

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce

Fakulta textilní

Obor 31-20-8

ASŘ ve spotřebním průmyslu

Katedra technické kybernetiky

A/D převodník pro zařízení Skintest

KTK-ASŘ-TF-145

Milan Melena

Vedoucí práce: Ing. Petr Tůma

Rozsah práce:

Počet stran: 60

Počet příloh: 6

Počet obrázků: 21

3. 5. 1988

Vysoká škola: VŠST Liberec Fakulta: textilní

Katedra: technické kybernetiky Školní rok: 1987/88

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Milana Melenu

obor 31-20-8 ASŘ ve spotřebním průmyslu

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: A/D převodník pro zařízení SKINTEST

Zásady pro vypracování:

- 1) Prostudujte metody A/D převodu použitelné pro mikropočítače
- 2) Navrhněte A/D převodník pro automatizaci měření na zařízení SKINTEST, vyvinutého na KNT VŠST
- 3) Navržený převodník (podle části 2) realizujte jako modul mikropočítače SAPI 1 ZPS 1 (2) a doplňte jej základním programovým vybavením.

V 29/88 T
VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 1
PSČ 461 17

Mikropočítače - měření - autom.

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: cca 50 stran

Seznam odborné literatury:

Dokumentace SAPI 1 ZPS 1

Technické zprávy TESLA

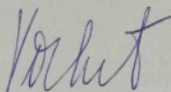
Katalogy součástek TESLA

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Tůma

Datum zadání diplomové práce: 28.9.1987

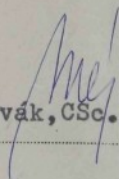
Termín odevzdání diplomové práce: 10.5.1988

L. S.



Doc. Ing. V. Věchet, CSc.

Vedoucí katedry



Doc. Ing. J. Novák, CSc.

Děkan

v Liberci

24.9.

87

dne 19

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 3. 5. 1988

Milan Mělyš
.....

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu své diplomové
práce

ing. Petru Tůmovi

za cenné rady, které mi poskytl během zpracování a při
odstraňování nedostatků práce.

V Liberci, 3. 5. 1988

Milan Melus
.....

O_B_S_A_H

1.	Úvod	6
2.	Využití mikropočítačů při automatizaci měření	8
3.	Metody analogově-digitálního převodu	10
3.1	Vlastnosti převodníků	10
3.2	Princip číslicově-analogového převodu	13
3.3	Komparační metody analogově-digitálního převodu	16
3.4	Kompenzační metody analogově-digitálního převodu	19
3.4.1	Kompenzační A/D převodníky řízené čítačem	19
3.4.2	Kompenzační aproximační A/D převodník	21
3.5	Integrační metody analogově-digitálního převodu	24
3.6	Stochastické metody analogově-digitálního převodu	26
4.	Stručný popis zařízení Skintest	27
5.	A/D převodník pro automatizaci měření na zařízení Skintest	33
5.1	Popis převodníku	33
5.2	Funkční zapojení převodníku	34
5.2.1	Stručná charakteristika některých použitých obvodů	35
5.2.2	Vstupní část	41
5.2.3	Převodní část	42
5.2.4	Připojení k mikropočítači	47
5.3	Základní programové vybavení převodníku	49
6.	Závěr	58
	Seznam příloh	59
	Použitá literatura	60

1. Úvod

Žijeme v době prudkého rozvoje vědy a techniky. Tento rozvoj s sebou přináší řadu nových problémů, mimo jiné i požadavek nového způsobu sledování a řízení stále složitějších výrobních systémů. Právě tento požadavek vykrystalizoval v poslední době v zavádění automatizovaných systémů řízení.

Řízení se neobejde bez sledování řízeného objektu. V případě řízení technologických procesů jde nejen o získávání poznatků o průběhu celého procesu, ale i o sledování vlastností výsledného produktu. Informace o vlastnostech výrobků získáváme měřením. Je zřejmé, že i nároky na tuto činnost v současnosti stoupají a že i zde nabývá na významu automatizace.

Předkládaná práce se zabývá způsoby analogově-digitálního převodu vhodnými pro mikropočítače. Převod analogových veličin na číslicové je pro sběr informací v automatizovaných systémech řízení nezastupitelný. Orientace na mikropočítače je opodstatněna ekonomickou přitažlivostí masového zavádění těchto prostředků. Informace o metodách analogově-digitálního převodu byly využity ke konstrukci analogově-digitálního převodníku pro zařízení Skintest, který je v práci popsán.

Zařízení Skintest, vyvinuté na katedře netkaných textilií VŠST, je určeno k měření tepelně-fyziologických vlastností textilií. Popisovaný převodník umožňuje automatizaci měření na tomto zařízení.

Celá práce je rozdělena do šesti kapitol. Kapitola 2 stručně informuje o historii automatizovaných měřících systémů a o využití mikropočítačů v těchto systémech.

Kapitola 3 se zabývá metodami analogově-digitálního pře-

vođu. Jsou v ní postupně probrány komparační, kompenzační, integrační a stochastické metody A/D převodu. U každé metody je popsán její princip, výhody a nevýhody.

Kapitola 4 popisuje princip zařízení Skintest.

Kapitola 5 popisuje konstrukci převodníku navrženého pro automatizaci měření na tomto zařízení. Jsou v ní uvedeny stručné charakteristiky některých použitých obvodů a podrobný popis jednotlivých částí převodníku. V posledním odstavci páté kapitoly je uvedeno základní programové vybavení převodníku.

Přílohy práce obsahují schema zapojení převodníku, obrazec plošného spoje převodníku realizovaného jako modul mikropočítače SAPI, zapojení vývodů výstupního konktoru tohoto modulu a výpis programu pro ovládání převodníku.

2. Využití mikropočítačů při automatizaci měření

Automatizované systémy měření prošly během svého vývoje několika etapami.

První generace se objevuje koncem padesátých let. Tehdy vyráběné automatizované systémy měření se vyznačovaly pevnou logikou, specializovanými měřicími zařízeními a značně složitým programovým vybavením. Vyráběly se zpravidla na přímou objednávku zákazníka.

Tato generace byla zhruba po 9-ti letech vystřídána generací druhou. Na této druhé generaci se projevuje vliv hromadné výroby integrovaných obvodů. V důsledku toho dochází ke změně koncepce měřících systémů. Automatizované systémy měření druhé generace mají již stavebnicovou konstrukci a možnost přizpůsobovat se speciálním požadavkům. Měřicí systémy druhé generace využívaly středních počítačů.

Třetí generace automatizovaných systémů měření přechází na využívání minipočítačů s relativně jednoduchým programováním, počátky její aplikace spadají do roku 1973.

V současnosti můžeme hovořit o čtvrté generaci, která je charakterisována především využitím obvodů s vysokým stupněm integrace a mikropočítačů. Přitom se v přístrojích této generace mikroprocesor používá pouze k předem pevně určeným úkolům, uživatel je vázán pevně zabudovanými možnostmi přístroje.

Tato etapa již dnes postupně přerůstá do etapy tzv. měřících mikropočítačů. Tyto přístroje umožňují změnit konfiguraci pomocí výměnných modulů, kombinovat různé funkce pro realizaci složitých měření, jejich připojení na standardní automatizovaný měřicí systém apod. [1].

Používání mikroprocesorů v řešení technických problémů

vede k tzv. "mikroprocesorovému paradoxu" [1]. Paradox spočívá v tom, že poměr funkčního výkonu k nákladům na součástkovou základnu není v souladu s dosavadní inženýrskou zkušeností, vychází podstatně vyšší, než při klasickém řešení. To způsobuje, že mnohdy řešení úlohy pomocí mikroprocesoru se zavrhuje, mimo jiné i proto, že se mikroprocesor zdá pro danou úlohu příliš výkonný, třebaže takové řešení může být několikanásobně levnější. Je třeba si však uvědomit, že cena mikroprocesoru představuje v poměru k jeho "výkonnosti" zanedbatelnou hodnotu.

I v měření je tedy žádoucí využívat mikroprocesory ve všech oblastech, tj. v oblasti sběru, přenosu, zpracování a znázornění informací. Moje diplomová práce se dotýká užšího okruhu otázek v oblasti sběru informací - otázek analogově digitálního převodu, částečně pak i oblastí zpracování výsledků měření.

3. Metody analogově-digitálního převodu

Analogové signály poskytované měřicím zařízením je třeba upravit. Jde zpravidla o jejich zesílení, filtraci a, v případě použití číslicové techniky pro jejich zpracování, o převod do číslicového tvaru. Způsoby analogově-digitálního převodu vhodnými pro mikropočítače se zabývá tato kapitola. Jsou v ní stručně popsány tyto metody analogově-digitálního převodu:

- komparační metody
- kompenzační metody
- integrační metody
- stochastické metody

3.1 Vlastnosti převodníků

Dříve než budou popsány některé metody analogově-digitálního převodu, je třeba se zmínit o základních vlastnostech převodníků. Ty lze vyjádřit následujícími parametry.

R o z l i š o v a c í s c h o p n o s t . Je dána počtem rozlišitelných úrovní analogového signálu. Pro n -bitový převodník je úrovní 2^n . Pro m -místný dekadický převodník je to 10^m úrovní. Rozlišovací schopnost se zpravidla uvádí přímo počtem řádů. Potom jde o n -bitový převodník, nebo m -místný číslicový měřicí přístroj. Reálný převodník zřídka rozlišuje teoretický počet úrovní. Rozlišovací schopnost se často zaměňuje s krokem kvantování /viz. dále/.

K ó d p ř e v o d n í k u . Převodník může pracovat v různých druzích kódu. Nejčastěji to bývá binární kód, nebo kód BCD, jinak může pracovat v kódu inverzním, doplňkovém apod. Zvláštní skupinu tvoří převodníky nelineární /logaritmické, exponenciální apod./.

R o z s a h . Je daný maximální a minimální hodnotou zpracovávané analogové veličiny /např. 0 až 10 V, ± 3 V apod./. Obyčejně se označuje FS /Full Scale/.

K r o k k v a n t o v á n í . Tento parametr lze také nazvat citlivostí převodníku. Označuje se LSB. Na obr. 1 je označený ΔA . Je to rozdíl dvou sousedních hodnot převáděné analogové veličiny, při kterých nastává přechod od jednoho kódového slova ke druhému. Krok kvantování je dán podílem rozsahu a rozlišovací schopnosti.

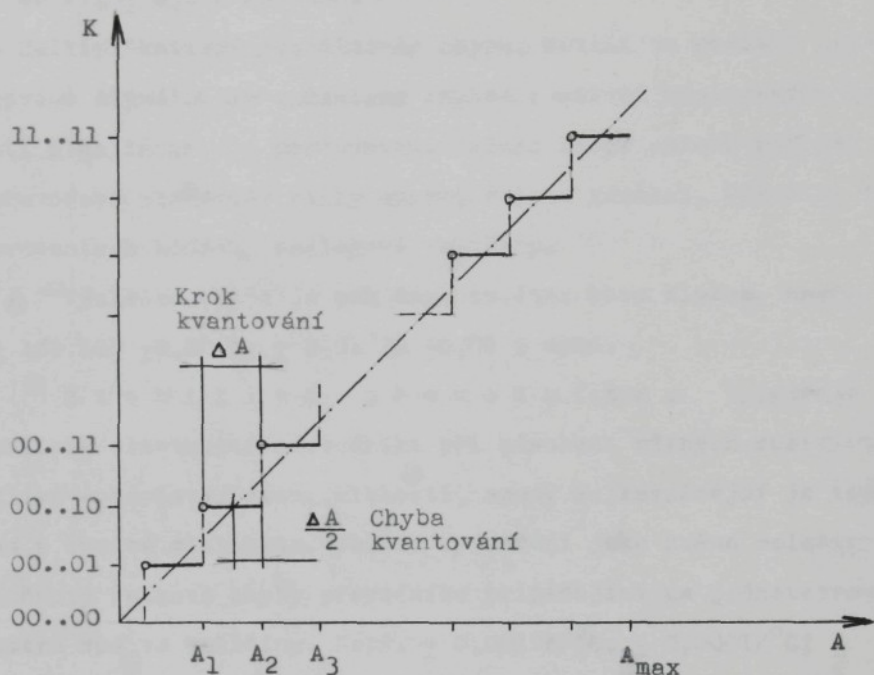
C h y b a k v a n t o v á n í . Je určena maximálním teoretickým rozdílem mezi skutečnou hodnotou analogové veličiny a její hodnotou odpovídající danému kódovému slovu. Obyčejně je to polovina kroku kvantování.

R y c h l o s t p ř e v o d n í k u . Je určena buď časem nutným na provedení jednoho převodu, nebo počtem převodů, které je převodník schopný provést za jednotku času.

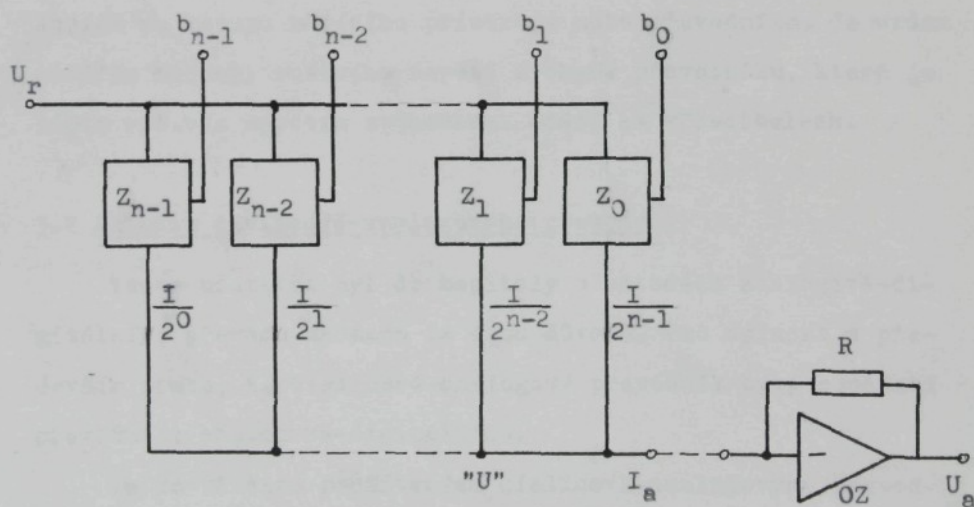
P o u ž i t á l o g i k a . Určuje, s jakými typy logických obvodů může převodník spolupracovat /TTL, DTL, CMOS apod./.

P ř e s n o s t p ř e v o d n í k u . Závisí na chybě převodníku. Pro analogově-digitální převodník je to rozdíl mezi teoretickou hodnotou analogové veličiny odpovídající výstupnímu kódovému slovu a hodnotou vstupní veličiny. Celková chyba je určena dvěma složkami:

- aditivní /součtová/ chyba, je část chyby, která je nezávislá na hodnotě analogového signálu, tj. je po celý rozsah převodníku konstantní. Je způsobena převážně chybou nuly, chybou kvantování apod. Určuje vlastně posunutí reálné převodové charakteristiky vůči ideální. Udává se jako násobek kroku kvantování, nebo jako část rozsahu převodníku - např. ± 1 LSB



Obr.1 Převodová charakteristika A/D převodníku



$$I_{a\max} = 1 - 2^{-n} 2I ; \quad U_a = - I_a R$$

Obr.2 Princip přímého paralelního D/A převodníku

$\pm 40 \text{ mV}$; $\pm 0,1 \%$ FS apod.

- Multiplikativní /součinná/ chyba, závisí na hodnotě analogového signálu. Je způsobena chybou zesílení analogových částí a nelinearitou převodníku. Určuje změnu sklonu reálné převodové charakteristiky oproti sklonu ideální. Udává se v procentech hodnoty analogové veličiny.

Výsledná chyba je pak dána součtem obou složek, např.
 $\pm 1/4 \text{ LSB}$ $\pm 0,02 \%$; $\pm 0,01 \text{ FS}$ $\pm 0,02 \%$ apod.

S t a b i l i t a p ř e v o d n í k u . Vyjadřuje stálost vlastností převodníku při působení různých rušivých vlivů - teploty, času, vlhkosti, apod. Nejzávažnější je tepelná a časová stabilita. Obě se vyjadřují jako změna relativní hodnoty celkové chyby převodníku připadající na jednotkovou změnu rušivé veličiny. Např. $\pm 0,001 \%/^{\circ}\text{C}$; $\pm 0,0001/^{\circ}\text{C}$; $10^{-4}/1000$ hod apod.

