

# Využití PN přechodů pro měření průtoku tekutin

Usage of PN junctions for measurement of flow liquid

Pavel Vrána

---

Bakalářská práce  
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Ústav aplikované informatiky  
akademický rok: 2006/2007

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel VRÁNA**  
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Využití PN přechodů pro měření průtoku tekutin**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se podrobně s vlastnostmi PN přechodu a ověřte jeho teplotní závislost .
2. Navrhněte a prakticky realizujte elektrický obvod sloužící pro vyhodnocování okamžitých hodnot teploty pro více polovodičových přechodů .
3. V prostředí ControlWeb vytvořte vhodné vyhodnocovací měřicí prostředí.
4. Proveďte základní měření na realizovaném zařízení.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. KLAUS, T: Příručka pro elektrotechnika. Europa - Sobotáles, 2005.
2. Moravské přístroje: Katalog CONTROL WEB.
3. BAMBUCH, J.: Web vizualizace a řízení modelu teplotních soustav. Diplomová práce, UTB ve Zlíně, 2003.
4. HRUŠKA, F.: Technické prostředky automatizace IV. UTB ve Zlíně, 2001.
5. CHUDÝ, V., PALENČÁR, R.: Meranie technických veličin. STU Bratislava, Bratislava, 1999.
6. ĎADO, S., KREIDL, M. : Senzory a měřicí obvody. ČVUT, Praha, 1999.

Vedoucí bakalářské práce:

**Mgr. Milan Adámek, Ph.D.**

Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

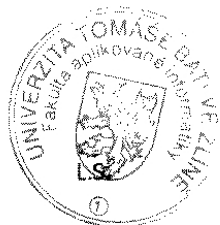
**13. února 2007**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**24. května 2007**

Ve Zlíně dne 13. února 2007

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá vyhodnocováním okamžitých hodnot teploty pro více polovodičových přechodů. Pro měření byl navržen a prakticky realizován elektrický obvod, který pracuje na principu převodníku teplota – napětí s diodou jako teplotním čidlem. K vyhodnocování měřených dat a k jejich vizualizaci bylo použito prostředí programu Control Web a ovladačů pro rychlé děje.

Práce je rozdělena na dvě části praktickou a teoretickou. V první části jsou z různých zdrojů zpracovány teoretické podklady týkající se podrobného vysvětlení principu vzniku polovodičového přechodu PN, dále se zaměřuje na polovodičové diody a jejich vlastnosti, základní pojmy z oblasti průtoků tekutin a přenos tepla v proudící tekutině. Poslední část teoretické práce nás seznamuje s programovým prostředím Control Web.

Praktická část je zaměřena na tvorbu aplikace v prostředí Control Web, návrh a realizaci elektrického obvodu pro měření okamžitých hodnot teploty pomocí polovodičových diod a návrh kanálu. Pro realizaci obvodu byl vytvořen plošný spoj a kanál do kterého byly vsunuty diody. Součástí tohoto bloku bylo prověření funkčnosti a samotné měření na vytvořeném obvodu.

Klíčová slova:

Přechod PN, dioda 1N4148, průtok, Control Web, teplota, plošný spoj, aplikace, kanál, topný odpor, rychlé děje, peristaltické čerpadlo, karta Advantech PCI1711, operační zesilovač TL074CN.

## **ABSTRACT**

The subject of this bachelor thesis is evaluation of instantaneous temperature value for more semiconductors junctions. For measurement has been devised and practically realised an electrical circuit, which functions on a principle heat-voltage convection with diode as a temperature sensor. For evaluation of measured data and to theirs visualize have been used environment of software Control Web and drivers for fast actions.

The bachelor thesis is distributed to a theoretical and a practical part as well. In the first part are elaborated in theory basic data from different sources, which detailed explain principle of genesis semiconductor junction PN. Than are described semiconductor diodes and theirs characteristics, and the other keywords, which concern to liquid flow and temperature transfer in running fluid. The next section of theoretical thesis informs about programs environment Control Web.

The practical part specializes in a formation of application in environment Control Web, proposal and realization of the electrical circuit for measurement instantaneous temperature values through semiconductor junction PN and gives a project of a channel. For realisation of the circuit has been constructed a printed circuit and a channel, in which have been inserted diodes. A part of this block is a revision of functionality and the main measurement on established circuit.

