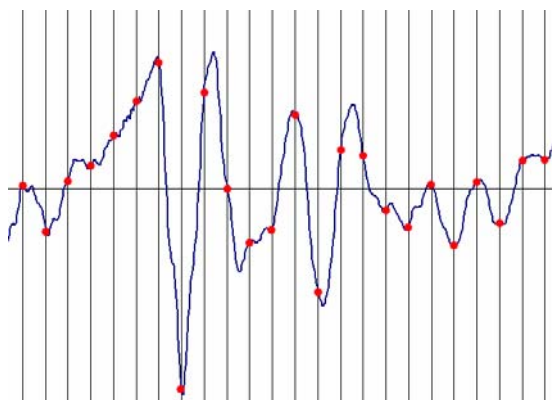
Pokud chceme, aby se výstupní napětí přiblížilo k naší požadované hodnotě s danou chybou, mluvíme zde o času, který se nazývá doba upnutí T_A . Jako rychlost přeběhu definujeme výstupní napětí měnící se omezenou rychlostí, které se mění při skokové změně vstupního napětí během vzorkování. V paměťovém režimu se výstupní napětí v důsledku vybíjení paměťového kapacitou mění časem o Δu_2 , což udává chyba zvaná rychlost změny pamatované hodnoty.

Z důvodu použitých časových konstant reálného obvodu se po přechodu řídicího signálu u_s do stavu „pamatování“ odpojí výstupní signál od vstupního signálu s určitým zpožděním. Takto vzniklá doba navíc kolísá a způsobuje nám časovou nejistotu vzorkování. Navíc není výstupní napětí u_2 ani během doby sledování T_s rovno vstupnímu u_1 , což je dáno chybou nuly a zesílení reálného OZ. [11]



Obr. 6.2 Princip vzorkování v čase

Vzorkování se provede tím způsobem, že rozdělíme vodorovnou osu signálu na rovnoměrné úseky a z každého úseku odebereme jeden vzorek (na obr 6.3 jsou tyto vzorky znázorněny červenými kolečky). Je přitom zřejmé, že tak z původního signálu ztratíme mnoho detailů, protože namísto spojitě čáry, kterou lze donekonečna zvětšovat dostáváme pouze množinu diskrétních bodů s intervalem odpovídajícím použité vzorkovací frekvenci.



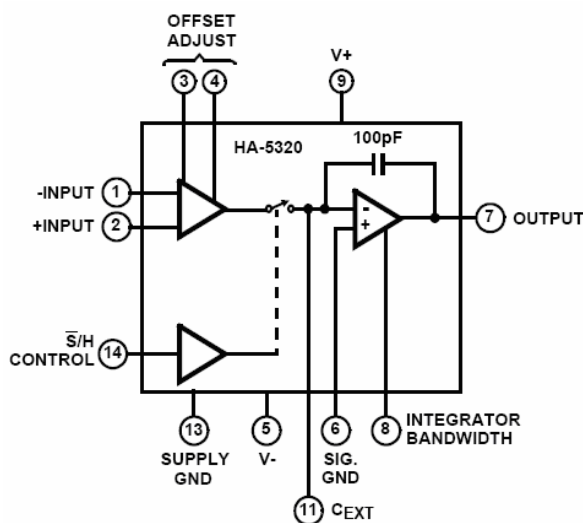
Obr. 6.3 Vzorkování spojitého signálu

Shannonův-Kotělníkův teorém

Tento teorém porovnává frekvenci, kterou se provádí vzorkování spojitého signálu a nejvyšší frekvenci obsaženou ve vzorkovaném signálu a tvrdí, že frekvence vzorkování musí být rovna minimálně dvojnásobku nejvyšší frekvence obsažené ve spektru vzorkovaného signálu.

6.3. Zapojení vzorkovacího zesilovače

Jako vzorkovač bude použit vzorkovací obvod firmy Intersil HA5320. Principiální schéma je na obrázku 6.4, kde je zobrazena vnitřní struktura použitého vzorkovače. [12]



Obr. 6.4 Vnitřní struktura zapojení vzorkovače HA5320

Vlastnosti vzorkovače jsou uvedeny v tab. 6. Zde jsou uvedeny důležité vlastnosti vzorkovacího obvodu. K velmi důležitým vlastnostem patří doba převodu, která je závislá na použití velikosti kondenzátoru. Hodnota doby převodu se pohybuje kolem 1 μ s. Tím je také stanovena chyba a přesnost převodu.