P o t l a č e n í r u š í v ý c h s i g n á l ů . Parametr udává, do jaké míry jsou potlačena rušivá napětí vznikající na vstupu měřícího přístroje nebo převodníku. Je určen podílem hodnoty rušivého napětí k chybě převodníku, která je tímto rušivým napětím způsobena. Udává se v decibelech.

3.2 Princip číslicově-analogového převodu

Tento odstavec byl do kapitoly o metodách analogově-digitálního převodu zařazen ze dvou důvodů. Pro úplnost a především proto, že číslicově-analogový převodník bývá součástí převodníku analogově-digitálního.

Velká většina používaných číslicově-analogových převodníků využívá přímý způsob převodu kódového slova na analogovou veličinu. Při tomto způsobu se hodnota výstupní veličiny určuje váženým součtem odstupňovaných referenčních hodnot

této veličiny. Referenční hodnoty jsou nejčastěji vhodně odstupňované velikosti jednosměrných proudů. Ty se sčítají ve společném uzlu a vytváří tak celkový proud, který je výstupem číslicově-analogového převodníku. Princip tohoto převodníku je znázorněn na obr. 2. Na obrázku jsou zdroje částečných proudů označeny Z_i . Každý zdroj je ovládán příslušným bitem b_i vstupního číslicového slova.

Podle způsobu realizace zdrojů částečných proudů dělíme číslicově-analogové převodníky na převodníky se:

- spínanými odporovými sítěmi / obr. 3/
- spínanými proudovými zdroji / obr. 4/

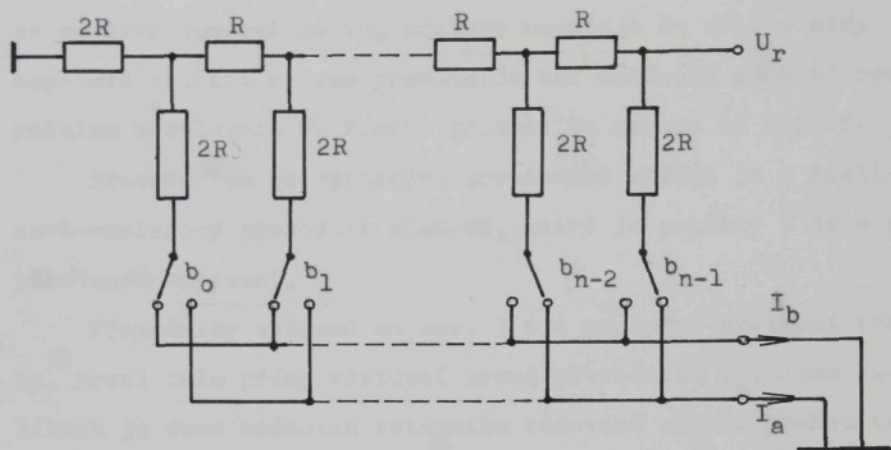
Převodníky se spínanými odporovými sítěmi lze ještě podle způsobu zapojení odporů v síti rozdělit na:

- převodníky s váhovými odporovými sítěmi
- převodníky s kombinovanými odporovými sítěmi.

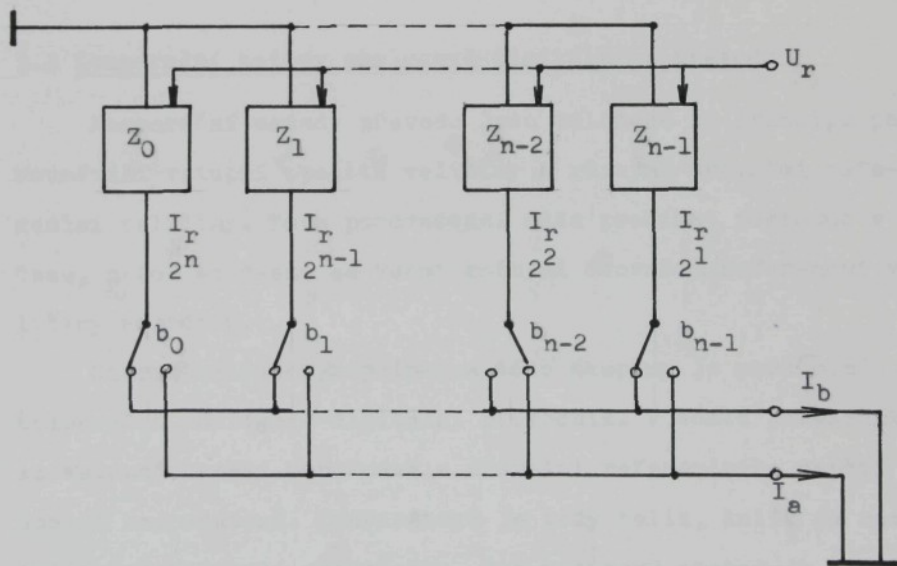
Pokud použijeme váhovou odporovou síť, je velikost částečných proudů určována pomocí odporů odstupňovaných hodnot. Výhodou této varianty je především jednoduché zapojení. Nevýhodou potřeba značně rozdílných velikostí odporů. Tento rozdíl se obtížně realizuje ze stejného materiálu. Proto se u těchto převodníků obtížně zajišťuje tepelná stabilita.

Z tohoto důvodu se nejčastěji používají kombinované odporové sítě. V těchto sítích se mezi sekce váhových odporů zapojují sériové odpory určující váhy jednotlivých sekcí /viz. obr. 3/. Speciálním případem kombinované odporové sítě je síť $R - 2R$, která se skládá pouze z odporů dvou hodnot - zvolené hodnoty R a jejího dvojnásobku. Tato síť je ale vhodná pouze pro převodníky pracující v binárních kódech.

převodník se spínanými proudovými zdroji vychází z principu spojování zdrojů částečných proudů do společného uzlu.



Obr. 3 Princip D/A převodníku se spínanou odporovou sítí



Obr. 4 Princip D/A převodníku se spínanými proudovými zdroji

Způsob realizace převodníku se spínanými proudovými zdroji se používá poměrně často, protože umožňuje do určité míry napěťově zatížit výstup převodníku bez nutnosti použití operačního zesilovače ve funkci převodníku proudu na napětí.

Převodníkem se spínanými proudovými zdroji je i číslicově-analogový převodník MDAC-08, který je použitý v dále popisovaném zařízení.

Převodníky uvedené na obr. 3 a 4 mají dvě výstupní svorky. První teče přímý výstupní proud převodníku I_a . Jeho velikost je daná hodnotou vstupního kódového slova. Druhou teče doplňkový proud I_b . Jeho velikost je doplňkem k hodnotě proudu I_a do maximální hodnoty výstupního proudu, nebo jinými slovy, odpovídá velikosti doplňku vstupního kódového slova.

Do dalších podrobností číslicově-analogového převodu se vzhledem k zpracovávané problematice není třeba pouštět.

3.3 Komparační metody analogově-digitálního převodu

Komparační metody převodu jsou založené na principu porovnávání vstupní spojitě veličiny s různými úrovněmi referenční veličiny. Toto porovnávání může probíhat postupně v čase, nebo současně se všemi možnými úrovněmi referenční veličiny najednou.

Charakteristickým případem této skupiny je paralelní komparační analogově-digitální převodník. V tomto převodníku se vstupní napětí porovnává s úrovněmi referenčního napětí pomocí komparátorů. Komparátorů je tedy tolik, kolik je rozlišitelných úrovní převodníku. Pro n -bitový převodník to znamená $2^n - 1$ komparátorů. Referenční hodnoty jsou zpravidla vytvářeny pomocí děliče napětí. Dělič je složen z téhož počtu odporů stejné hodnoty. Celý dělič je potom napojen na jediný

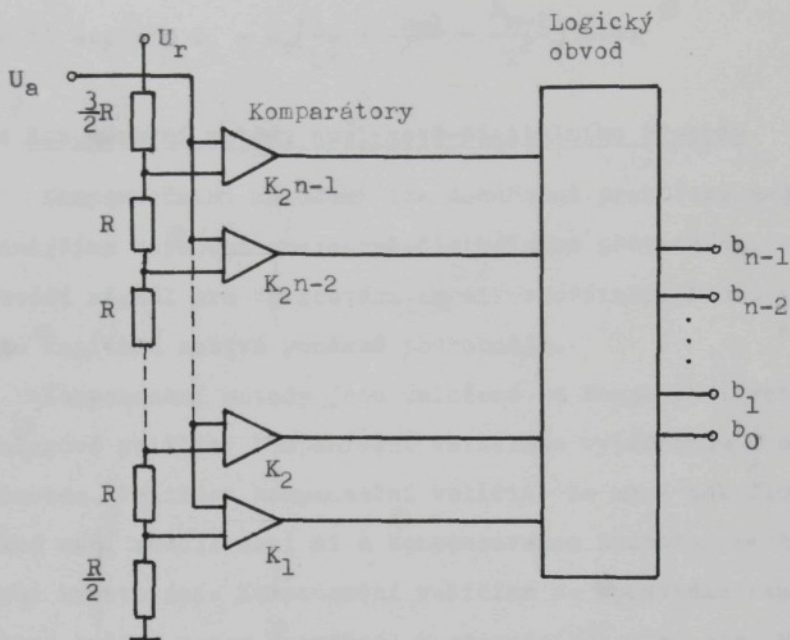
zdroj přesného referenčního napětí. Výstupy jednotlivých komparátorů vstupují do logického obvodu, kde se dekódují. Výstup je potom již příslušné kódové slovo. Analogově-digitální převodník pracující tímto způsobem je schematicky znázorněn na obr. 5.

Výhodou tohoto typu převodu je především značná rychlost oproti jiným. Dosahuje stovky, vyjimečně i desítky nanosekund. Tato rychlost je dána tím, že čas převodu je závislý pouze na zpoždění komparátorů a logické sítě. Na druhé straně je však celé zařízení příliš složité, nákladné a málo přesné. Sestavují se takto pouze 4 až 6-ti bitové /maximálně 8-bitové převodníky/, které se využívají tam, kde je třeba velmi krátkého času převodu.

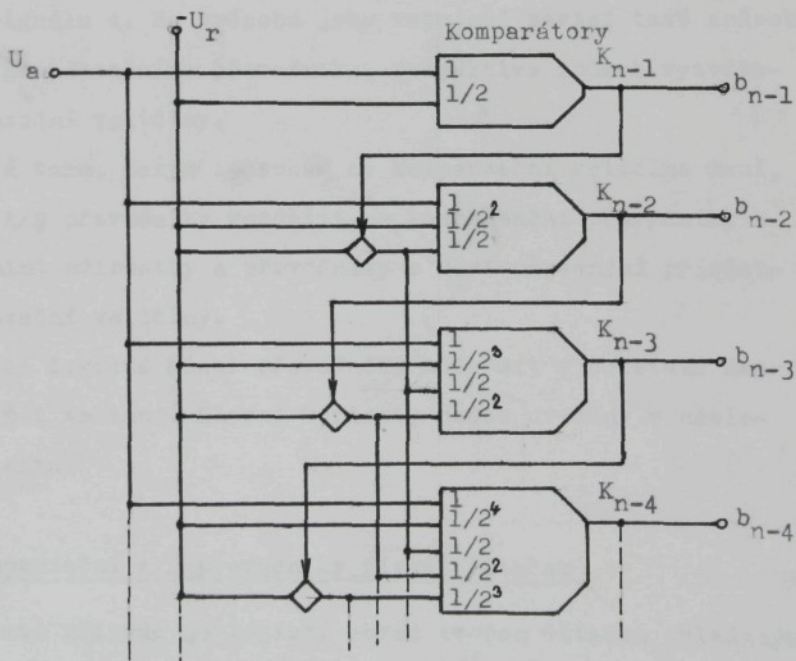
Jedna z možností, jak snížit nákladnost popsaného zapojení, je sériový způsob převodu. Vstupní veličina se potom neporovnává najednou, ale postupně v několika krocích s menším počtem provní. Tímto způsobem se podstatně sníží počet stavebních prvků. Na druhé straně se ale prodlouží doba převodu.

Jinou možností, jak snížit spotřebu materiálu, je kombinace komparační metody s metodou kompenzační. Převodník realizovaný tímto způsobem je na obr. 6. Úspory materiálu je dosaženo úpravou komparátorů. Počet komparátorů je závislý na rozlišovací schopnosti převodníku podstatně příznivějším způsobem. Pro n -bitový převodník je třeba právě n komparátorů. Činnost převodníku je ve stručnosti následující.

Komparátor K_{n-1} určující číslici b_{n-1} v nejvyšším řádu čísla porovnává napětí U_a s referenčním napětím $\frac{U_r}{2}$, číslice b_{n-2} se určuje rozhodnutím o polaritě napětí, které je dáno vztahem $U_a - U_r \left(\frac{1}{2^2} + \frac{b_{n-1}}{2^{n-1}} \right)$, číslice b_{n-3} rozhodnutím o po-



Obr. 5 Paralelní komparační A/D převodník



Obr. 6 Zapojení paralelního komparačního převodníku s jedním komparátorem pro každou binární číslici výsledku

laritě napětí $U_a = U_r \left(\frac{1}{2^3} + \frac{b_{n-1}}{2^2} + \frac{b_{n-2}}{2} \right)$ atd.

3.4 Kompenzační metody analogově-digitálního převodu

Kompenzačními metodami lze dosáhnout prakticky nejvyššího zapojení analogově-digitálního převodníku, který převádí signál pro zpracování na mikropočítači. Proto se jimi tato kapitola zabývá poněkud podrobněji.

Kompenzační metody jsou založené na kompenzaci vstupní analogové veličiny kompenzační veličinou vytvářenou vhodným způsobem. Velikost kompenzační veličiny se mění tak dlouho, dokud není rozdíl mezi ní a kompenzovanou hodnotou menší, než chyba kvantování. Kompenzační veličina se zpravidla realizuje pomocí zpětné vazby vytvořené v převodníku, viz. obr. 8.

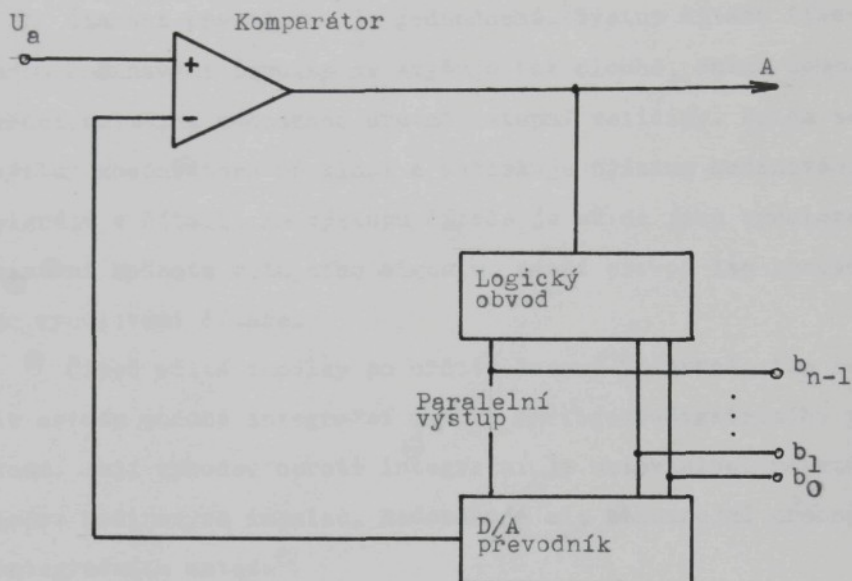
Vstupní hodnota D/A převodníku se mění prostřednictvím logického obvodu. Ten je řízen hodinovými impulsy a úrovní binárního signálu A. Na způsobu jeho zapojení závisí také způsob činnosti kompenzačního převodníku, respektive způsob vytváření kompenzační veličiny.

Podle toho, jakým způsobem se kompenzační veličina mění, lze tyto A/D převodníky rozdělit na kompenzační převodníky s konstantními přírůstky a převodníky s odstupňovanými přírůstky kompenzační veličiny.