### **Keywords:**

Junction PN, diode 1N4148, flow, Control Web, temperature, printed circuit, appication, channel, resistance heating, fast action, peristaltic pump, Advantech card PCI1711, differentiating amplifier TL074CN.

## Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu mé bakalářské práce Mgr. Milanu Adámkovi PhD. za odborné vedení, cenné rady, zkušenosti a připomínky, které mi poskytoval v průběhu jejího řešení. Chtěl bych také poděkovat Ing. Janu Dolinayovi za ochotu a cenné rady.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....  
Podpis diplomanta

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 ZÁKLADY POLOVODIČOVÉ TECHNIKY</b> .....	<b>11</b>
1.1 PÁSOVÝ MODEL KRYSTALU POLOVODIČE .....	11
1.2 VODIVOST POLOVODIČE .....	12
1.2.1 Vodivost typu P.....	13
1.2.2 Vodivost typu N .....	14
1.3 PŘECHOD PN.....	15
1.3.1 Přechod PN bez působení vnějšího napětí .....	15
1.3.2 Přechod PN s přiloženým vnějším napětím .....	17
1.4 POLOVODIČOVÉ DIODY A JEJICH VLASTNOSTI .....	18
1.4.1 Voltampérová charakteristika diody .....	18
1.4.2 Vliv teploty na diodu.....	20
1.4.3 Ztrátový výkon diody .....	22
<b>2 PRŮTOK</b> .....	<b>23</b>
2.1 DEFINICE PRŮTOKU .....	23
2.2 MĚŘENÍ PRŮTOKŮ TEKUTIN .....	23
2.3 HMOTNOSTNÍ TEPELNÉ PRŮTOKOMĚRY .....	24
2.3.1 Přenos tepla v proudící tekutině.....	24
2.3.2 Tepelná anemometrie .....	25
2.3.3 Teplotně značkovací senzor průtoku – pulzní topení.....	25
<b>3 CONTROL WEB 2000</b> .....	<b>26</b>
3.1 CONTROL WEB A REÁLNÝ ČAS .....	26
3.2 POPIS FUNKCÍ PROGRAMU CONTROL WEB.....	26
3.2.1 Funkce důležitých tlačítek.....	28
3.2.2 Regulace a monitoring .....	29
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>32</b>
<b>4 TVORBA APLIKACE V CONTROL WEBU</b> .....	<b>33</b>
4.1 KARTA ADVANTECH PCI 1711.....	33
4.1.1 Popis karty Advantech PCI 1711 .....	33
4.1.2 Instalace karty.....	34
4.2 INSTALACE PROGRAMU CONTROL WEB.....	37
4.2.1 Ovladač ADVPCI pro pomalé děje .....	38
4.2.2 Ovladač ADVBUF pro rychlé děje .....	38
4.2.2.1 Činnost ovladače.....	38
4.2.2.2 Druhy měření, spuštění převodu a nastavení .....	40
4.2.2.3 Parametry a kanály ovladače.....	41
4.3 POSTUP VYTVOŘENÍ APLIKACE .....	42
4.3.1 Virtuální přístroje .....	42

4.3.2	Propojení virtuálních přístrojů a práce s ovladači .....	42
4.3.3	Práce s kanály .....	43
4.3.4	Výsledná aplikace.....	44
<b>5</b>	<b>ELEKTRICKÝ OBVOD PRO MĚŘENÍ TEPLoty POMOCÍ PN PŘECHODU A NÁVRH KANÁLU .....</b>	<b>46</b>
5.1	POPIS VÝROBKU .....	46
5.1.1	Konstrukce .....	46
5.1.2	Návrh plošného spoje .....	47
5.1.3	Oživení .....	49
5.2	VYTVORENÍ KANÁLU .....	49
5.3	PERISTALTICKÉ ČERPADLO .....	50
5.3.1	Princip činnosti peristaltického čerpadla.....	50
5.3.2	PCD 61-E5V .....	51
5.4	SESTAVENÍ MĚŘÍČÍHO ZAŘÍZENÍ.....	51
5.4.1	Komponenty pro sestavení měřícího zařízení .....	51
5.4.2	Postup sestavení měřícího zařízení .....	52
<b>6</b>	<b>ZÁKLADNÍ MĚŘENÍ .....</b>	<b>54</b>
6.1	OVĚŘENÍ TEPLOTNÍ ZÁVISLOSTI PN PŘECHODU .....	54
6.2	MĚŘENÍ NA REALIZOVANÉM ZAŘÍZENÍ.....	55
6.2.1	Výsledné grafy pro různé průtoky vzduchu.....	56
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>60</b>
	<b>FINISH.....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>67</b>