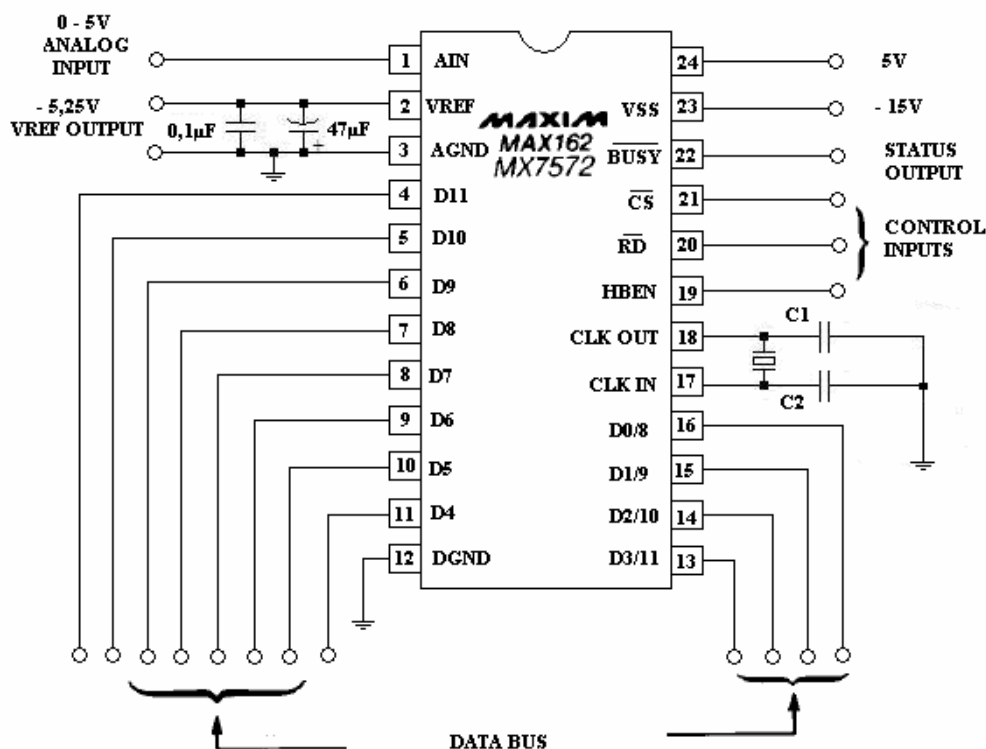
Tab. 6 Vlastnosti vzorkovače HA 5320

Vstupní vlastnosti	min.	typ.	max.	jednotky
Vstupní napětí	+/-10	-	-	V
Vstupní odpor	1	5	-	M Ω
Vstupní kapacita	-	-	5	pF
Napěťová nesymetrie	-	0,2	2	mV
Klidový proud	-	70	200	nA
Proudová nesymetrie	-	30	100	nA
Výstupní vlastnosti				
Výstupní napětí	+/-10	-	-	V
Výstupní proud	+/-10	-	-	mA
Výstupní odpor	-	1.0	-	Ω
Sample and Hold				
Doba převodu 0,10%	-	0,8	1,2	μ s
0,01%	-	1,2	1,5	μ s
$V_0 = 10V, R_L = 2k\Omega, C_L = 50pF$				
Napájecí vlastnosti				
Kladný dodávaný proud	-	11	13	mA
Záporný dodávaný proud	-	-11	-13	mA
Napájecí napětí	+/-13,5	-	+/-20	V

7. Realizace A/D převodu

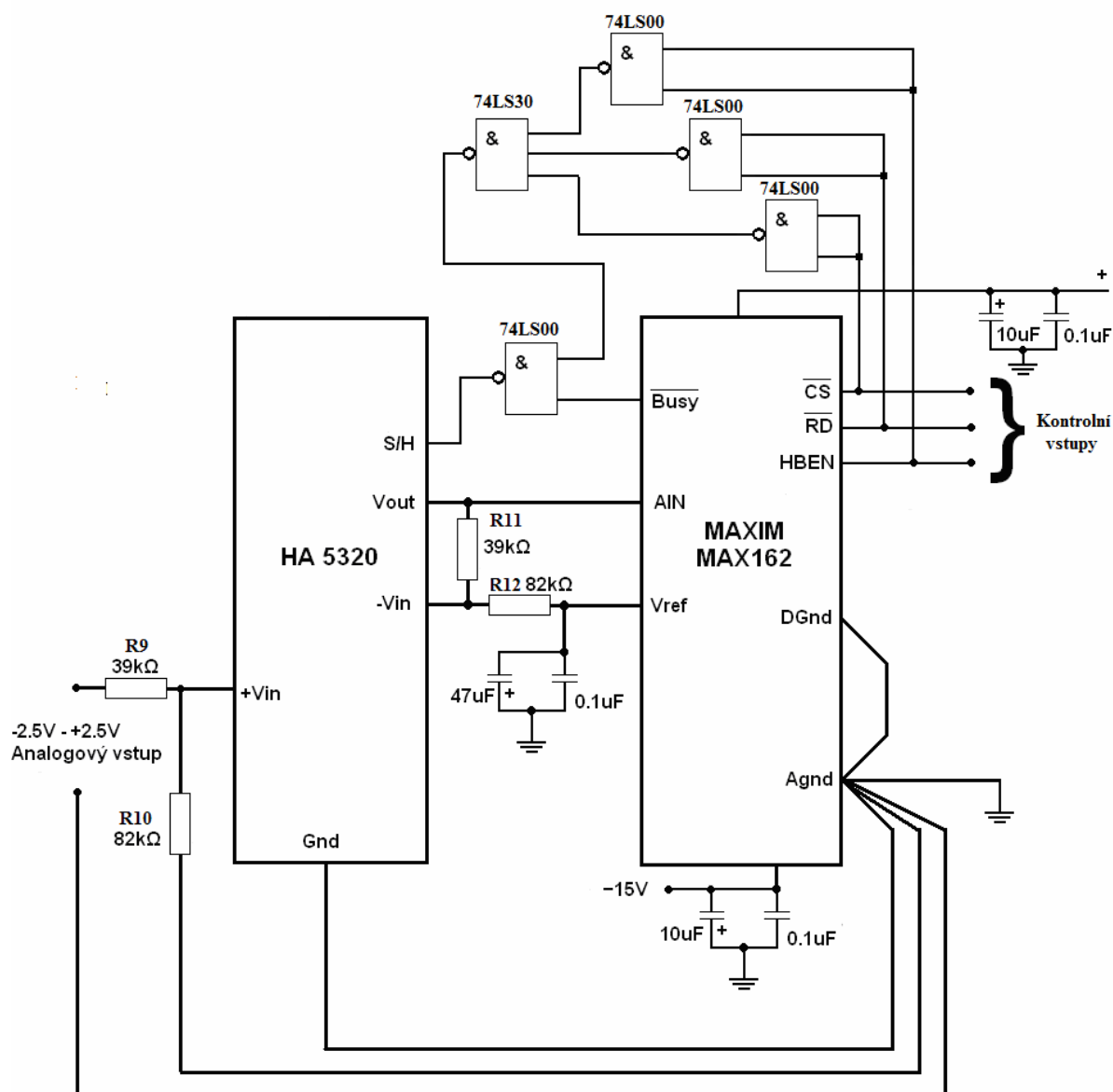
7.1 A/D převodník

Pro převod zesíleného a nevzorkovaného signálu použijeme A/D převodník firmy MAXIM jedná se o 12 bitový převodník MAX162. Jeho doba převodu je $3\mu s$. Data na výstupu převodníku budou zpracována pomocí paralelního portu počítačem. [14]