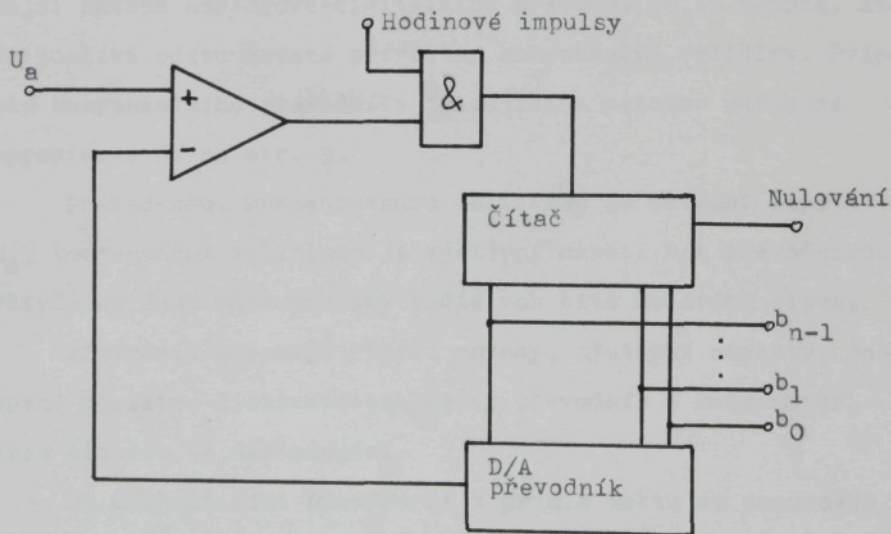
Řešení logické části převodníku může mít v podstatě neomezený počet variant. Hlavní varianty budou uvedeny v následujícím textu.

3.4.1 Kompenzační A/D převodníky řízené čítačem

V tomto případě je logický obvod tvořen čítačem ovládaným hodinovými impulsy. Jedná se o převodník, který vytváří kompenzační veličinu s konstantními přírůstky. Jeho princip je



Obr. 7 Obecné schema kompenzačního A/D převodníku



Obr. 8 Kompenzační A/D převodník řízený čítačem

znázorněn na obr. 8.

Činnost převodníku je jednoduchá. Výstup čítače řízeného hodinovými impulsy se zvyšuje tak dlouho, dokud kompenzační veličina nedosáhne úrovně vstupní veličiny. Potom se výstup komparátoru překlopí a zablokuje přístup hodinového signálu k čítači. Na výstupu čítače je až do jeho vynulování binární hodnota vstupního signálu. Další převod lze provádět po vynulování čítače.

Čítač sčítá impulsy po určitý časový interval, tím se tato metoda podobá integrační metodě analogově-digitálního převodu. Její výhodou oproti integrační je nezávislost na kmitočtu hodinových impulsů. Nedosahuje ale samozřejmě přesnosti integračních metod.

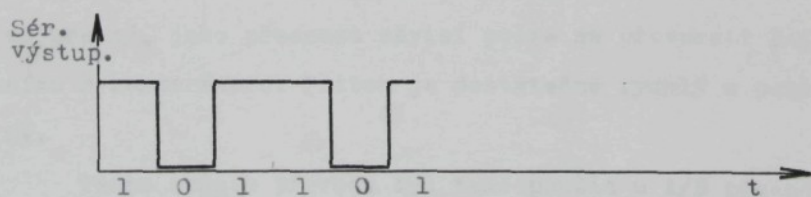
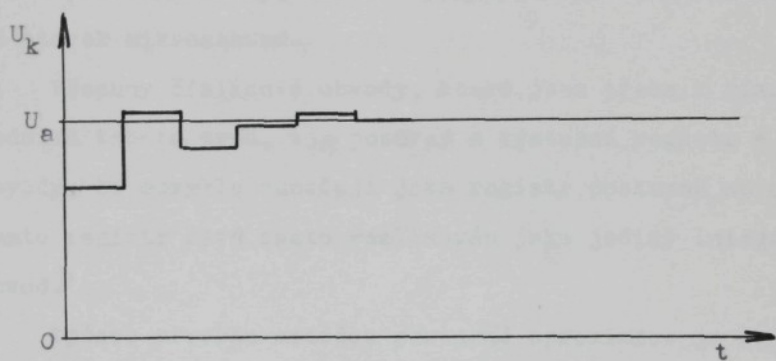
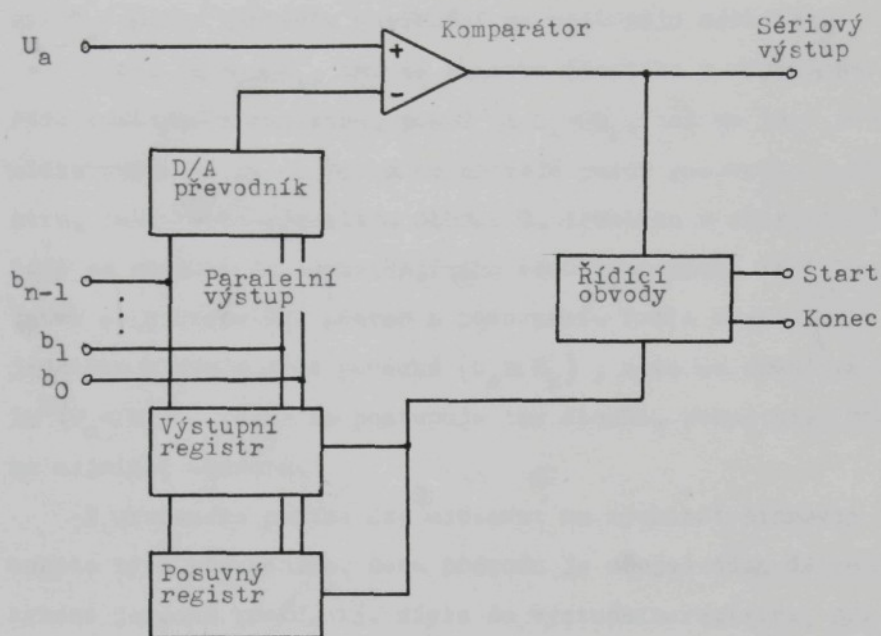
3.4.2 Kompenzační aproximační A/D převodník

Metoda postupné aproximace je nejznámější a nejpoužívanější metoda analogově-digitálního převodu. Je to metoda, která používá odstupňované přírůstky kompenzační veličiny. Princip kompenzačního převodníku pracujícího metodou postupné aproximace je na obr. 9.

Převáděnou, kompenzovanou veličinou je vstupní napětí U_a , kompenzační veličinou je výstupní napětí D/A převodníku. Přírůstky jsou odstupňovány podle vah bitů kódového slova.

Převodník obsahuje řídicí obvody, výstupní registr, posuvný registr, číslicově-analogový převodník a komparátor. Jeho činnost je následující.

Po odstartování převodu se v prvním taktu do posuvného registru zapíše slovo 1000...0. Toto slovo se přeneso do výstupního registru. Proveďte se číslicově-analogový převod a výsledné napětí U_k se porovnává v komparátoru s napětím vstup-



Obr.9 Kompenzační A/D převodník pracující metodou postupné aproximace

ním U_a . Podle výsledku porovnání se postupuje následovně.

Pokud je $U_a \geq U_k$, tak se ponechá jednička v nejvyšším řádu výstupního registru, pokud je $U_a < U_k$, tak se tato jednička změni na nulu. Potom se provede posuv posuvného registru, takže obsahuje slovo 0100...0. Jednička v příslušném řádě se přenesa do odpovídajícího řádu výstupního registru. Znovu se provede D/A převod a porovnání. Podle výsledku se jednička v daném řádě ponechá ($U_a \geq U_k$), nebo se změni na nulu ($U_a < U_k$). Takto se postupuje tak dlouho, pokud není určena nejnižší hodnota.

Z uvedeného popisu lze usuzovat na rychlost činnosti tohoto typu převodníku. Doba převodu je zřejmě dána délkou trvání jednoho kroku, tj. zápis do výstupního registru, D/A převod, porovnání v komparátoru a vyhodnocení v obvodech řízení, a počtem bitů výstupního slova, tj. rozlišovací schopností převodníku. Rychlost se pohybuje řádově okolo desítek až stovek mikrosekund.

Všechny číslicové obvody, které jsou třeba k řízení převodníků tohoto typu, tj. posuvný a výstupní registr a řídicí obvody, se obvykle označují jako registr postupné aproximace. Tento registr bývá často realizován jako jediný integrovaný obvod.

Způsob převodu metodou postupné aproximace je nejrozšířenější. Důvodem rozšíření jsou jeho přednosti - je poměrně přesný, jeho přesnost závisí pouze na přesnosti D/A převodníku a komparátoru. Přitom je dostatečně rychlý a poměrně levný.

Tento způsob převodu byl také použit u A/D převodníku pro zařízení Skintest, který je popisován v této práci.

3.5 Integrační metody analogově-digitálního převodu

Integrační metody A/D převodu jsou založené na integraci vstupního signálu a následujícím mezipřevodu na časový interval nebo frekvenci impulsů.

Tyto metody mají celou řadu obměn. Základní metodou je metoda dvojité integrace. Princip převodníku pracujícího způsobem dvojité integrace je na obr. 10.

Převodník obsahuje integrátor, komparátor, počítadlo impulsů, generátor impulsů a řídicí obvody. Pracuje ve dvou taktách. V prvním taktu se sepnutím spínač S_1 přivede na vstup integrátoru vstupní převáděné napětí. Spínač je sepnutý po přesně stanovenou dobu T_1 . Po tuto dobu se napětí integruje. Po uplynutí doby T_1 se spínač S_1 rozepne a následuje druhý takt. Vynuluje se počítadlo impulsů a sepne se spínač S_2 . Tím se na vstup integrátoru přivede referenční napětí U_r opačné polarity. Od tohoto okamžiku počítadlo počítá impulsy až do doby, kdy výstupní napětí integrátoru dosáhne nulové hodnoty. Tento okamžik registruje komparátor přepnutím do druhého stavu a tím dá signál řídicím obvodům, které zastaví činnost počítadla. Tím skončí druhý takt. Počítadlo po jeho konci obsahuje počet impulsů, který je přímo úměrný hodnotě vstupního převáděného napětí.

$$N_2 = U_a \frac{T_1}{U_r T} \quad \text{čili} \quad U_a = N_2 U_r \frac{T}{T_1}$$

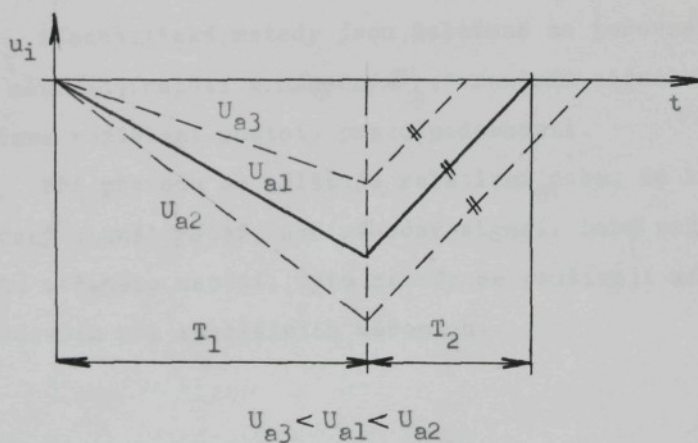
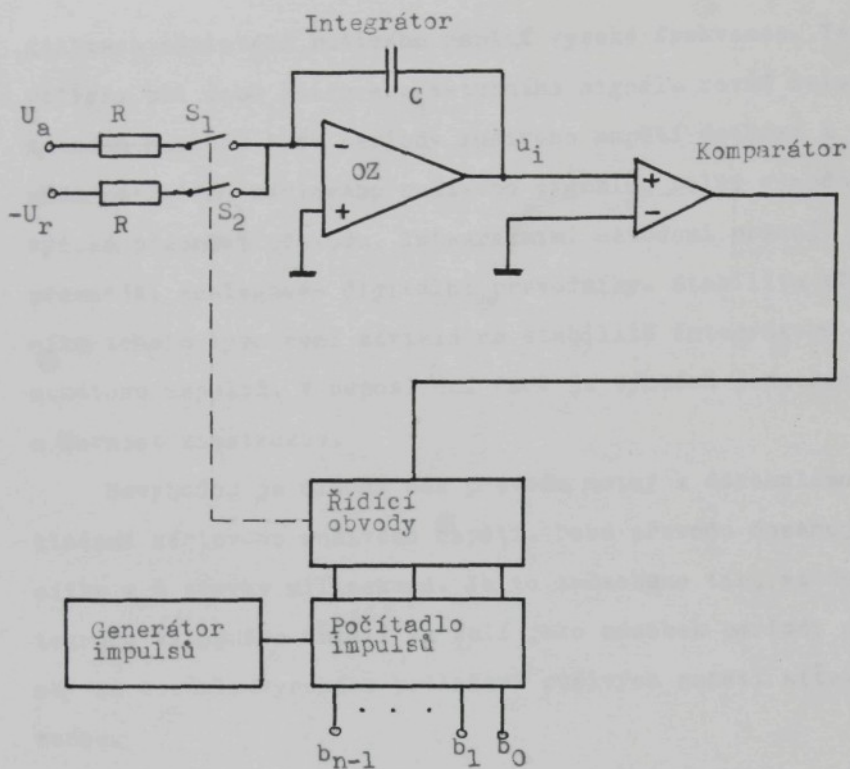
kde N_2 je počet impulsů napočítaných počítadlem v druhém taktu,

T_1 je doba trvání prvního taktu,

U_r je hodnota referenčního napětí a

T je perioda impulsů generátoru.

Mezi výhody integračních metod převodu patří schopnost



Obr. 10 Princip integračního A/D převodníku pracujícího metodou dvojité integrace

filtrace sériového rušivého napětí vysoké frekvence. Teoreticky při době integrace vstupního signálu rovné celočíselnému násobku času periody rušivého napětí dochází k úplnému potlačení sériového rušivého signálu. Další výhodou je vysoká přesnost převodu. Integračními metodami pracují nej přesnější analogově- digitální převodníky. Stabilita převodníku tohoto typu není závislá na stabilitě integrátoru a generátoru impulsů. V neposlední řadě je výhodná jednoduchost a levnost konstrukce.

Nevýhodou je dlouhý čas převodu nutný k dokonalému potlačení sériového rušivého napětí. Doba převodu dosahuje desítky až stovky milisekund. Je to způsobeno tím, že doba integrace vstupního napětí se volí jako násobek periody sítě, aby se dosáhlo vysokého potlačení rušivých napětí síťové frekvence.

3.6 Stochastické metody analogově-digitálního převodu

Stochastické metody jsou založené na porovnání velikosti měřeného napětí s náhodným referenčním signálem, který má určené rozdělení hustoty pravděpodobnosti.

Při převodu se tjišťuje relativní doba, za kterou je měřený signál větší, než náhodný signál. Doba pak určuje hodnotu měřeného napětí. Tyto metody se používají méně často, především při speciálních měřeních.

4. Stručný popis zařízení Skintest

Zařízení Skintest bylo vyvinuto na katedře netkaných textilií VŠST Liberec. Je určeno pro zjišťování fyziologických vlastností textilií, konkrétně pro určení rychlosti transportu vlhkosti průřezem textilie a jejího odvodu do okolí. Určení těchto vlastností textilie je důležité zejména u oděvů, které jsou používány při vysoké fyzické zátěži, kdy dochází ke zvýšení množství vylučovaného potu z lidské pokožky. Zde je třeba, aby textilie dokázala rychle odvést nahromaděnou vlhkost, zejména z vnitřní části oděvu, při zachování co nejvyšší tepelně izolační schopnosti. Je nutno zkonstruovat textilií, jejíž vnitřní strana umožní odvod potu, ale přitom zůstane suchá, a jejíž vnější strana je schopna co nejvíce potu akumulovat a současně i co nejvíce vlhkosti předat do vnějšího prostředí.

Požadované vlastnosti vykazují pouze dvouvrstvé, vzájemně spojené, tzv. integrované textilie, z nichž mnoha důvodů, jsou nejvýhodnější integrované pleteniny. Pro optimalizaci materiálového složení i struktury je nezbytné měřit oděvně-fyziologické vlastnosti těchto textilií.

Pro testování výše uvedených vlastností textilií byl ve Výzkumném ústavu pro oděvní fyziologii v Hohensteinu, NSR vyvinut tzv. "Haut model", tj. model lidské pokožky, který umožňuje simulovat podmínky vysoké fyzické zátěže.