## ÚVOD

Teplota je velmi často sledovaná veličina nejen v průmyslových aplikacích ale také v běžném životě. Ke snímání teploty lze využít buď speciální součástky pro měření teploty nebo součástky, u nichž je tepelná závislost druhotným jevem a vyplývá z fyzikální podstaty její funkce. Za druhou skupinu jmenujme alespoň tepelnou závislost napětí na polovodičovém přechodu v propustném směru. Využitím této vlastnosti je předmětem pro sledování šíření tepla v kanále při určitém průtoku tekutiny.

Bakalářská práce je složena z teoretické a praktické části. Teoretická část je zaměřena především na vznik a vlastnosti polovodičového přechodu, ale také popisuje principy měření průtoku a přenos tepla v proudící tekutině. Pro vizualizaci a archivaci dat bylo použito prostředí programu Control Web 2000. S jeho základními vlastnostmi se můžete také seznámit v této části.

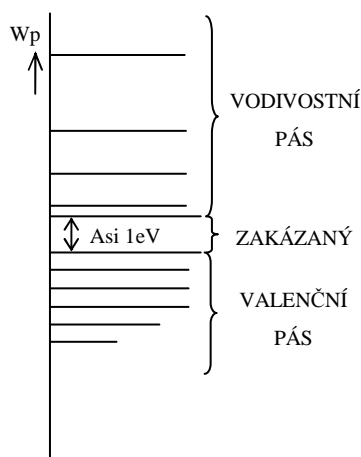
V praktické části je popsána tvorba aplikace v prostředí Control Web, návrh a popis elektrického obvodu, jeho konstrukce a oživení. Zabývá se také vytvořením kanálu a celkovým sestavením měřícího zařízení. Součástí tohoto bloku je i konkrétní měření a grafické vyhodnocení těchto dat. Jsou zde také uvedeny výsledky ověření teplotní závislosti PN přechodu.

## I. TEORETICKÁ ČÁST

# 1 ZÁKLADY POLOVODIČOVÉ TECHNIKY

## 1.1 Pásový model krystalu polovodiče

Potenciální energii elektronu v krystalu látky můžeme vynést na svislou osu grafu na obr.1. Získáme tzv. pásový model krystalu. Energie odpovídající možným drahám elektronů valenční sféry jsou vyznačeny v dolní části obrázku.



Obr. 1 Pásovy model krystalu polovodiče

Pokud není atom vystaven působení vnější energie, snaží se elektrony valenční sféry zaujmout polohu na drahách nejbližších k jádru tj. na drahách s nejmenší energií. Přijme-li atom z vnějšku určité množství energie, dojde k vyzdvižení některého elektronu valenční sféry na dráhu vzdálenější od jádra, tj. na dráhu s větší potenciální energií. Pokud je atomem přijatá energie malá, dochází v krátké době k jejímu zpětnému vyzáření a elektron opět zaujme polohu na dráze s minimální energií. Jestliže je však přijatá energie tak velká, že elektron překoná určitou oblast energií, ve které neleží žádné energetické hladiny, na nichž by se mohl po delší dobu udržet, říkáme, že elektron překonal zakázaný energetický pás. Překonáním pásu se elektron dostal na dráhy značně vzdálené od jádra. K jádru je již poután velmi slabě. V krátké době se uvolní a pohybuje se prostorem krystalové mřížky. Tím dochází k přenosu náboje, čili vedení elektrického proudu v látce. Energetické hladiny odpovídající této situaci tvoří vodivostní energetický pás.

Schopnost látek vést elektrický proud závisí na šířce jejího zakázaného pásu. Čím je tento energetický pás širší, tím je látka horším vodičem elektrického proudu, neboť tím

větší energii musíme dodat elektronům valenční sféry tomu, aby přešly do vodivostního pásu a uvolnily se od jádra.