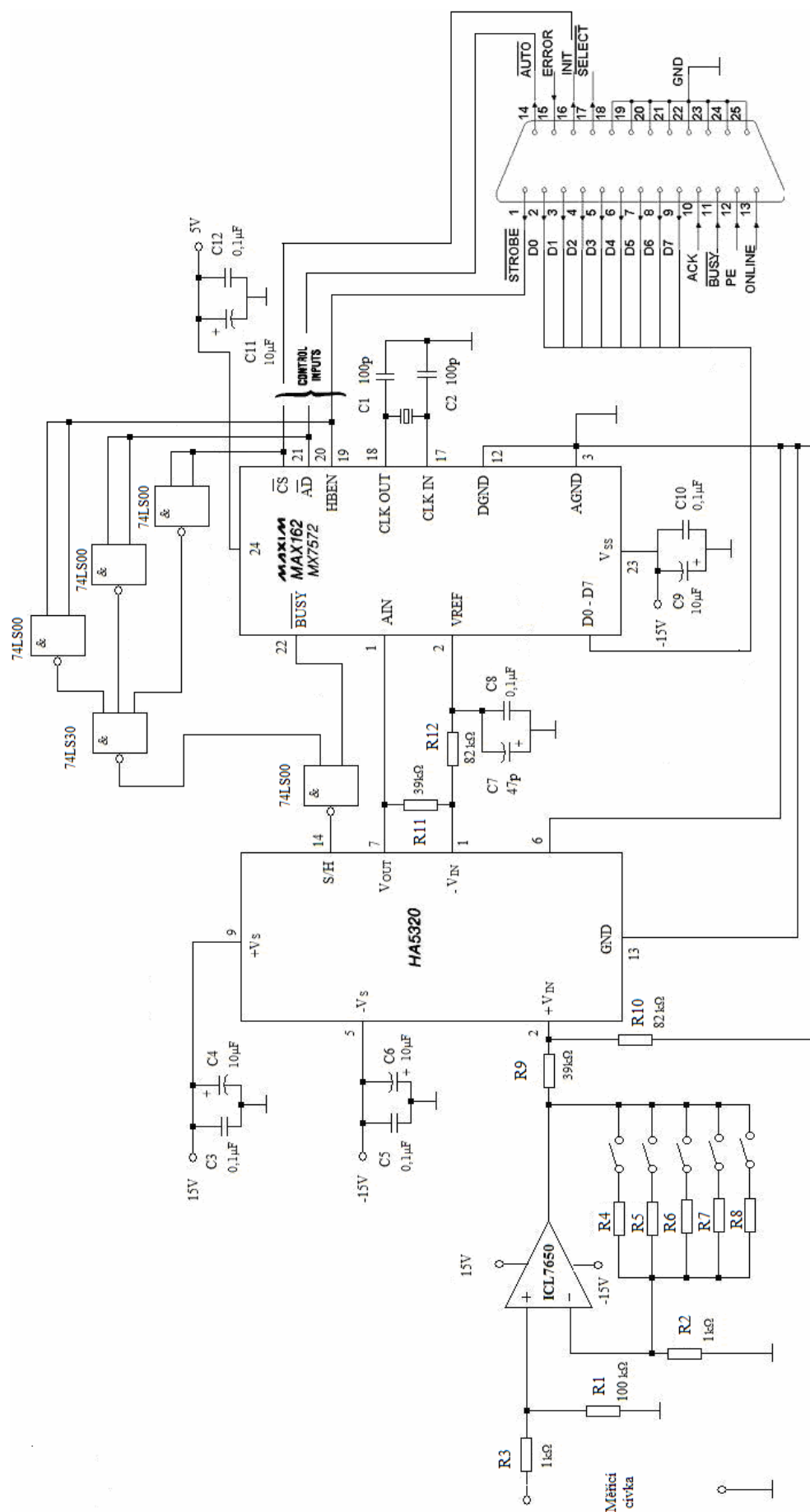
Obr. 7.1 12 bitový převodník MAX162

V zapojení vzorkovače s A/D převodníkem na obr. 7.2 přivádíme na vstup vzorkovače napětí v rozmezí $-2,5\text{ V}$ až $+2,5\text{ V}$, které je následně pomocí děliče s odpory R_9 a R_{10} přivedeno na vstup vzorkovače. A/D převodník MAX162 jedno polaritní převodník, k ošetření nám slouží dělič s odpory R_{11} , R_{12} , který nám napětí se záporné části posune do kladné. Řízení je zjištěno výstupy z A/D převodníku s čísly 19, 20, 21, které je pomocí čtyř 2vstupových hradel NAND (74LS00) a jednoho 8vstupového hradla NAND (74LS30) u kterého jeho zbylé hradla vzájemně pospojujeme. Poté přivedeme výsledek na vstup S/H vzorkovače (sample and hold). Mezi převodníkem a vzorkovačem je vzájemná vazba a synchronizace. Oba dva jsou řízeny ze stejné řídicí sběrnice.



Obr. 7.2 Zapojení vzorkovače s A/D převodníkem

Na obr. 7.3 je celkové zapojení přípravku pro digitální zpracování analogového signálu. Kdy na vstup vstupního zesilovače přivádíme signál z měřící cívky ten je následovně zesílen na požadovanou hodnotu a přes dělič s odpory R_9 , R_{10} přiveden do vzorkovače HA5320. Spojení A/D převodníku s paralelním portem je zajištěno pomocí výstupů D0 - D7, které jsou přivedeny na paralelní port a tím je možné spojení s dalším zařízením např. počítač. Vzorkovač je řízen pomocí vstupu S/H. Napájení prvků je ošetřeno blokovacími kondenzátory.



Obr. 7.3 Celkové zapojení přípravku

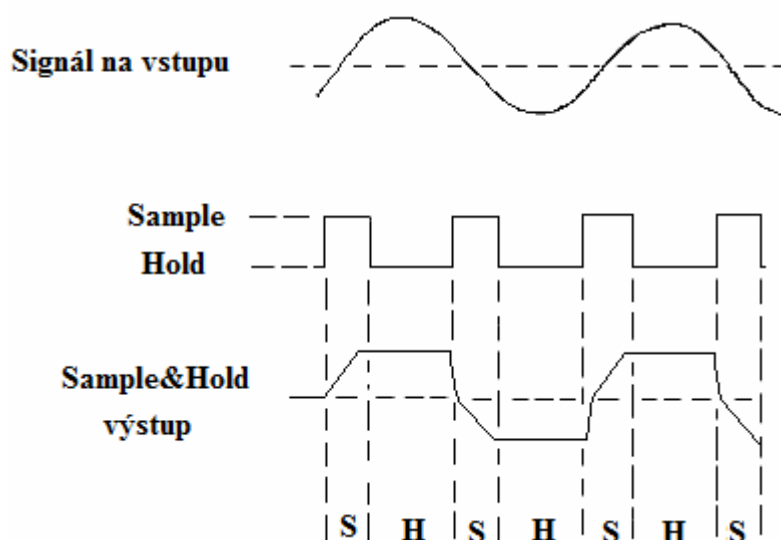
7.2 Realizace A/D převodu

V této kapitole blíže popíšu jak proběhne na celém přípravku jeden měřicí cyklus. Podrobně se budu zabývat popisem činnosti vzorkovače a A/D převodníku.

7.2.1 Vzorkovač

Z vstupního zesilovače bude signál přiveden na vstup vzorkovače s označením vstupu 2 (V_{IN}) přes dělič s odpory R_9 a R_{10} .