Základem přístroje, který vyvinul Dr. Heinz Umbach je kovový blok udržovaný pomocí termostatu na teplotě pokožky /35 °C/, přičemž je měřen elektrický příkon bloku. Všechny plochy bloku, kromě jedné jsou tepelně izolovány. Na volné ploše bloku je s dobrým tepelným kontaktem připevněna porézní vrstva pokrytá nasákavou textilií. Do porézní vrstvy ústí

z boku čerpadla pro dávkování vody. Nasáková textilie je při měření překryta měřeným vzorkem, jehož vnější plocha je ofukována klimatizovaným vzduchem. Při měření se do porézní vrstvy impulsně /jednorázově/ dávkuje 20 ml vody, která z nasákové textilie přechází do měřeného vzorku a z volného povrchu se odpařuje.

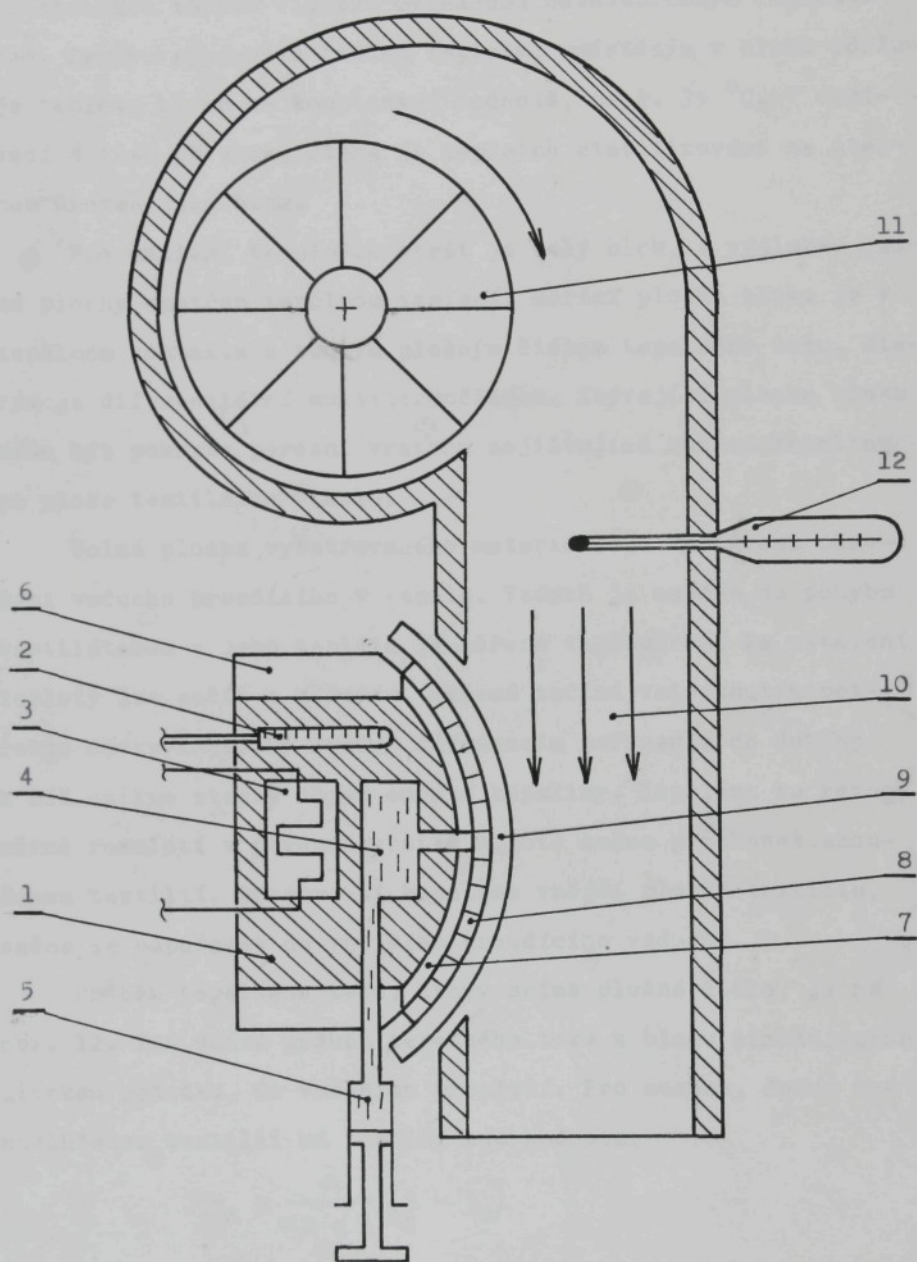
Vliv vlhkosti na velikost tepelného toku textilií a vliv výparného tepla se promítá do okamžité velikosti elektrického příkonu bloku. Z časového průběhu příkonu, který je tvořen hladkou křivkou, lze odečíst teplo a dobu potřebné k odpaření do vzorku vloženého množství vlhkosti.

Vedle nesporných výhod, především věrné simulace tepelně-vlhkostního děje v textilií, obsahuje toto zařízení řadu nevýhod. K nevýhodám patří nízká citlivost a nízká rozlišovací schopnost daná principem měření tepelných ztrát měřené soustavy prostřednictvím měření elektrického příkonu základního bloku. Přitom jde o jediné známé zařízení k objektivizaci oděvně-fyziologických vlastností textilií.

Pro zvýšení citlivosti a rozlišovací schopnosti se vzorek textilie zavlhčuje vysokým množstvím vody, jejíž odpaření trvá až 1 h. Měření je proto zdlouhavé.

Právě popsané nedostatky byly impulsem k vývoji zařízení Skintest. Zařízení se schematicky zobrazeno na obr. 11.

Zařízení se skládá z kovového bloku /1/, čidla teploty /2/, elektrické topné vložky /3/, ohřívací dutiny s vodou /4/, dávkovacího zařízení /5/, tepelné izolace /6/, plošného čidla tepelného toku /7/, porézní vrstvy /8/, vyšetřovaného materiálu /9/, kanálu s proudícím vzduchem /10/, ventilátoru /11/ a teploměru 12. Princip jeho činnosti je ve stručnosti následující.



Obr. 11 Schematické zobrazení zařízení Skintest

Kovový blok je po uvedení zařízení do činnosti vytápěn elektrickou topnou vložkou ovládanou neznázorněným regulátorem. Ten ve spojení s čidlem teploty, umístěným v bloku udržuje teplotu bloku na konstantní hodnotě, např. 35 °C. V ohřívací dutině je voda, která je teplotně stabilizována na stejnou úroveň jako blok.

Pro snížení tepelných ztrát je celý blok, s výjimkou jedné plochy opatřen tepelnou izolací. Měřicí plocha bloku je v tepelném kontaktu s tenkým plošným čidlem tepelného toku, kterým je diferenciální multitermočlánek. Zbývající plocha bloku může být pokryta porézní vrstvou zajišťující rozvod kapaliny po ploše textilního vzorku.

Volná plocha vyšetřovaného materiálu je vystavena působení vzduchu proudícího v kanále. Vzduch je uváděn do pohybu ventilátorem a jeho teplota je měřena teploměrem. Po ustálení teploty lze začít s měřením. Měření začíná vstříknutím potřebné dávky kapaliny /vody/ dávkovacím zařízením do dutiny, z níž unikne stejný objem ohřáté kapaliny. Kapalina se rovnoměrně rozmístí v porézní vrstvě a poté začne procházet zkoušenou textilií. Dosáhne-li kapalina vnější plochy textilie, začne se odpařovat do vnějšího proudícího vzduchu.

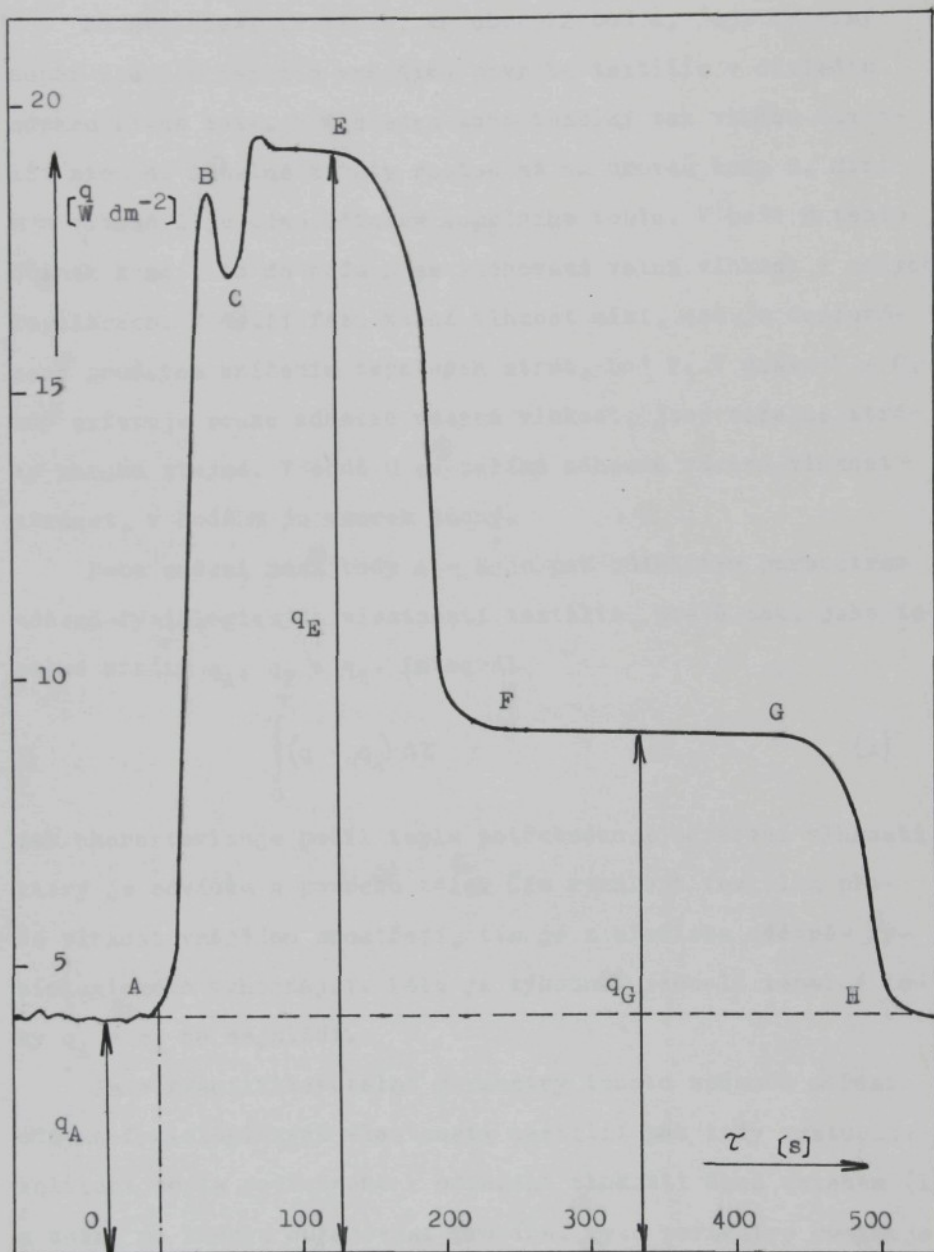
Průběh tepelného toku, který snímá plošné čidlo, je na obr. 12. Ten udává průběh tepelného toku z bloku simulujícího lidskou pokožku, do vnějšího prostředí. Pro suchou, dosud ne navlhčenou textilií má tepelný tok hodnotu:

$$q_A = \frac{\alpha}{\alpha_R + 1} (t - t_o)$$

kde R je tepelný odpor suché textilie,

α je součinitel přestupu tepla z textilie do vnějšího prostředí,

t je teplota bloku,



Obr. 12 Průběh tepelného toku při měření na zařízení Skintest

t_0 je teplota vnějšího prostředí.

Po navlhčení textilie, na obr. 12 bod A, její tepelný odpor klesá a teplota vnějšího povrchu textilie v důsledku odparu klesá také. V důsledku toho tepelný tok vlhkou textilií stoupá. Tepelné ztráty rostou až na úroveň bodu B. Minimum v bodě C je dáno účinkem sorbčního tepla. V bodě D tento účinek končí. Až do bodu E se zachovává volná vlhkost v malých kapilárách. V další fázi volná vlhkost mizí, což je doprovázeno prudkým snížením tepelných ztrát, bod F. V úseku F - G, kdy existuje pouze adhezně vázaná vlhkost, jsou tepelné ztráty zhruba stejné. V bodě G se začíná adhezně vázaná vlhkost ztrácet, v bodě H je vzorek suchý.

Doba sušení mezi body A - H je pak důležitým parametrem oděvně-fyziologických vlastností textilie, právě tak, jako tepelné ztráty q_A , q_E a q_G . Integrál

$$\int_0^{\tau_1} (q - q_A) d\tau \quad (1)$$

pak charakterizuje podíl tepla potřebného k odpaření vlhkosti, který je odváděn z povrchu těla. Čím rychleji textilie předá vlhkost vnějšímu prostředí, tím je z hlediska oděvně-fyziologického výhodnější. Dále je výhodné, jsou-li tepelné toky q_A a q_G co nejnižší.

Jako kvantifikovatelné parametry tohoto způsobu měření oděvně-fyziologických vlastností textilií pak tedy vystupuje velikost tepla potřebného k odpaření vlhkosti daná vztahem (1), a doba, po kterou odpařování probíhá. Tyto parametry umožňuje zjišťovat dále popsany analogově-digitální převodník ve spojení s mikropočítačem SAPI 1 ZPS 1.

časné přejde sousední nižší datový výstup Q6 do testovacího stavu L. Postup se opakuje až do příchodu osmého hodinového impulsu, který přenesení nejnižší platný datový bit do sériového výstupu a do paralelního datového výstupu Q0. Stavový výstup přejde do stavu L a signalizuje ukončení převodu. Další hodinové pulsy nemění obsah registru. Během převodu je paralelní datový výstup neplatný.

MAC 08. 8-mi kanálový jednopólový multiplexor analogových napětí a proudů. Obsahuje osm spínačů, příslušné budiče a dekodér adresy kanálu. Jeho funkční schema je na obr. 16.

Multiplexor přepíná jeden z osmi signálových vstupů S1 až S8 na společný signálový výstup D. Výběr kanálu se děje třemi adresovými vstupy A2, A1, A0 ve spojení s vybavovacím vstupem EN. Odpor kanálu v sepnutém stavu je nezávislý na úrovnipřenášeného signálového napětí, ale mění se poněkud s úrovní přenášeného signálového proudu. Odpor v sepnutém stavu činí 220 až 300 ohmů.

MHB 8253. Programovatelný časovač.

Obvod 8253 je univerzální programovatelný obvod, který se může použít jako programovatelný generátor, čítač, binární dělič kmitočtu, hodiny reálného času, digitální monostabilní obvod, atd. V popisovaném převodníku je použit pro určování frekvence vzorkování a pro předběžné stanovení požadovaného počtu vzorků.

Obvod 8253 je plně programovatelný. Obsahuje tři nezávislé 16-bitové čítače, z nichž každý musí být na začátku práce nastaven do požadované funkce. Programování se provádí pomocí zápisu řídicího slova, které se v obvodu zapamatovává v registru řídicího slova. Řídicím slovem se vybírá čítač, určuje se, zda bude pracovat jako binární, nebo dekadický, určuje se jím způsob zápisu hodnoty do čítače a definuje se jím

v jakém režimu má čítač pracovat. Povoluje se šest různých režimů 0 až 5.

Každý čítač má hodinový vstup CLK, hradlovací vstup GATE a výstup OUT.

V popisovaném převodníku jsou čítače 0 a 1 naprogramovány v režimu 2 a čítač 2 v režimu 0. Proto nyní stručně popíšeme způsob činnosti v těchto režimech.

Režim 0. Výstup čítače je v tomto režimu na úrovni L od okamžiku příchodu řídicího slova. Po zápisu hodnoty do čítače začne čítač čítat směrem dolů a při dosažení nulové hodnoty nastaví výstup na úroveň H. Zde setrvá až do příchodu nového řídicího slova.

Hradlovací vstup GATE svou úrovní L přerušuje čítání.

V případě zápisu nové hodnoty do čítače v průběhu čítání, se čítač při první slabice zastaví a po přijetí druhé se opět rozběhne, ovšem se změněným obsahem.

Režim 2. V tomto režimu se čítač stává děličem $1 : N$. Výstup je na úrovni L po dobu jedné periody hodin. Interval mezi dvěma následujícími impulsy se rovná číslu, uloženému do čítače. Pokud během čítání přepíšeme údaj novou hodnotou, současná perioda se tím neovlivní, změní se až perioda následující.