Zakázaný pás polovodičů je široký asi 1 eV ( $\text{Ge} \approx 0,72 \text{ eV}$ ,  $\text{Si} \approx 1,12 \text{ eV}$ ,  $\text{GaAs} \approx 1,4 \text{ eV}$ ). Nepůsobí-li na látku elektrické pole, ale přesto je zajištěn dostatečný přísun energie (např. tepla) k tomu, aby se elektrony mohly uvolňovat z vazeb, pohybují se volné elektrony v krystalické mřížce neuspořádanými pohyby. Jejich dráhy mění vlivem vzájemných srážek mnohokrát svůj směr, přitom však žádný ze směrů pohybu nepřevládá. Elektrony se z vazeb uvolňují a na jiných místech volné vazby zaplňují. Látka se nachází v dynamické rovnováze, při které je stále v prostoru krystalové mřížky značný počet volných elektronů připravených k vedení proudu. Po připojení zdroje napětí mezi dvě místa v látce vznikne uvnitř krystalové mřížky elektrické pole. Toto pole způsobí pohyb volných elektronů ke kladnému pólu zdroje.(1)

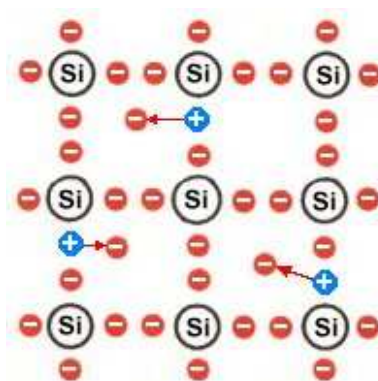
## 1.2 Vodivost polovodiče

Základními polovodivými materiály jsou prvky IV. skupiny Mendělejevovy periodické soustavy prvků. Uhlík, křemík, germanium, cín a olovo. Ve valenční sféře mají čtyři elektrony jejich atomy jsou vázány kovalentní vazbou tvořenou čtyřmi dvojicemi elektronů. Šířka zakázaného pásu těchto prvků klesá se vzrůstající atomovou hmotností ( $\text{C} \approx 5 \text{ eV}$ ,  $\text{Si} \approx 1,12 \text{ eV}$ ,  $\text{Ge} \approx 0,72 \text{ eV}$ ,  $\text{Sn} \approx 0,3 \text{ eV}$ ,  $\text{Pb} \approx 0,1 \text{ eV}$ ). V dnešní době našly největší uplatnění křemík a germanium. Čisté polovodivé materiály mají atomy uspořádané do pravidelné krystalické mřížky (tvoří monokrystal). V  $1 \text{ cm}^3$  je asi  $10^{23}$  atomů.

K uvolnění elektronu od atomu polovodiče dochází po přestupu elektronu z valenční sféry do vodivostní, to je po překonání zakázaného pásu. Aby elektron mohl překonat zakázaný pás, je nutné, aby atom přijal určité množství energie ve formě tepla nebo záření. Při teplotě absolutní nula (bez přívodu energie) zaujímají elektrony valenční sféry polohy na drahách nejbližších k jádru. Valenční sféra je velmi pevná, neboť je v součinnosti s okolními atomy doplněna na osm elektronů (nasyčená kovalentní vazba). Protože jsou všechny valenční elektrony atomů v těchto vazbách využity, nezbyvá žádný elektron k vedení elektrického proudu. v důsledku toho je za těchto podmínek vodivost polovodiče nulová.(1)

Přivedením vnější energie do látky dovolíme elektronům překonat zakázaný pás a tím dojde k rozbití některých vazeb. Elektrony uvolněné z těchto vazeb se volně pohybují krystalovou mřížkou a umožňují vedení elektrického proudu (obr.2). Ve vazbě, ze které byl elektron uvolněn, zbývá volné místo nazývané „díra“. Protože nenasyčená vazba má snahu doplnit se na osm elektronů (nasytit se), působí díra na okolní náboje stejným způsobem, jako kdyby se v daném místě nacházel kladný náboj stejně velký jako náboj elektronu.