Vzorkovač je řízen pomocí vstupu $\overline{S/H}$ control. Vzorkovač má dvě fáze. První fází je vzorkování (sample) a druhou fází je držení (hold). Pokud se na vstupu $\overline{S/H}$ objeví hodnota logické úrovně L, dojde ke vzorkování. V případě logické úrovně H na vstupu $\overline{S/H}$ bude docházet ke stavu držení. Tato doba musí být dostatečně dlouhá, aby došlo k převodu a zápisu. Při nesplnění této podmínky by mohl být vzorek přepsán následujícím vzorkem.



Obr. 7.5. Práce Sample&Hold

Vznik logické úrovně L:

Důležitým článkem pro vznik úrovně L je hradlo NAND IC8D kde jeho vstupy s označením 12, 13 musí být na úrovni H. Poté se na výstupu objeví hodnota L která spustí vzorkování na vzorkovači HA5320. Po ukončení musí nastat stav držení pro převod vzorku. To znamená, že se na výstupu z hradla NAND musí objevit logická úroveň H.

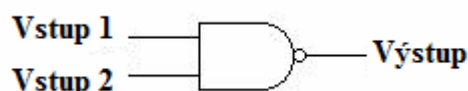
Vznik logické úrovně H:

Pro vznik logické úrovně H, musíme získat na výstupu z hradla NAND IC8D úroveň s logickou hodnotou H. Takže vstupy do hradla 12, 13 nesmí být dvě vysoké úrovně.

Pro přehlednost je uvedena tab. 7, kde je funkce NAND.

Tab. 7 Tabulka funkce NAND

Vstup 1	Vstup 2	Výstup
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



Výstup vzorkovače na převodník je zajištěn výstupem s označením 7 (Output). Výstup je přiveden na analogový vstup převodníku s označením 1 (AIN). Rozsah vstupního signálu je 0 - 5V. Posunutí napětí z rozsahu +/- 2,5V na rozsah 0-5V je provedeno pomocí odporů R_{11} a R_{12} .

Úrovně pro vzorkovač:

$V_{IH} = \text{min.} \quad 2.0 \text{ V (Hold)}$

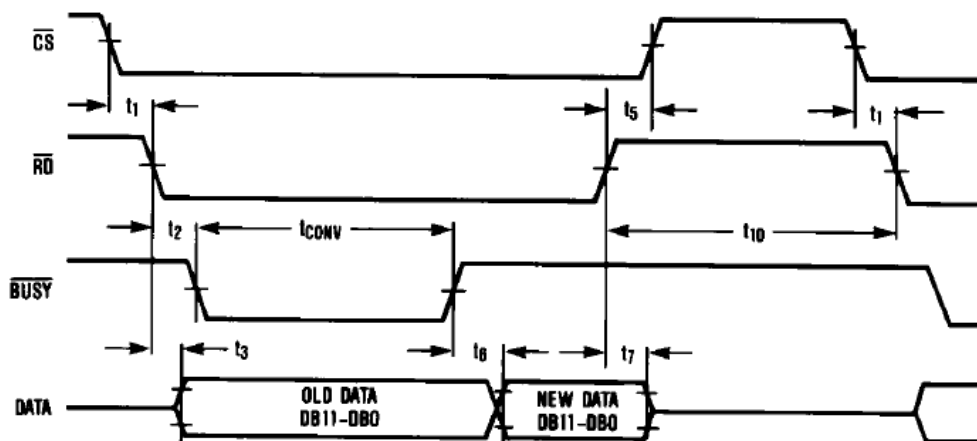
$V_{IL} = \text{max.} \quad 0.8 \text{ V (Sample)}$

7.2.2 A/D převodník

Námi vybraný převodník MAX162 může pracovat ve 4 různých modech, jedná se o 2 dvojice módů. Kdy jeden je vždy pro rychlý převod a rychlejší vysílání dat. Druhý je potom pro pomalý převod a vysílání dat. Z těchto módů si následovně můžeme vybrat způsob načtení. Jednou z možností je načtení celého 12-bitového slova nebo další možností je rozdělení dvou následujících bytů do horního 4-bitového slova a dolního 8-bitového slova, která se přijmutí opět složí do původního 12-bitového slova. Tento převodník je zapojen s obvodem Sample&Hold HA-5320 který je popsán v kapitole 6.3. Společné zapojení je na obr. 7.2.

První mód zpracování je **Slow Memory Read- Parallel Read**

Tento „pomalý“ mód má paralelní zpracování (HBEN je na úrovni L). V tab. 8 je možno vidět data, která se objeví na sběrnici. Úroveň L na vývodech $\overline{CS}$ a $\overline{RD}$ začíná převod. Vývod $\overline{BUSY}$ je také na úrovni L. Data z předchozího převodu jsou v číslicových výstupech na konci převodu [14]. Příslušné časové průběhy jsou znázorněny na obr. 7.4.



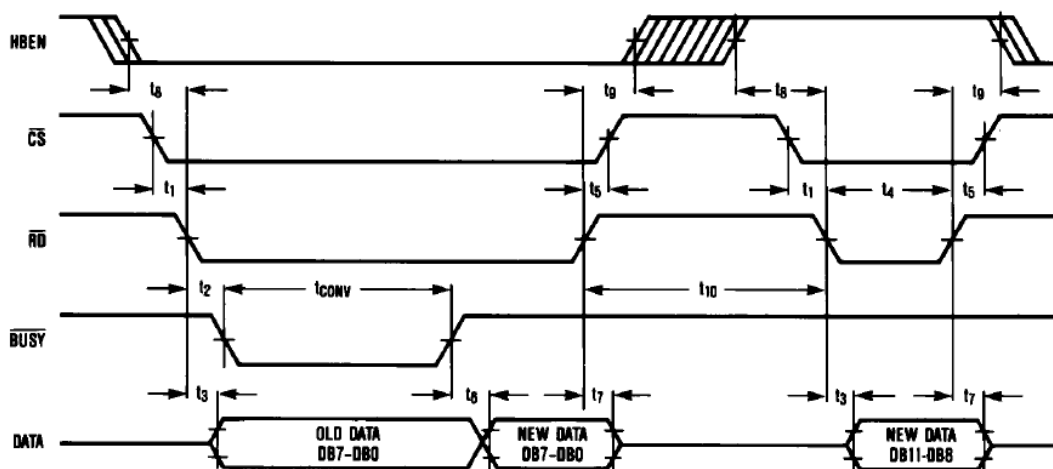
Obr. 7.4 Časový průběh Slow Memory Read- Paralel Read

Tab. 8 Data na sběrnicích v režimu - Slow Memory Mode (Paralel Read)

Datový výstup	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3/11	D2/10	D1/9	D0/8
Slovo	DB11	DB10	DB9	DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0

Dalším typem je Slow Memory Read- Two Byte Read

Pro dvoubajtové čtení se používají výstupy D7-D0/8. Začátek převodu a čtení osmi méně významných bitů (8 LSB) je stejné jako u předchozího typu. Průběhy řídicích signálů ukazuje obr. 7.5 [14]. Druhá čtecí operace se provádí při HBEN na úrovni H. V této operaci se čtou čtyři významnější bity (4 MSB) se čtyřmi počáteční nulami na výstupech D7-D0/8. Další převod nezačne pokud bude HBEN na úrovni H.