Vstup GATE je možné použít k synchronizaci čítače; kdykoliv je tento vstup na L, je na výstupu úroveň H. Po uvolnění GATE začne čítač počítat od počáteční hodnoty.

Je třeba si uvědomit, že všechny čítače čítají směrem dolů. Pokud tedy do čítače vložíme hodnotu 0, dosáhneme toho, že interval bude mít maximální délku 2^{16} pro binární, nebo 10^4 pro dekadické nastavení.

5.2.2 Vstupní část

Vstupní část převodníku se skládá z těchto obvodů:

2 x operační zesilovač - IO MAA 741

4 x dvojitý operační zesilovač - IO MA 1458

analogový multiplexor - IO MAC 08

dvoukrokový čítač - IO MH 7493A

osminásobný střadač - IO MHB 8282

logický komparátor - IO MH 7485

Vstupní část má za úkol obsloužit vybraný počet vstupů převáděného signálu. Synchronizační signál prochází přes operační zesilovač přímo do převodní části, jeho další zpracování bude popsáno dále. Činnost vlastní vstupní části je následující.

Před započítím převodu se do registru 8282 přenesou informace o počtu vstupů. Obvod 8282 se inicializuje pomocí signálu IOWR mikropočítače, informace o počtu vstupů je přenášena nižšími čtyřmi bity datové systémové sběrnice. Během inicializace obvodu 8282 se zároveň nuluje čítač 7493.

Výstup čítače je připojen k datovému vstupu analogového multiplexoru. Před začátkem převodu je tedy čítač vynulován a do převodní části vstupuje přes analogový multiplexor první převáděný vstup.

Po odstartování převodu se vzorek z prvního vstupu převede. Po převedení vzorku přejde stavový výstup aproximačního registru 1502, který je umístěn v převodní části, na úroveň L a svojí sestupnou hranou zvýší o jedničku obsah čítače 7493. Tím se do převodní části přemístí druhý převáděný vstup. Nyní dojde k porovnání obsahu výstupu čítače s informací uloženou v registru 8282. Výstupy obou obvodů jsou přivedeny na porovnávané vstupy logického komparátoru. V případě, že vý-

stup čítače je vyšší, než obsah registru, dojde k aktivaci výstupu logického komparátoru, který vynuluje obsah čítače. V opačném případě se provede převod vzorku z druhého vstupu, zvýšení obsahu čítače a nové porovnání.

Pokud převádíme všech osm vstupů, nebude čítač nulován pomocí výstupu komparátoru, protože jeho obsah nebude nikdy vyšší, než obsah registru 8282, ale do nulového stavu bude přecházet automaticky.

5.2.3 Převodní část

Převodní část se skládá z těchto integrovaných obvodů:

2 x 8-bitový D/A převodník - IO MDAC 08

8-bitový aproximační registr - IO MHC 1502

2 x komparátor - IO MAC 111

přesný zdroj referenčního napětí 10,000 V - IO MAC 01

bistabilní klopný obvod D - IO MH 7474

člen nonekvivalence - IO UCY 7486

programovatelný čítač - IO MHB 8253

Převodní část provádí jednak odstartování převodu prostřednictvím synchronizačního signálu, jednak vlastní analogově-digitální převod vstupních signálů. V následujícím textu budou popsány obě tyto činnosti.

Odstartování převodu prostřednictvím synchronizačního signálu probíhá následovně, situace je patrná z logického schématu /příloha č. 1/.

Na vstup D/A převodníku MDAC 08 je přivedena požadovaná hodnota synchronizačního napětí. Binární hodnota, která ji určuje je obsažena na portu B paralelního programovatelného stykového obvodu 8255. Port B je naprogramován jako výstupní. Nyní určíme přepočetnií vztah mezi požadovanou velikostí vstup-

5. A/D převodník pro automatizaci měření na zařízení Skintest

Analogově-digitální převodník popsany v této kapitole je určen pro zařízení Skintest. To samozřejmě nevylučuje jeho použití v dalších vhodných případech. V následujícím textu je popsána funkce, zapojení a základní programové vybavení převodníku. Převodník byl realizován jako modul mikropočítače SAPI 1 ZPS 1.

5.1 Popis převodníku

Pro konstrukci převodníku byla použita metoda postupné aproximace popsaná v kapitole 3.4.2. Tato metoda byla vybrána pro její přednosti oproti ostatním a vhodnost pro použití u zařízení Skintest. Bohatě vyhovuje svojí rychlostí, protože měření na zařízení Skintest trvá řádově až stovky sekund. Tomu odpovídá i rychlost změn na výstupu měřícího zařízení. Převodník vyhovuje rychlostně mnohem náročnějším aplikacím.

Pokud jde o rozlišovací schopnost, byl převodník navržen jako 8-bitový, tj. je schopen rozlišit 256 úrovní vstupního signálu. I to je dostačující, jak je patrné z obr. 12, kde nejmenší důležitá změna činí přibližně 1,5 % celkového rozsahu měření. Zanedbatelná není ani poměrná jednoduchost zapojení.

Převodník umožňuje vstup a zpracování 1 až 8-mi bipolárních, nebo unipolárních vstupních signálů v rozmezí -5 až 5 V, nebo 0 až 10 V. Kromě toho má vstup pro synchronizační analogový signál. Pokud tento synchronizační signál dosáhne předem stanovené velikosti, převodník se automaticky odstartuje. Jinak ho lze odstartovat programově.

Převodník je napájen prostřednictvím sběrnice mikropočítače SAPI. Ta umožňuje napájení analogových obvodů napětím

+12 a -12 V. Vzhledem k tomu, že jmenovité napájecí napětí analogových obvodů je zpravidla +15 a -15 V, je uživateli umožněn vstup vnějšího napětí této úrovně.

Činnost převodníku je následující. Před započatím převodu se do obvodů převodníku přenesou hodnoty určující počet měřených vstupů, úroveň synchronizačního signálu, po jejímž dosažení se má převodník odstartovat, směr přechodu přes tuto úroveň. Úroveň synchronizačního signálu se zadávat nemusí, potom je ovšem třeba převodník odstartovat programově. Dále se zadá hodnota určující frekvenci vzorkování a v případě potřeby požadovaný počet vzorků. Tato hodnota se použije při aplikacích s pevně stanoveným počtem vzorků. Pokud je počet různý, jako v našem případě, volí se hodnota dostatečně vysoká, aby měření nebylo předčasně ukončeno. Po zadání všech těchto parametrů je převodník připraven k činnosti.

Po odstartování dojde k převodu prvního vzorku z prvního měřeného vstupu a jeho předání mikropočítači k zpracování. Dále se převede první vzorek druhého vstupu atd. Činnost převodníku je řízena předem stanovenou frekvencí vzorkování, převodník nepoužívá přerušovací systém. Tento fakt umožňuje zabezpečení konstantního intervalu mezi dvěma vstupními vzorky.

Ukončit činnost převodníku lze buď programově, nebo je ukončena automaticky po převedení předem stanoveného počtu vzorků.

5.2 Funkční zapojení převodníku

V následujícím textu je podrobně popsáno zapojení převodníku charakterisovaného v předchozí kapitole. V příloze č. 1 je uvedeno schema jeho zapojení, v příloze č. 2 a 3 obrazec plošného spoje pro realizaci převodníku jako modulu

mikropočítače SAPI 1 ZPS 1. Rozmístění součástek na desce plošného spoje je znázorněno v příloze č. 4.

V úvodním odstavci této kapitoly jsou uvedeny nejzákladnější charakteristiky některých použitých obvodů.

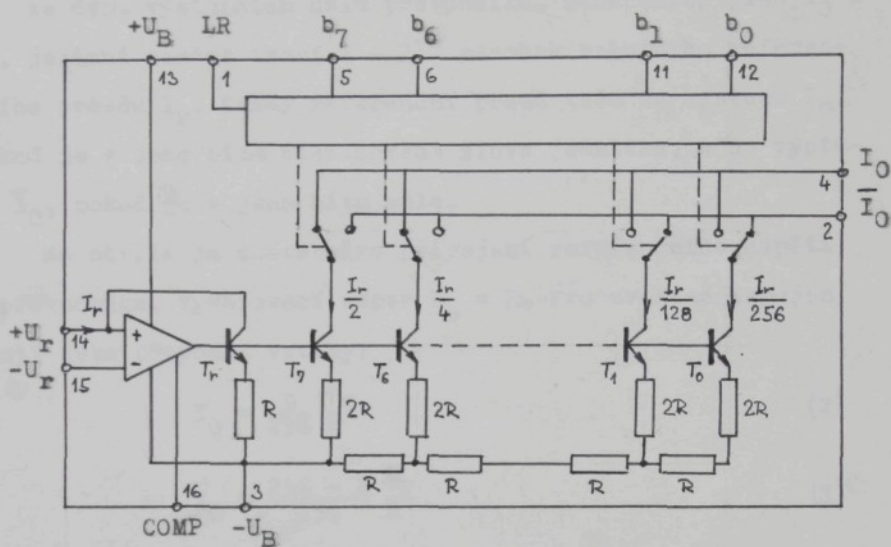
Vlastní převodník lze rozdělit zhruba na tři části. Část zabezpečující vstup 8-mi převáděných signálů /vstupní část/, část provádějící vlastní převod /převodní část/ a část zabezpečující styk s mikropočítačem /připojení k mikropočítači/. Tyto části jsou popsány v následujících třech odstavcích.

5.2.1 Stručná charakteristika některých použitých obvodů

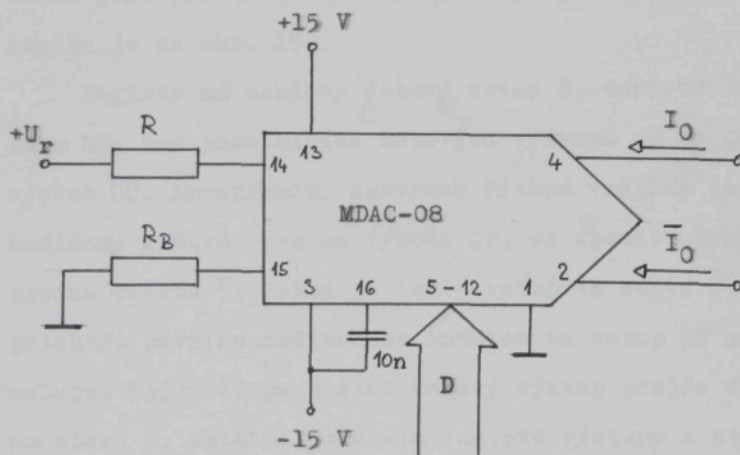
Informace v tomto odstavci jsou čerpány zejména z literatury [3].

MDAC 08. 8-bitový monolitický bipolární D/A převodník. Tento číslicově-analogový převodník je typickým představitelem převodníků používaných ve spojení s mikropočítači. Je to převodník se spínanými proudovými zdroji /viz. kapitola 3.2/. Schema převodníku je na obr. 13. Převodník obsahuje proudové spínače, váhové odpory a pomocný zesilovač. Analogová reference a výstupní zesilovač se připojují vně převodníku.

Proudové zdroje tvoří odporová síť R-2R a tranzistory T_0 až T_7 . Báze všech tranzistorů včetně T_R jsou vzájemně spojené. technologicky jsou všechny tranzistory řešeny tak, aby měly stejné napětí U_{BE} při odstupňovaných hodnotách proudů, které jimi tečou. Emitory všech tranzistorů mají stejné napětí vůči zápornému pólu napájecího zdroje a hodnoty částečných proudů budou dány odpory v odporové síti. Protože jde o síť R-2R, budou tyto proudy binárně váhované. Částečné referenční proudy jsou proudovými spínači přepínané do jedno-



Obr. 13 Funkční schema obvodu MDAC-08



Obr. 14 Připojení kladného referenčního napětí k obvodu MDAC-08

ho ze dvou výstupních uzlů převodníku, označených jako I_0 a $\bar{I}_0$, jejichž součet tvoří $1 - 2^{-8}$ násobek vstupního referenčního proudu I_r . Každý referenční proud teče do výstupu I_0 , pokud je v jeho bitu číslíkového slova jednička, a do výstupu $\bar{I}_0$, pokud je v jeho bitu nula.

Na obr.14 je znázorněno připojení referenčního napětí k převodníku. Vyvažovací odpor $R_D = R$. Pro uvedené zapojení platí tyto převodní vztahy:

$$I_0 = \frac{D}{256} \frac{U_r}{R} \quad (2)$$

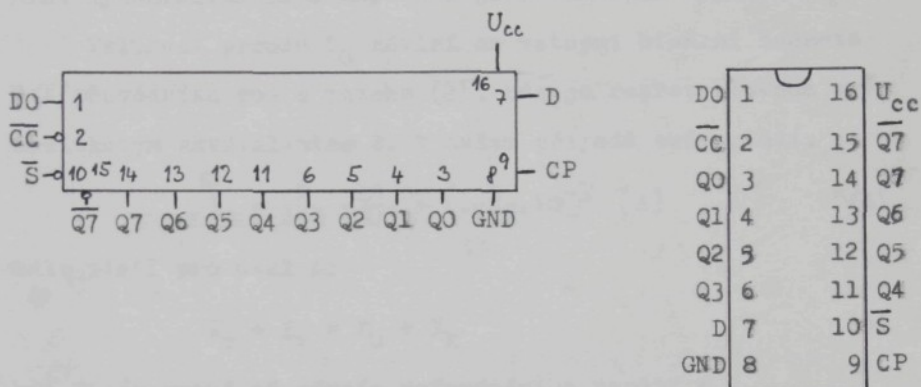
$$\bar{I}_0 = \frac{256 - D}{256} \frac{U_r}{R} \quad (3)$$

kde D značí desítkový ekvivalent vstupního binárního slova.

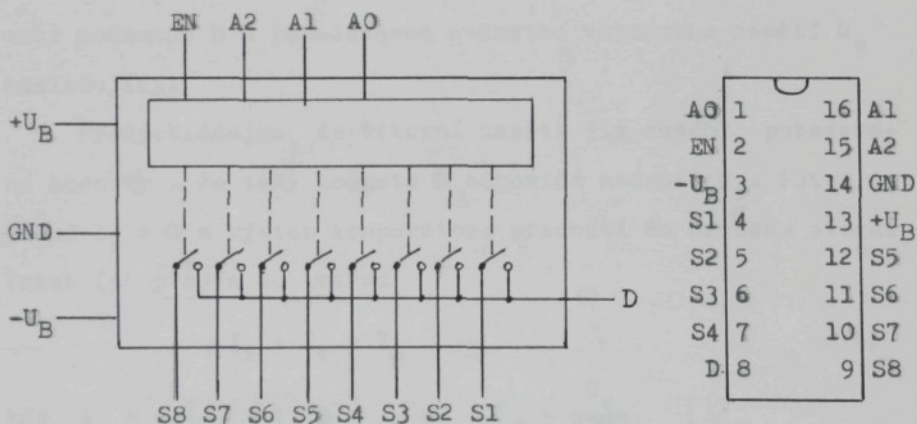
MHC 1502. 8-bitový aproximační registr.

Tento integrovaný obvod obsahuje všechny paměťové a logické obvody potřebné pro řízení analogově-číslíkového převodu metodou postupné aproximace /viz. kap. 3.4.2/. Jeho logická značka je na obr. 15.

Registr má seriový datový vstup D , seriový datový výstup DO , osm paralelních datových výstupů $Q7$ až $Q0$ a stavový výstup $\bar{CC}$. Aproximační sekvence řízená vnějším jednofázovým hodinovým generátorem na vývodu CP , se spouští úrovní startovacího vstupu $\bar{S}$. Pokud je tento vstup ve stavu $\bar{S} = L$, tak po příchodu prvního hodinového impulsu na vstup CP se registr nuluje. Nejvyšší paralelní datový výstup přejde do testovacího stavu L , ostatní paralelní datové výstupy a stavový výstup přejdou do stavu H , sériový výstup je v neplatném stavu L nebo H . Pokud je startovací vstup ve stavu $\bar{S} = H$, tak s příchodem prvního hodinového pulsu na vstu CP se okamžitý stav datového vstupu přenese jako nejvyšší platný bit do sériového výstupu a do paralelního datového výstupu $Q7$; sou-



Obr. 15 Logická značka a zapojení vývodů aproximačního registru MHC 1502



Obr. 16 Funkční schéma a zapojení vývodů analogového multiplexoru MAC 08

ního synchronizačního napětí a jeho binárním vyjádřením.