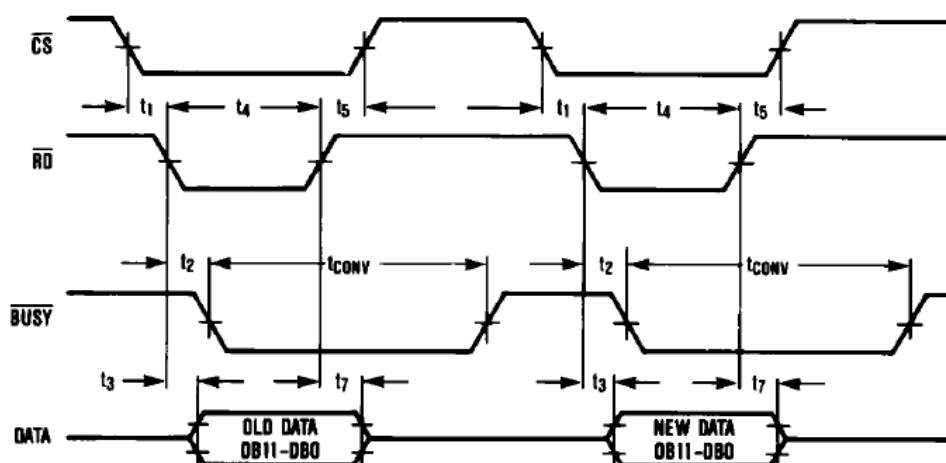
Obr. 7.5 Časový průběh Slow Memory Read- Two Byte Read

Tab. 9 Data na sběrnicích v režimu - Slow Memory Mode (Two Byte Read)

Datový výstup	D7	D6	D5	D4	D3/11	D2/10	D1/9	D0/8
První slovo	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
Druhé slovo	LOW	LOW	LOW	LOW	DB11	DB10	DB9	DB8

Druhý mód se označuje jako **ROM Mode –Parallel Read**

Převod v tomto módu začíná s operací READ. 12 bitů z předchozího převodu je umístěno na výstupech D11-D0/8 jak je možno vidět v příložené tab. 10 [14]. Tyto data dat můžeme zanedbat jestli jsou pro nás nepotřebná. Druhý krok READ nám zpřístupní hodnoty první operace a taky začne nový převod. Zpoždění mezi následující READ operací musí být delší než je doba převodu převodníku MAX162.



Obr. 7.6 Časový průběh ROM Mode –Parallel Read

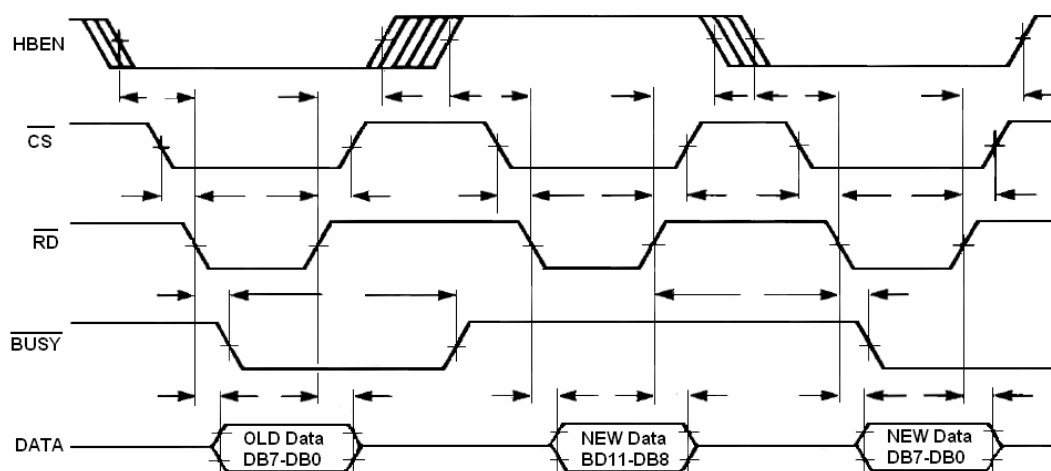
Tab. 10 Data na sběrnicích v režimu - ROM Mode (Parallel Read)

Datový výstup	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3/11	D2/10	D1/9	D0/8
První slovo (staré data)	DB11	DB10	DB9	DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
Druhé slovo	DB11	DB10	DB9	DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0

Poslední možností je **ROM Mode – Two Byte Read**

Stejně jako u „pomalé“ módu, výstupy D7- D0/8 by měli být využity pro dvoubajtové čtení. Obrázek 7.6 nám ukazuje operace v tomto módu. Převod je zahájen s operací READ přičemž musí být HBEN na úrovni L. Výstup dat prezentuje 8 LSB z předchozího převodu. Další dvě operace READ jsou potřebné pro převod výsledku. Při první operaci READ musí být HBEN

na úrovni H, kdy 4 MSB se čtyřmi počátečními nulami jsou zpřístupněny. Při druhé operaci READ je HBEN na úrovni L, který čte 8 LSB a začne nový převod [14].



Obr. 7.6 Časový průběh ROM Mode – Two Byte Read

Tab. 11 Data na sběrnicích v režimu - ROM Mode (Two Byte Read)

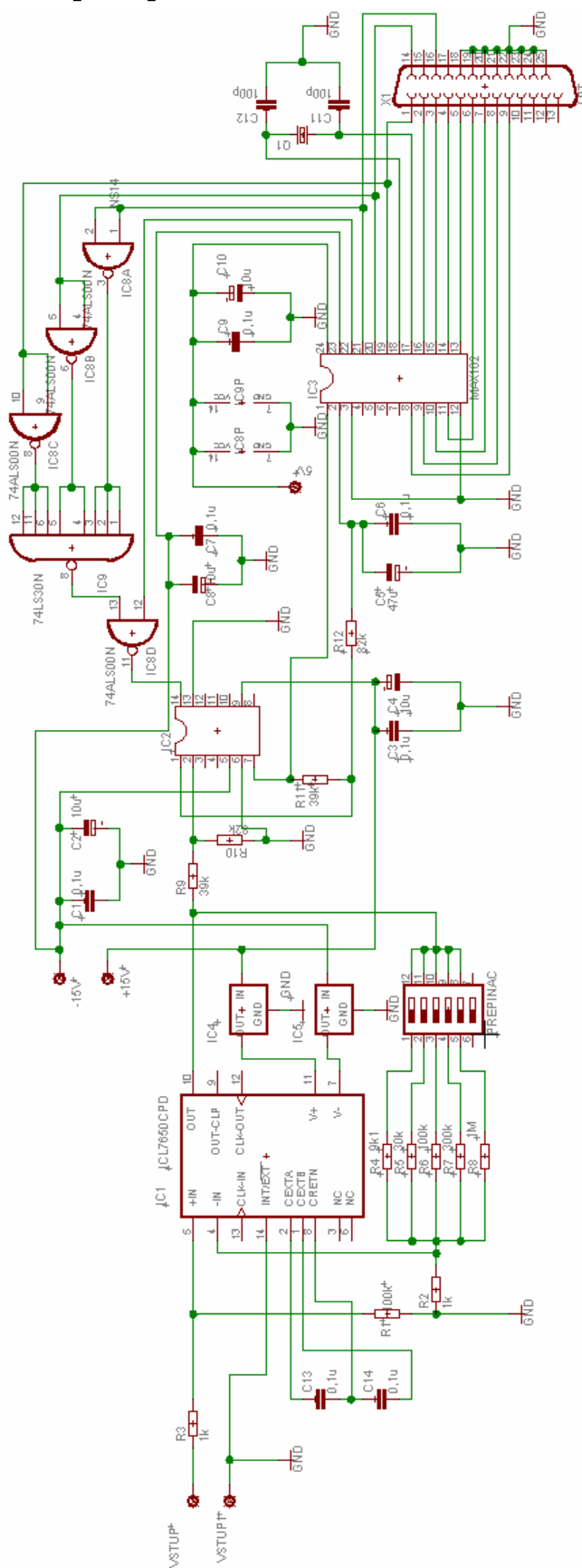
Datový výstup	D7	D6	D5	D4	D3/D11	D2/D10	D1/D9	D0/D8
První slovo (staré)	BD7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
Druhé slovo	0	0	0	0	DB11	DB10	DB9	DB8
Třetí slovo	BD7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0

7.2.2 Komunikace s okolím

Ke komunikaci s okolím je využit paralelní port, který pracuje s TTL logikou. Paralelní port má 8 bitové datové vstupy. Z toho důvodu musíme zvolit režim o dvou výstupních slovech. Přenos bude v tomto případě rychlý. Mód má název ROM Mode, Two Byte Read Data.

Při výběru módu, ve kterém bude LPT pracovat, jsem vybral mód EPP. Tento mód je blíže popsán v kapitole 4.7.1. V tomto módu je možno číst z portu a v druhém kroku zapisovat. Hlavním úkolem je správné nastavení řídicích bitů. Paralelní port je možno velmi snadno zničit, jelikož jeho výstupy nejsou nijak chráněny proti případnému přetížení nebo statické elektřině. Vstupní napětí musí mít velikost 0 - 5V. Proto musíme dbát na to aby nedošlo ke styku s cizím napětím.