Velikost proudu I_0 závisí na vstupní binární hodnotě D/A převodníku podle vztahu (2), kde je reprezentována svým desítkovým ekvivalentem D. V našem případě tedy platí:

$$I_0 = \frac{D}{256} \frac{10}{5000} = 2 \cdot \frac{D}{256} \cdot 10^{-3} \text{ [A]} \quad (4)$$

Dále platí pro uzel A:

$$I_r + I_v = I_0 + I_k \quad (5)$$

kde I_r je proud od zdroje referenčního napětí a

I_v proud vstupního synchronizačního signálu.

Proud I_k s odporem $1k$ vytváří napětí, které je komparátorem porovnáváno s nulovou hodnotou.

Pomocí odporu $10k$ ve větvi mezi zdrojem referenčního napětí a uzlem A můžeme ovlivňovat rozsah vstupního synchronizačního napětí. V případě, že je tento odpor zařazen, je vztah mezi hodnotou D a požadovanou hodnotou vstupního napětí U_v následující.

Předpokládejme, že vstupní napětí již dosáhlo požadované hodnoty a že tedy hodnota D odpovídá hodnotě U_v . Potom je proud $I_k = 0$ a výstup komparátoru přechází do druhého stavu. Vztah (5) přejde do tvaru:

$$I_r + I_v = I_0 \quad (6)$$

$$\text{kde } I_r = \frac{U_r}{10000} = 1 \cdot 10^{-3} \quad \text{a} \quad I_v = \frac{U_v}{5000} \quad [\text{A}]$$

Po dosazení dostaneme:

$$U_v = 10 \cdot \frac{D}{256} - 5 \quad [\text{V}] \quad (7)$$

a tedy $D = 0$ odpovídá $U_v = -5 \text{ V}$ a

$D = 256$ odpovídá $U_v = +5 \text{ V}$

Pokud větev mezi zdrojem referenčního napětí a uzlem A přerušíme, což lze na desce s plošným spojem realizovat nezařazením odporu $10k$, tak ve vztahu (6) nabyde I_r nulové hodnoty a vztah (7) přejde na tvar:

$$U_v = 10 \cdot \frac{D}{256} \quad [V] \quad (8)$$

a tedy $D = 0$ odpovídá $U_v = 0 V$ a

$D = 256$ odpovídá $U_v = 10 V$.

Tímto způsobem dosáhneme rozsahu vstupního napětí 0 až 10 V nebo $\pm 5 V$.

Za komparátorem MAC 111 následuje obvod nonekvivalence a D-klopný obvod. Obvod nonekvivalence umožňuje odstartování převodu dvěma způsoby v závislosti na průběhu synchronizačního signálu. Buď pomocí synchr. signálu, který má vzestupný průběh, nebo signálu se sestupným průběhem. V prvním případě se na vstup obvodu, který je spojen s nultým výstupem portu C obvodu 8255, zavede úroveň L. Výstup komparátoru je na logické úrovni L po dobu, kdy je synchronizační signál nižší úrovně, než je požadovaná. V okamžiku dosažení požadované úrovně přejde výstup komparátoru na logickou úroveň H. Tím dojde ke změně na výstupu obvodu nonekvivalence z úrovně L na úroveň H.

Pokud chceme převod spustit prostřednictvím sestupného synchronizačního signálu, zavedeme na PC0 obvodu 8255 a tím i na vstup členu nonekvivalence logickou úroveň H. Další činnost je potom analogická.

Vlastní start převodu provádí D-klopný obvod. Převod je nejprve zablokován výstupem D-klopného obvodu $\bar{Q}$, který je na úrovni L. Tuto úroveň je třeba zabezpečit předem přivedením úrovně L na vstup $\bar{S}$ spojený s PC2. Vstup B-klopného obvodu D je trvale uzemněn, hodinový vstup je připojen na výstup obvodu nonekvivalence. Vzestupná hrana na hodinovém vstupu

vzniklá popsáním působením synchronizačního signálu, převede $\overline{Q}$ výstup klopného obvodu na úroveň H. Tím dojde k odstartování převodu prvního vzorku a zároveň k spuštění činnosti programovatelného čítače 8253. Vstup $\overline{R}$ klopného obvodu spojený s PC1, umožňuje přímé spuštění převodu bez působení synchronizačního signálu.

Vlastní převod byl již v podstatě popsán při popisu činnosti aproximačního registru. I zde lze volit rozsah vstupního signálu -5 až +5 V nebo 0 až 10 V způsobem, který byl již popsán, platí i vztahy (7) a (8) pro přepočet mezi hodnotou vstupního převáděného signálu a hodnotou jeho binárního vyjádření. Výsledek převodu je mikropočítači předáván prostřednictvím portu A obvodu 8255.

Frekvence vzorkování f_v je určována pomocí hodnot uložených v čítačích 0 a 1 obvodu 8253. Přitom tyto hodnoty závisí na hodnotě f_v takto:

$$N_0 \cdot N_1 = \frac{2 \cdot 10^6}{f_v \cdot n} \quad (9)$$

kde N_0 je hodnota uložená v čítači 0,

N_1 je hodnota uložená v čítači 1,

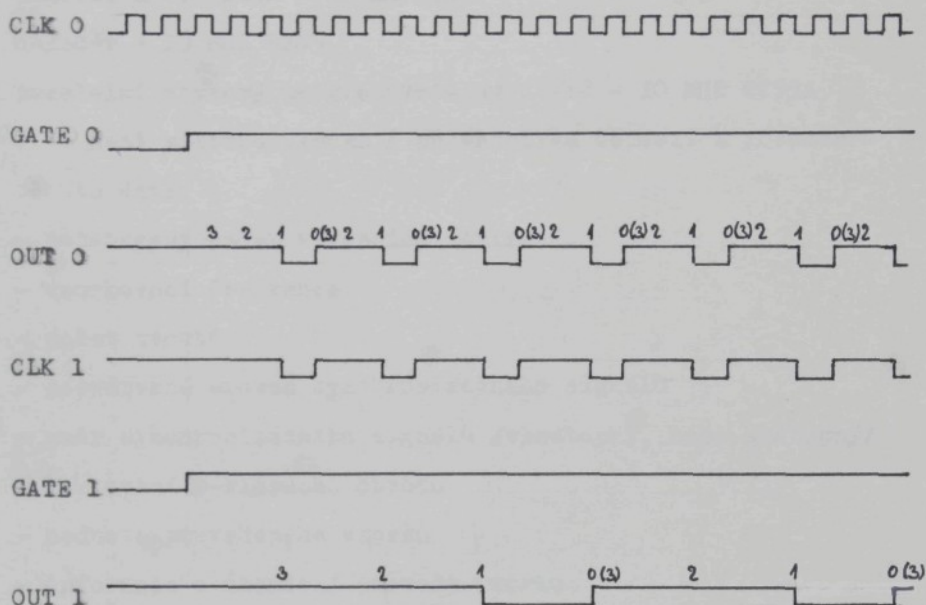
f_v je požadovaná frekvence vzorkování a

n je počet převáděných vstupů.

Obsah čítače 2 N_2 udává počet převáděných vzorků.

Obvod 8253 pak v převodníku pracuje takto:

Do všech čítačů se zapíší požadované hodnoty. Způsob zápisu bude popsán v kapitole popisující programové vybavení převodníku. Vstupy GATE 0 a GATE 1 jsou připojeny ke $\overline{Q}$ výstupu D-klopného obvodu. Pokud je na nich úroveň L, je činnost čítačů blokována a výstup OUT 1 je na úrovni H. Po změně $\overline{Q}$ na H začnou oba čítače čítat, současně se spustí obvod 1502. Po uplynutí doby dané obsahem obou čítačů přejde výstup OUT 1



Obr. 17 Průběh signálů čítačů 0 a 1 obvodu 8253 zapojeného v převodníku. /Čítač 0 - režim 2, $N_0 = 3$;
čítač 1 - režim 2, $N_1 = 3$ /

na úroveň L na dobu jedné periody, jejíž délka je dána obsahem čítače 0. Potom přejde opět na úroveň H. Tím se opět odstartuje obvod 1502 a dojde k převodu dalšího vzorku. Situaci pro $N_0 = 3$ a $N_1 = 3$ znázorňuje obr. 17.

Informace o ukončení převodu vzorku /stavový výstup $\overline{CC}$ aproximačního registru 1502 přešel na úroveň L/, je přenášena na PC4 obvodu 8255. Informace o proběhnutí stanoveného počtu vzorků /výstup OUT 2 obvodu 8253 přešel na úroveň H/, je přenášena na PC6.

5.2.4 Připojení k mikropočítači

Tato část převodníku obsahuje obvody:

logický komparátor - IO MH 7485

dekodér - IO MHB 8205

paralelní stykový programovatelný obvod - IO MHB 8255A

Mezi mikropočítačem a převodníkem dochází k přenosu těchto dat:

- požadovaný počet vstupních zařízení
- vzorkovací frekvence
- počet vzorků
- požadovaná úroveň synchronizačního signálu
- směr synchronizačního signálu /vzestupný, nebo sestupný/
- nastavení D-klopného obvodu
- hodnota převedeného vzorku
- informace o ukončení převodu vzorku
- informace o průběhu stanoveného počtu vzorků.

Část těchto dat je přenášena přímo z datové sběrnice, část prostřednictvím obvodu 8255 - viz. logické schema zapojení, příloha č. 1.

Adresování je provedeno následujícím způsobem. Bity A4 až A7 adresové sběrnice provádějí výběr desky s převodníkem. Jejich požadovaná hodnota se nastaví pomocí přepínačů umístěných na desce plošného spoje. Jejich skutečná hodnota se potom s touto požadovanou porovnává pomocí logického komparátoru. V případě, že jsou obě hodnoty shodné, dojde ke změně výstupu komparátoru a tím i k inicializaci dekodéru 3205.

Na první dva datové vstupy dekodéru přicházejí bity adresové sběrnice A2 a A3, které provádějí výběr obvodu 8282, 8255 nebo 8253. Poslední dva bity A0 a A1 provádějí výběr portu nebo registru stavového slova obvodu 8255, nebo výběr

čítače nebo registru stavového slova obvodu 8253. Význam bitů AO až A3 je uveden v tabulce 1.

Tab. 1

AO A1 A2 A3 $\overline{RD}$ $\overline{WR}$	funkce
L L X X H L	datová sběrnice - reg. 8282
L H L L H L	datová sběrnice - port A
L H L H H L	datová sběrnice - port B
L H H L H L	datová sběrnice - port C
L H H H H L	datová sběrnice - reg. stav. slova 8255
L H L L L H	port A - datová sběrnice
L H L H L H	port B - datová sběrnice
L H H L L H	port C - datová sběrnice
L H H H L H	nedovolená kombinace
H L L L H L	datová sběrnice - čítač 0
H L L H H L	datová sběrnice - čítač 1
H L H L H L	datová sběrnice - čítač 2
H L H H H L	datová sběrnice - reg. ř. slova 8253
H L L L L H	čítač 0 - datová sběrnice
H L H L L H	čítač 1 - datová sběrnice
H L H L L H	čítač 2 - datová sběrnice
H L H H L H	nedovolená kombinace

5.3 Základní programové vybavení převodníku

V této kapitole je popsáno programové vybavení mikro-počítače umožňující stanovení doby potřebné k odpaření vlhkosti a podílu tepla potřebného k odpaření této vlhkosti při měření na zařízení Skintest /viz. kap. 4/.

K převodníku lze připojit, jak bylo popsáno, až 8 zařízení. V popisované aplikaci je signál z prvního zařízení použitý zároveň jako synchronizační signál.

Vstupními veličinami jsou požadovaná frekvence vzorkování [Hz] a stanovený počet vstupů. Tyto hodnoty je třeba před začátkem měření uložit do paměti počítače, f_v na adresu FV /délka 3 slova/ a počet vstupů na adresu N /délka 1 slovo/. Po odstartování program převede požadovanou frekvenci na obsah čítačů 0 a 1 obvodu 8253 a určí pro jednotlivé vstupy hodnoty q_A aritmetickým průměrem z deseti měření. Po určení těchto hodnot přivede na PC0 obvodu 8255 úroveň L, čímž připraví převodník k reakci na vzestupný průběh synchronizačního signálu, a vynuluje čítač 2 obvodu 8253. Dále hodnotu q_A z prvního vstupu, který se používá zároveň jako synchronizační, zvýší o jedničku a vyšle na port B jako požadovanou úroveň synchronizačního signálu. Hodnota q_A se zvyšuje proto, aby se zabezpečilo její protnutí průběhem synchronizačního signálu, který se shoduje s průběhem na obr. 12.

Po provedení těchto přípravných činností program ve smyčce tastuje stav PC4, který přejde po ukončení převodu prvního vzorku do stavu L.

K odstartování převodu dojde po navlhčení vzorku na prvním /"synchronizačním"/ zařízení. V důsledku navlhčení se zvýší tepelný tok a dojde k překročení požadované synchronizační úrovně.

Dále program provádí výpočet integrálu daného vztahem (1) , obdélníkovou metodou, tj. podle vztahu

$$I = \sum_{i=0}^k (q_i - q_A) \cdot \Delta t \quad (10)$$

kde q_i je hodnota právě převedeného vzorku,

q_A je konstanta určující tepelný tok suchou textilií

$\Delta t = \frac{1}{f}$ je perioda vzorkování.

Postup výpočtu je následující. Od každého převedeného vzorku q_i se nejprve odečte hodnota q_A příslušící právě měřnému vstupu. Výsledek se porovnává s nulou. V případě, že je kladný, přičte se k dosavadní celkové hodnotě. Pokud je roven nule, nebo záporný, je převod tohoto vstupu ukončen. Z čítače 2 obvodu 8253 se přečte jeho okamžitá hodnota N_2 , která odpovídá době převodu t_p podle vztahu:

$$t_p = \frac{65536}{f \cdot n} - \frac{N_2}{f} \quad [s] \quad (11)$$

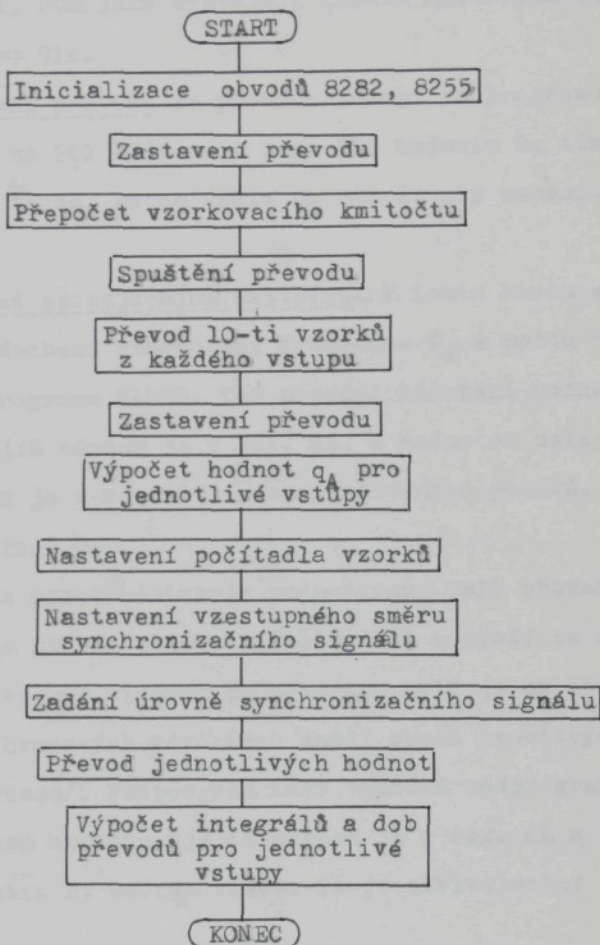
a uloží se do paměti. Výpočet doby převodu podle tohoto vztahu, stejně jako násobení hodnotou Δt ve vztahu (10) , se provádí až po ukončení převodu všech vstupů.

Indikace ukončení převodu všech vstupů se provádí pomocí počítadla, ve kterém je na počátku převodu hodnota n . Ta se snižuje o jedničku vždy, když je pro některý vstup

$$(q_i - q_A) \leq 0$$

Celý program je pro zvýšení přehlednosti rozčleněn na podprogramy. Jeho blokové schema je na obr. 18, výpis s komentářem v příloze č. 6.