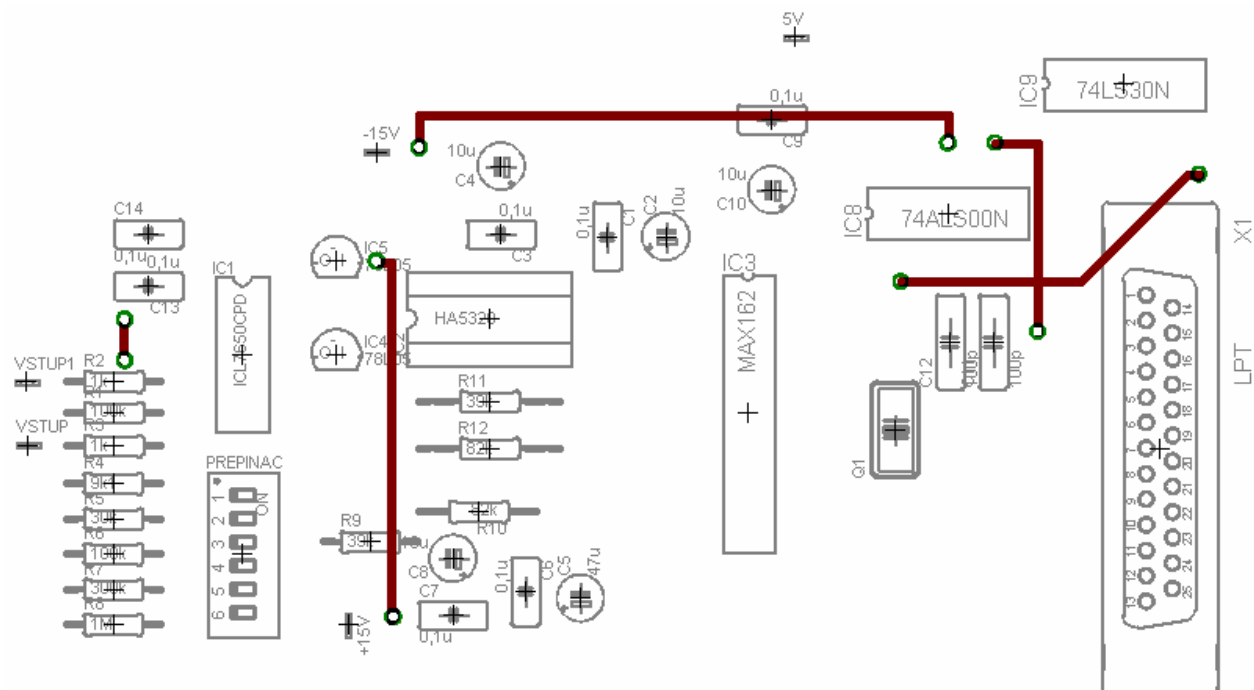
8. Realizace přípravku



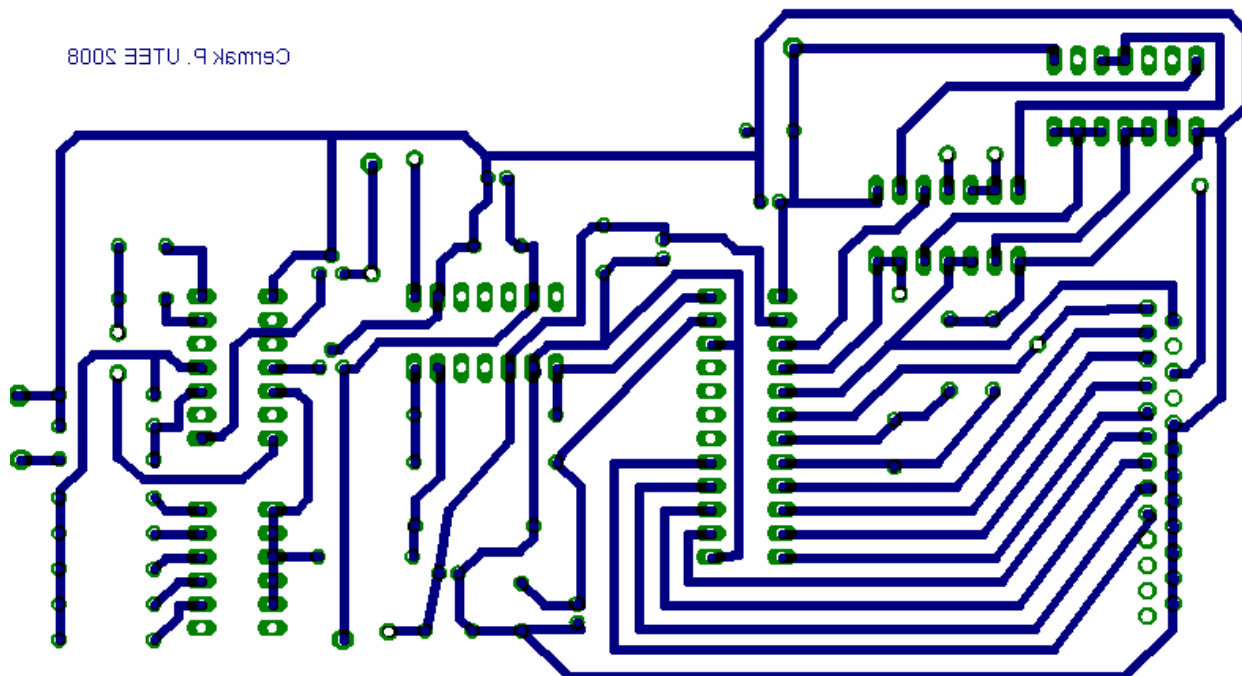
Obr. 8.1 Schéma v programu Eagle

8.1 Deska plošného spoje

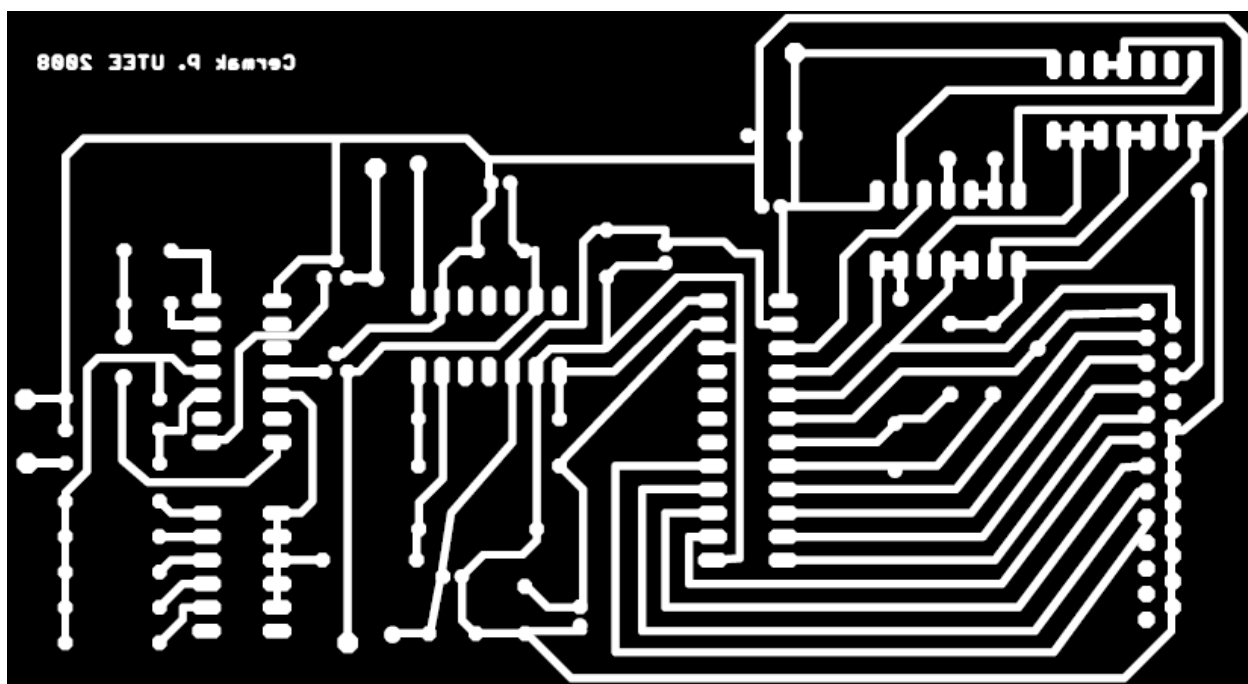
Desku plošných spojů jsem navrhoval v programu pro tvorbu plošných spojů Eagle firmy CadSoft. V tomto programu jsem nejprve nakreslil schéma. Poté jsem rozvrhl rozložení všech součástek na desku, která byla následovně vyrobena.



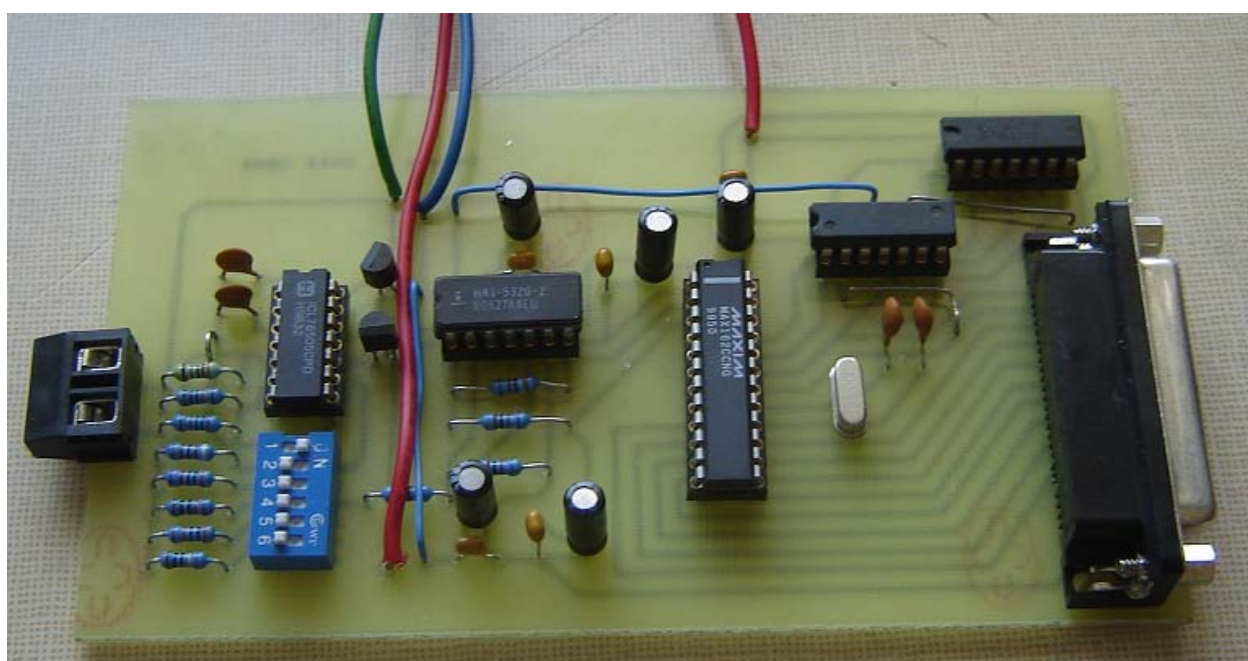
Obr. 8.2 Celkový pohled ze strany součástek



Obr. 8.3 Celkový pohled na cesty tištěného spoje



Obr. 8.4 Destička tištěného spoje



Obr. 8.5 Osazená destička tištěného spoje

8.2 Seznam součástek

C1	0,1 μ F	přepínač	DIP06YL
C2	10 μ F	krystal	4MHz
C3	0,1 μ F	R1	100 k Ω
C4	10 μ F	R2	1 k Ω
C5	47 μ F	R3	1 k Ω
C6	0,1 μ F	R4	9,1 k Ω
C7	0,1 μ F	R5	30 k Ω
C8	10 μ F	R6	100 k Ω
C9	0,1 μ F	R7	300 k Ω
C10	10 μ F	R8	1 M Ω
C11	100 pF	R9	39 k Ω
C12	100 pF	R10	82 k Ω
C13	0,1 μ F	R11	39 k Ω
C14	0,1 μ F	R12	82 k Ω
IC1	ICL7650	LPT	CAN 25 V 90
IC2	HA5320		
IC3	MAX162		
IC4	78L05		
IC5	79L05		
IC8	74ALS00N		
IC9	74LS30N		

Z důvodu přesnější realizace byly použity odpory s přesností 0,1%.

9. Závěr

Hlavním úkolem bylo digitální zpracování analogového signálu. Zmínil jsem se o výhodách a nevýhodách jednotlivých signálů. Dále jsem navrhl schéma zapojení pro zpracování analogové signálu pomocí vzorkovače a A/D převodníku.

Zpracování signálu začíná pomocí zesílení vstupního signálu na potřebné napětí pro vzorkovač a následní zpracování v A/D převodníku MAX162. V zapojení byl použit přepínač pro volbu různého zesílení vstupního signálu, aby bylo možno zpracovat velký rozsah vstupních signálů. Data z převodníku bude možné zpracovat pomocí paralelního portu. Pro převod signálu jsem vybral 12 bitový převodník s rychlou dobou převodu.

Jelikož paralelní port obsahuje pouze 8 datových vývodů bude přenos uskutečněn ve dvou krocích. Nejprve se převede prvních 8 bitů a potom zbylé 4 bity. Oživení přípravku proběhlo bez větších problémů, kdy byla nejprve oživena vstupní část, kde se nachází vstupní zesilovač, změna zesílení funguje pomocí přepínače. Přepínačem se volí velikost zesílení vstupního signálu. Další ověření nebylo již možné z důvodu, že nebyly k dispozici vhodné přístroje pro ověření funkčnosti převodníku. K práci celého bloku je nutné vytvořit nějaký ovládací program ve vhodném jazyce. Tím by mohl být např. C++, Delphi. Pomocí kterého by byl obvod řízen a jeho data na výstupu zpracována.

Literatura

- [1] JAN J., *Číslicová filtrace, analýza a restaurace signálu*. vyd. Brno: VUTUM, 2002. 427 s. ISBN 80-214-1558-4
- [2] KAINKA B., *Měření, řízení a regulace pomocí PC*. 1. vyd. Praha: BEN, 2003, 273 s. ISBN 80-7300-089-X
- [3] HORÁK J., *Hardware pro pokročilé*, vyd. Praha: Computer press, 2001, 372 s. ISBN 80-7226-553-9
- [4] BEZDĚK M., *Elektronika I*. vyd. České Budějovice: KOPP, 2003, 271 s. ISBN 80-7232-171-4
- [5] STANĚK J., *Paralelní port – LPT (IEEE 1284)*. Dostupné z WWW: <http://lpt.hw.cz>
- [6] GESCHEIDTOVÁ E., REZ J., STEINBAUER M., *Měření v Elektrotechnice*. vyd. Brno: VUTUM, 2002, ISBN 80-2-214-19990-3
- [7] PUNČOCHÁŘ J., *Operační zesilovače v elektronice*. 5. vyd. Praha : BEN, 2002 ISBN 80-7300-059-8
- [8] STANĚK J., *RS-232*. Dostupné z WWW: <http://rs232.hw.cz/>
- [9] MATYÁŠ V., FIREŠ R., *Vzorkování periodických signálů*. Sdělovací technika, 1991, č. 11, s. 431-433. ISSN 0036-9942
- [10] DOSTÁL J., *Operační zesilovače*. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1981. 480s . ISBN 04-535-81
- [11] GESCHEIDTOVÁ E., *Měření v elektrotechnice (KMVA)*, elektronická skripta, 17s
- [12] Internetový zdroj: www.datasheetcatalog.org/datasheet/intersil/fn2857.pdf
- [13] Internetový zdroj: http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/I/C/L/7/ICL7650.shtml
- [14] Internetový zdroj: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX162-MX7572.pdf>
- [15] Amatérské rádio, 02/2008, Přesný programovatelný zesilovač, str.3

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratky:

A/D	analogově-digitální převodník
OZ	operační zesilovač
LPT	paralelní rozhraní
RS-232	sériové rozhraní
I ² C	multi-masterová počítačová sériová sběrnice
PZ	pomocný zesilovač
HZ	hlavní zesilovač
K	komparátor

Symboly

A _U	proudové zesílení	(-)
C	kapacita	(F)
L	indukčnost	(H)
R	odpor	(Ω)
T	perioda	(s)
U	elektrické napětí	(V)