V dalším textu je popsán způsob provádění jednotlivých bloků vývojového diagramu a použité podprogramy.



Obr. 18 Vývojový diagram hlavního programu

Inicializace obvodů. Spočívá v zadání počtu vstupů do registru 8282 a v zadání stavového slova obvodu 8255. Pro adresování předpokládáme nastavení spínačů na desce plošného spoje do polohy 0. V případě jiného nastavení, je třeba příslušné adresy v programu upravit. Význam čtyř nižších bitů adresy je patrný z tab. 1. Porty obvodu 8255 jsou nastaveny v režimu 0 takto: PA jako vstupní, PB jako výstupní, PCL jako

jako vstupní, PCH jako výstupní. Tomuto nastavení odpovídá stavové slovo 91H.

Zastavení převodu se provede pomocí podprogramu ZAPREV, který vyšle na PC1 hodnotu 1 a na PC2 hodnotu 0, tím nastaví D-klopný obvod. Potom vyšle na PC2 1, aby umožnil pozdější spuštění.

Přepočet vzorkovacího kmitočtu. V tomto bloku se nejprve provede vynásobení vzorkovací frekvence f_v a počtu vstupů n pomocí podprogramu NASOB. Ten provádí násobení hodnoty délky 3 slova, jejíž adresa je v reg. HL, s hodnotou délky 1 slovo, jejíž adresa je v reg. DE, pomocí sčítání a posuvů. Výsledek uloží na adresu DEL.

Dále se prostřednictvím podprogramu KMIT převede hodnota na adrese DEL na obsahy čítačů 0 a 1 a uloží se na adresy NO a N1. Vývojový diagram podprogramu KMIT je na obr. 19 /hodnoty v hranatých závorkách značí obsah paměťových míst s touto adresou/. Podprogram KMIT využívá podprogram ROTATL, který posouvá hodnotu, jejíž adresa je v reg. HL a počet slabik v registru B, směrem vlevo. To je ekvivalentní násobení dvěma.

Dále podprogram KMIT využívá podprogram DELPOR, který provádí dělení hodnoty délky 3 slova na adrese DEC hodnotou dlouhou také tři slova uloženou na adrese DEL. V případě, že je výsledek menší, nebo roven 65535, tak ho uloží na adresu N1 a nastaví CY = 0. Pokud je výsledek dělení větší, než 65535, nastaví pouze CY = 1.

Podprogram DELPOR využívá podprogram POROV a SUBBER. Podprogram POROV porovnává hodnotu A, jejíž významější slabika má adresu uloženou v reg. DE, s hodnotou, jejíž adresa významější slabiky je v reg. HL. Počet slabik obou hodnot

je uložen v reg. B. Po porovnání nastaví podprogram příznaky přenosu takto:

$CY = 0, Z = 0$ pokud $A > B$

$CY = 0, Z = 1$ pokud $A = B$

$CY = 1$ pokud $A < B$

příčemž hodnota A má adresu v reg. DE a hodnota B v reg. HL.

Podprogram SUBBER provádí rozdíl menšence s adresou v reg. DE a menšitele s adresou v HL a počtu slabik uloženém v reg. B. Výsledek uloží na adresu obsaženou v reg. DE /na místo menšence/

Spuštění převodu. V tomto bloku se nejprve vynuluje paměť pro uložení výsledků. Nulování se provádí podprogramem NUL. Ten má na počátku činnosti v reg. HL uloženu počáteční adresu a v reg. B počet buněk, které se mají nulovat. Výsledky jsou v paměti uloženy takto. Na adresu QA slouhou 16 slov se ukládají mezisoučty q_A při jejich výpočtu. Hodnotě $\sum_i q_{Ai}$ každého vstupu jsou vyhrazena vždy dvě slova. V další části paměti od adresy VYSL, dlouhé 56 slov jsou pak ukládány další výsledky v tomto pořadí:

VYSL: q_A 1. vstupu

VYSL+1: doba převodu 1. vstupu, nižší část

VYSL+2: doba převodu 1. vstupu, vyšší část

VYSL+3: nejnižší slabika $q_i - q_A$

VYSL+4: vyšší slabika této hodnoty

VYSL+5: další slabika této hodnoty

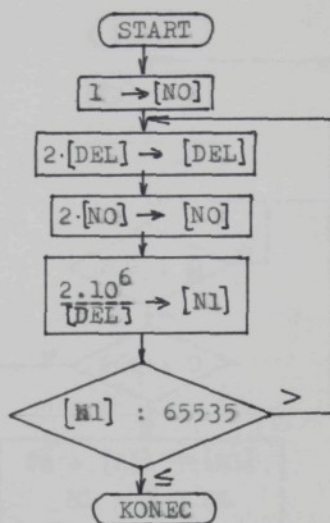
VYSL+6: nejvyšší slabika této hodnoty

VYSL+7: q_A 2. vstupu

VYSL+8: doba převodu 2. vstupu, nižší část

atd.

Dále se v tomto bloku zadají do obvodu 8253 hodnoty jeho



Obr. 19 Vývojový diagram podprogramu KMIT

čítačů. NO a N1 byly určeny v podprogramu KMIT, do 2. čítače se zadá hodnota $N2 = 10 \cdot n$, která určuje požadovaný počet vstupů. Jednotlivým čítačům odpovídají tato řídící slova:

čítač 0 34H - režim 2, zápis nejprve nižší, potom vyšší slabika

čítač 1 74H - režim 2, zápis nejprve nižší, potom vyšší slabika

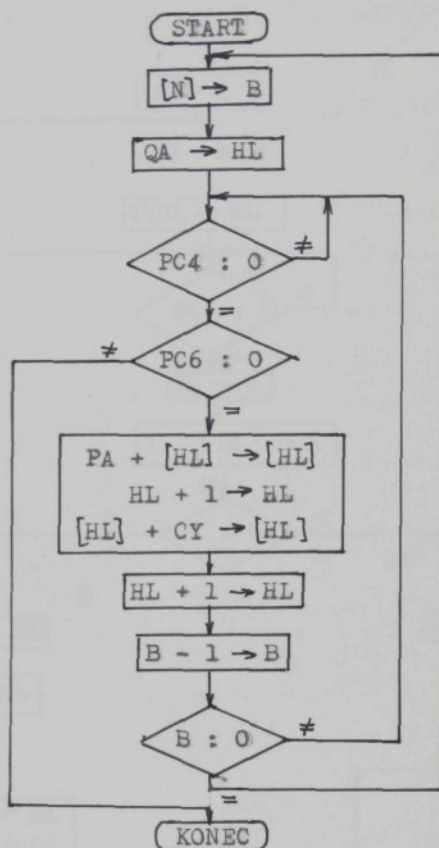
čítač 2 BOH - režim 0, zápis nejprve nižší, potom vyšší slabika.

Nyní se vysláním 0 na PC1 a 1 na PC2 odstartuje převod a předá se řízení dalšímu bloku.

Převod 10-ti vzorků z každého vstupu. Tento blok je tvořen podprogramem QAP, jehož vývojový diagram je na obr. 20.

Zastavení převodu - viz. podprogram ZAPREV.

Výpočet hodnot q_A pro jednotlivé vstupy. Tento blok provede dělení hodnot na adrese QA deseti pomocí podprogramu



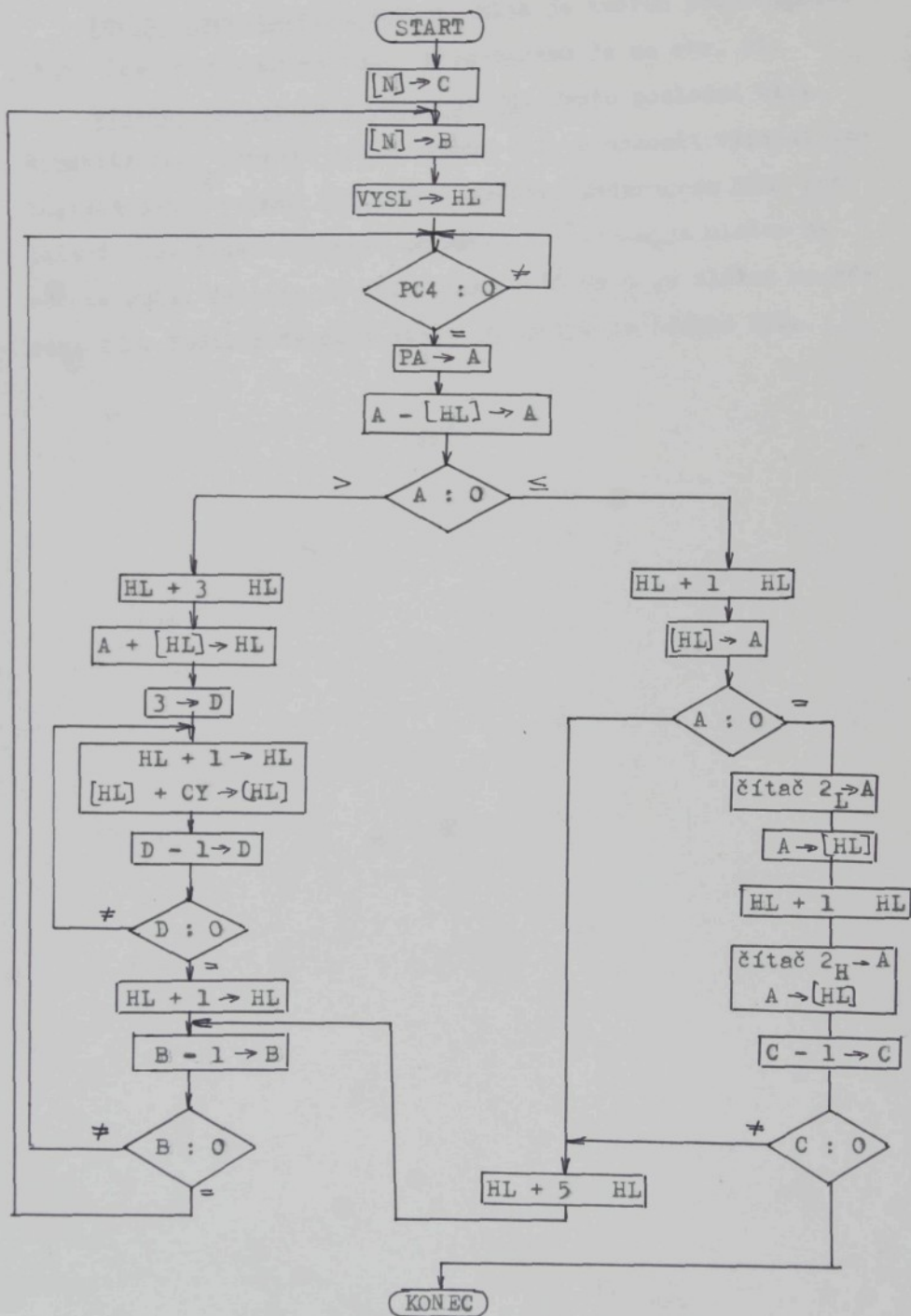
Obr. 20 Vývojový diagram podprogramu QAP

DELPOR a výsledky uloží na příslušná místa do oblasti paměti od adresy VYSL.

Nastavení počítadla vzorků. Počítadlo vzorků je čítač 2 obvodu 8253. Nastavení spočívá v jeho vynulování, tím dosáhneme, že bude čítat od maximální hodnoty 65536.

Nastavení vzestupného směru synchronizačního signálu spočívá v přivedení hodnoty 0 na PC0.

Zadání úrovně synchr. signálu. Nejprve se zvýší q_A z prvního vstupu a potom se přivede na port B.



Obr. 21 Vývojový diagram podprogramu PREV

Převod jednotlivých hodnot. Blok je tvořen podprogramem PREV. Vývojový diagram tohto podprogramu je na obr. 21.

Výpočet integrálů a dob převodů. Tento poslední blok vypočítá doby převodu podle vztahu (11) a dokončí výpočet integrálů podle vztahu (10). Blok využívá podprogram DELN pro dělení dvou čísel. Dělenec má délku 4 slova a je uložen na adrese DECI, dělitel má délku také 4 slova a je uložen na adrese DEL. Podíl o délce 4 slova je uložen na adrese POD.

6. Závěr

Analogově-digitální převodník popsany v této práci je určen pro zařízení Skintest. Jeho konstrukce je však do té míry universální, že nevylučuje použití v dalších vhodných aplikacích. V těchto případech však bude třeba upravit, příp. sestavit zcela nové programové vybavení převodníku.

Část popisující metody analogově-digitálního převodu nepodává vyčerpávající přehled této, značně rozsáhlé problematiky. Má sloužit spíše jako informativní přehled těch metod převodu, které jsou vhodné pro použití z hlediska mikro-počítačů.

Seznam příloh

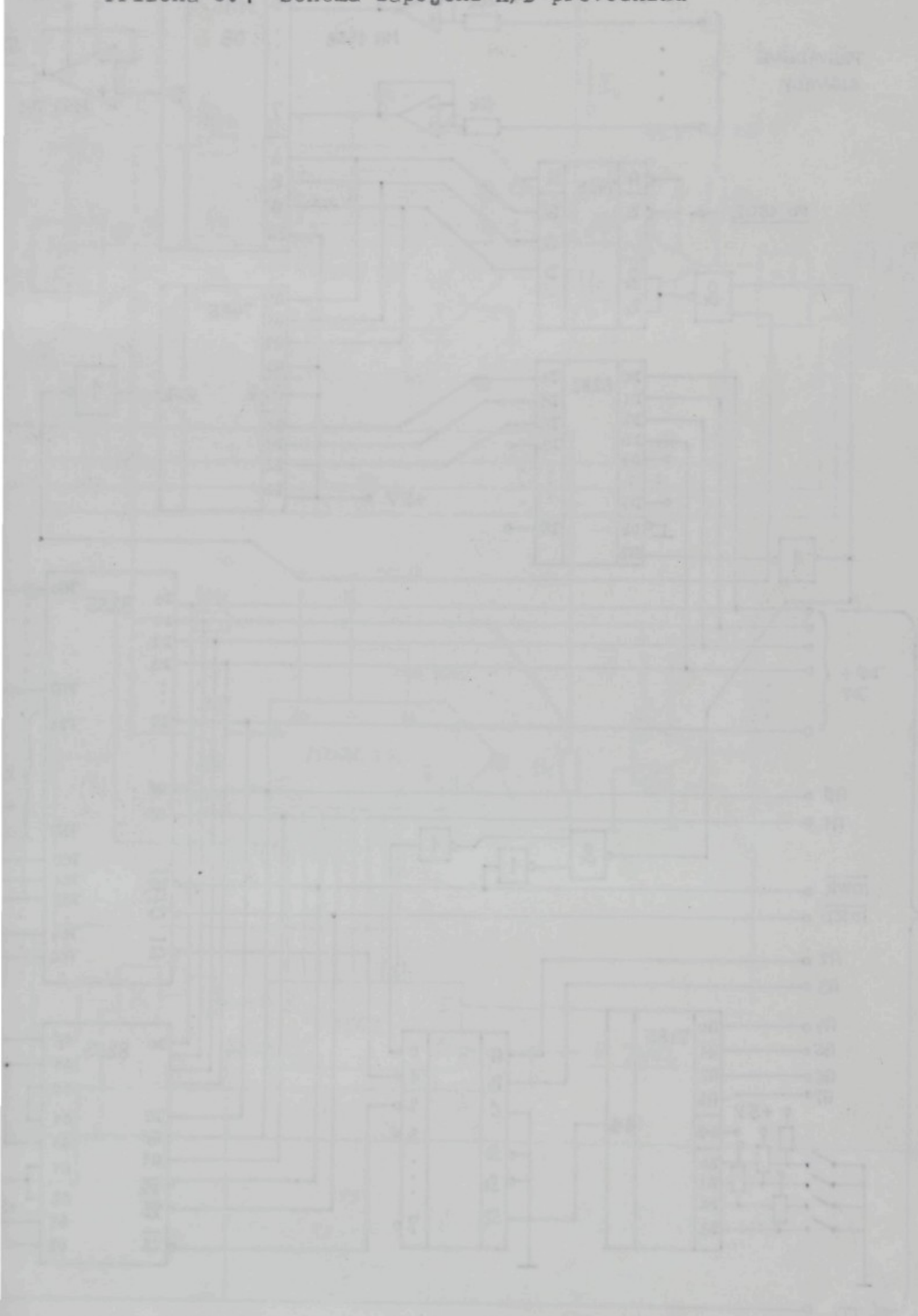
1. Schema zapojení A/D převodníku
2. Obrázek plošného spoje A/D převodníku realizovaného jako modul mikropočítače SAPI 1, strana pájení
3. Obrázec plošného spoje, strana součástek
4. Rozmístění součástek na desce plošného spoje
5. Zapojení vývodů výstupního konektoru
6. Výpis programu pro ovládání převodníku

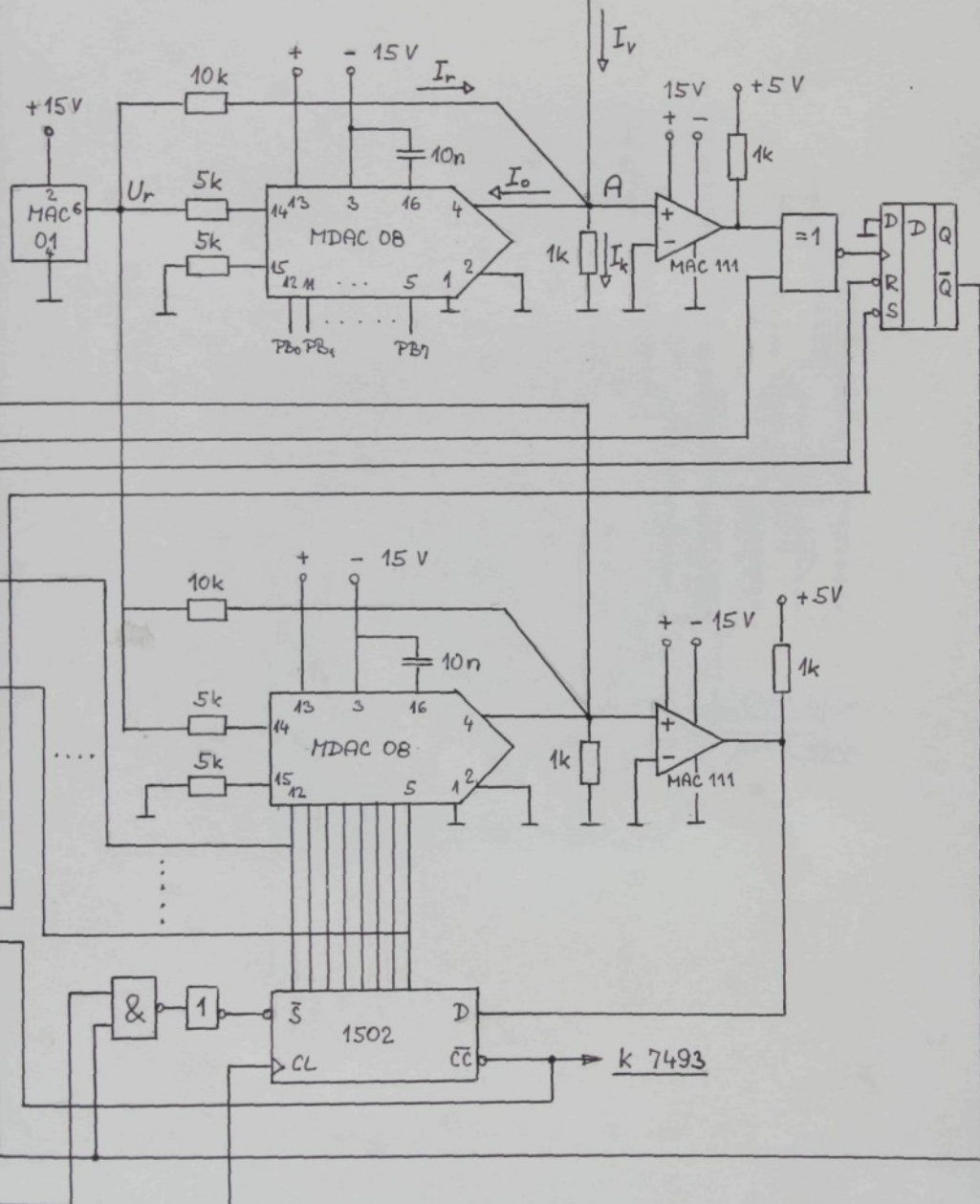
Použitá literatura

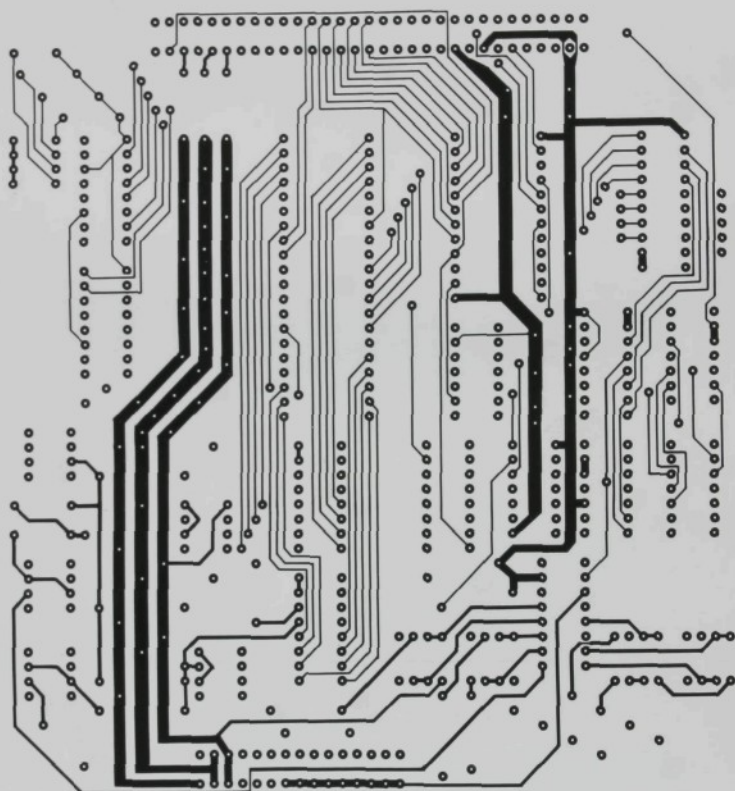
1. Bajcsy, J.- Kodač, D. - Kováč, K.- Smieško, V.: Automatizované systémy merania riadené mikropočítačmi. Bratislava, Alfa 1985.
2. Mirtes, B.- Sýkora, Z.: Číslicové měření a zpracování analogových veličin. Praha, SNTL 1971.
3. Kolektiv autorů TESLA Rožnov a VÚMS Praha: Analogově-číslicové obvody. Rožnov p. Radhoštěm, TESLA Rožnov 1984.
4. Gnatek, E.R.: Spravočnik po cifroanalogovym i analogocifrovym preobrazovateljam. Moskva, Radio i svjaz 1982.
5. Kokeš, J.: Přenos a zpracování informace v mikropočítačích. Praha, NADAS 1986.
6. Scarlett, J.A.: Flošné spoje pro mikroelektroniku. Praha, SNTL 1977.
7. Technická dokumentace mikropočítače SAPI 1 ZPS 1.
8. Dědina, B.- Valášek, P.: Mikroprocesory a mikropočítače. Praha, SNTL 1983.

P Ř Í L O H Y

Příloha č.1 Schema zapojení A/D převodníku



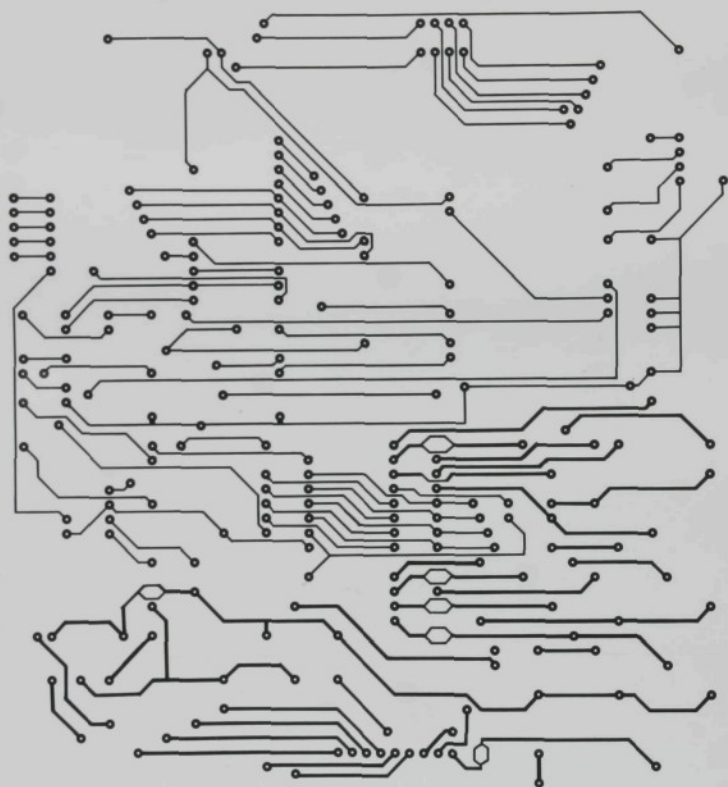




Příloha č. 2

Obrazec plošného spoje A/D převodníku realizovaného jako
modul mikropočítače SAPI 1.

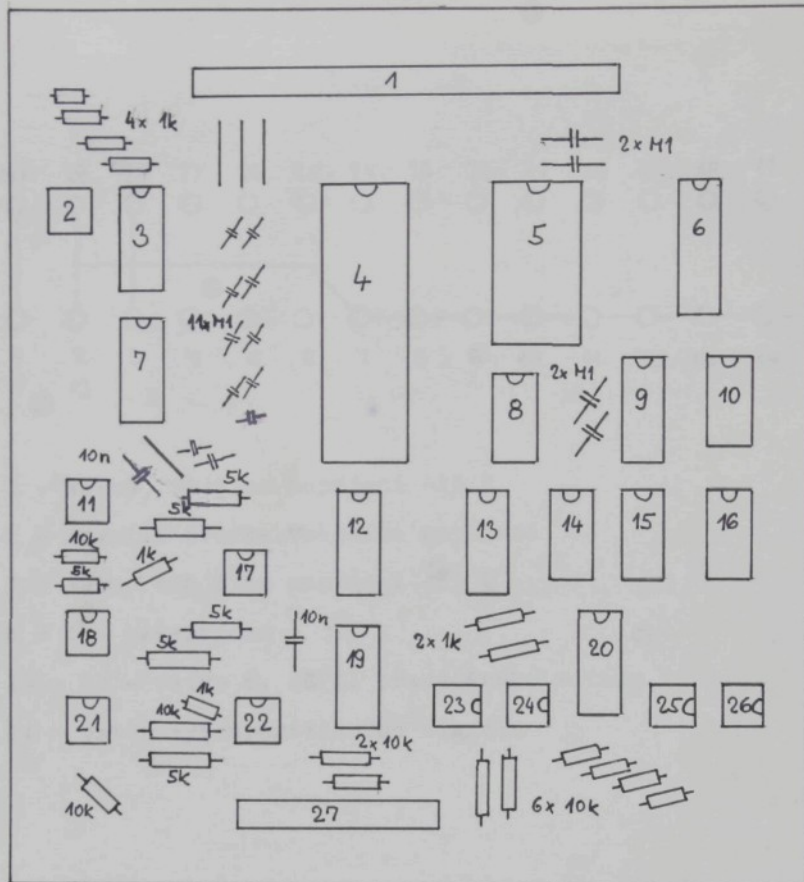
Strana pájení - pohled ze strany součástí



Příloha č. 3

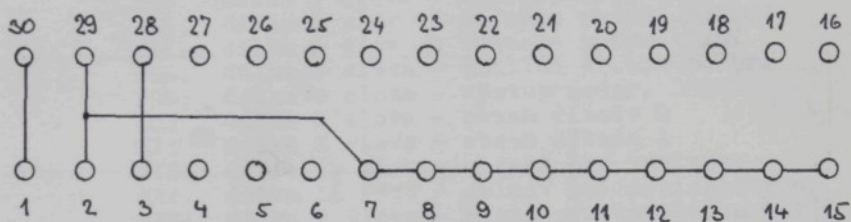
Obrazec plošného spoje A/D převodníku realizovaného jako
modul mikropočítače SAPI 1.

Strana součástek - pohled ze strany pájení



Příloha č.4 Rozmístění součástek na desce plošného spoje.

- | | |
|----------------|---------------|
| 1 - konektor | 15 - MH 7493 |
| 2 - spínače | 16 - MH 7404 |
| 3 - MHB 7485 | 17 - MAC 111 |
| 4 - MHB 8255 | 18 - MAA 741 |
| 5 - MHB 8253 | 19 - MDAC 08 |
| 6 - MHB 8282 | 20 - MAC 08 |
| 7 - MHB 8205 | 21 - MAA 741 |
| 8 - MHE 7474 | 22 - MAC 111 |
| 9 - MHB 7485 | 23 - MA 1458 |
| 10 - MH 7400 | 24 - MA 1458 |
| 11 - MAC 01 | 25 - MA 1458 |
| 12 - MDAC 08 | 26 - MA 1458 |
| 13 - MHC 1502 | 27 - konektor |
| 14 - UCY 7486N | |



- 1 - vstup vnějšího napájení -15 V
- 2 - zemnicí svorka vnějšího napájení
- 3 - vstup vnějšího napájení +15 V
- 4 - 6 - nezapojeno
- 16 - 23 - vstup 8. až 1. převáděného vstupu
- 24 - vstup synchronizačního signálu

Příloha č. 5 Zapojení vývodů výstupního konektoru

Program pro ovládání převodníku

Adresy: N: délka 3 slova - počet vstupů
 FV: délka 3 slova - vzorkovací frekvence
 DEC: délka 6 slov - dělenec podpr. DELPOR
 DEC1: délka 8 slov - dělenec podpr. DELN
 DEL: délka 4 slova - dělitel v obou podpr.
 POD: délka 4 slova - výstup podpr. DELN
 NO: délka 2 slova - obsah čítače 0
 N1: délka 2 slova - obsah čítače 1
 VYSL: délka 56 slov - oblast pro výsledky
 QA: délka 16 slov - oblast pro mezisoučty q_A
 MEN: délka 2 slova - místo pro konstantu 65535
 DES: délka 1 slovo - místo pro konst. 10

STRT: LXI H,N adresa počtu vstupů do HL
 MOV A,M počet vstupů do střadače
 OUT 06H počet vstupů do reg. 8282
 MVI A,91H stavové slovo 8255 do střadače
 OUT 7H uložení do 8255
 CALL ZAPREV zastavení převodu
 LXI D,N adresa počtu vstupů do DE
 LXI H,FV adresa F_v do HL
 CALL NASOB počet vstupů $\cdot f_v$ do DEL
 CALL KMIT výpočet hodnot NO^a N1
 LXI H,VYSL adresa VYSL do HL
 MVI B,38H délka 56 do B
 CALL NUL nulování VYSL
 LXI H,QA adresa QA do HL
 MVI B,16 délka do B
 CALL NUL nulování QA
 LXI H,DES adresa násobitele do HL
 MVI M,AH hodnota 10 do paměti
 XCHG adresa násobitele do DE
 LXI H,N+1
 MVI M,0
 INX H
 MVI M,0 nulová slov na adr. N+1 a N+2
 LXI H,N adresa násobence do HL
 CALL NASOB 10. počet vstupů do DEL
 MVI A,34H řídicí slovo čítače 0 do střadače
 OUT BH odeslání
 LDA NO nižší slovo NO do střadače
 OUT 8H odeslání
 LDA NO+1 vyšší část NO do střadače
 OUT 8H odeslat
 MVI A,74H řídicí slovo pro čítač 1 do střadače
 OUT BH odeslat
 LDA N1 nižší část N1 do střadače
 OUT 9H odeslat
 LDA N1+1 vyšší část N1 do střadače
 OUT 9H odeslat
 MVI BOH řídicí slovo pro čítač 2 do střadače
 OUT BH do 8253
 LDA DEL nižší část N2 do střadače
 OUT AH 0 odeslat
 LDA DEL+1 vyšší část do střadače
 OUT AH odeslat
 MVI A,4H
 OUT 06H 0 do PC1, 1 do PC2 = start převodu