K zaplnění díry ve vazbě dojde buď přitažením některého volného elektronu (rekombinací), nebo tím, že v důsledku pohybu krystalové mřížky se v určitém okamžiku přiblíží některý ze sousedních atomů natolik, že dojde k vytržení elektronu z některé jeho vazby. Tento elektron zaplní volné místo ve vazbě prvního atomu, avšak díra se objeví ve vazbě jiného atomu, z jehož vazby byl elektron odtržen. Popsaný děj se v látce neustále a na mnoha místech současně opakuje. Tento druh vodivosti, podmíněný vznikem volně pohyblivých párů nosičů náboje elektron-díra v důsledku rozbíjení vazeb mezi atomy čistého polovodiče, se nazývá vlastní (intrinzičná) vodivost polovodiče. Je zřejmé, že vlastní vodivost polovodiče při zvyšování teploty roste. (1)

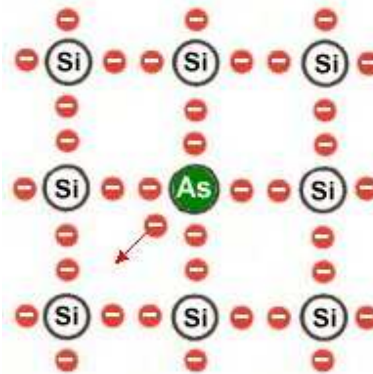


Obr. 2 Kovalentní vazba mezi atomy po přivedení energie ve formě záření (2)

### 1.2.1 Vodivost typu P

Nahradíme-li v krystalové mřížce čtyřmocného prvku (Ge nebo Si) některé atomy pětimocným prvkem, např. P, As, Sb využijí se do čtyř dvojic elektronů, které tvoří nasycenou kovalentní vazbu atomů krystalu, pouze čtyři z pěti valenčních elektronů příměsi (obr.3). Pátý elektron, který se vazby neúčastní, je poután k jádru velmi volně. Uvolněné elektrony pětimocných příměsí (tzv. donorů = dárců) se pohybují prostorem

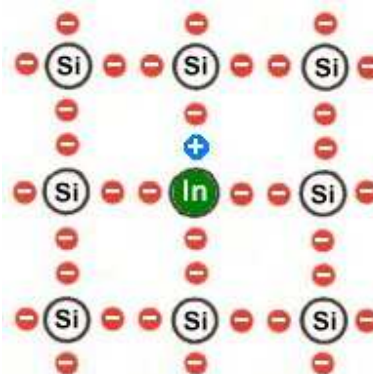
krystalové mřížky. Vytvářejí vodivost zprostředkovanou pohybem záporných (negativních) nábojů, kterou nazýváme nevlastní vodivost typu N (elektronová vodivost). (1)



Obr. 3 Vznik nevlastní vodivosti typu N (2)

### 1.2.2 Vodivost typu N

Nahradíme-li v krystalové mřížce čistého čtyřmocného polovodiče některé atomy základního materiálu atomy třímocného prvku, např. B, Al, Ga, In, chybí jeden elektron k tomu, aby se mohla vytvořit nasycená kovalentní vazba vytvořená ze čtyř dvojic elektronů (obr.4). Atom trojmocného prvku nazýváme akceptor, neboť při zaplnění nenasyčené vazby přijme (akceptuje) do své valenční sféry jeden elektron. Volné místo ve vazbě zvané díra se chová jako pohyblivý kladný náboj který umožňuje vedení elektrického proudu látkou. Vodivost vytvořená popsáním způsobem, která využívá k vedení proudu pohybu kladných (pozitivních) nábojů, se nazývá nevlastní vodivost typu P (děrová vodivost). (1)



Obr. 4 Vznik nevlastní vodivosti typu P (2)

## 1.3 Přejchod PN

### 1.3.1 Přejchod PN bez působení vnějšího napětí

Mějme destičku z monokrystalu polovodiče, jejíž jedna část má nevlastní vodivost typu P a druhá část typu N. Místo, kde se mění vodivost P na N, se nazývá přechod PN. Z atomů příměsí vznikly v krystalové mřížce pevně vázané jednomocné ionty, které se nemohou zúčastnit vedení elektrického proudu. Průchod proudu krystalem však mohou působením svého elektrostatického pole velmi podstatně ovlivnit. Představme si na chvíli, že obě části monokrystalu jsou nejprve od sebe prostorově odděleny. Část P obsahuje kromě neutrálních atomů základního prvku určitý počet vázaných záporných iontů a stejný počet volně pohyblivých děr. V části N jsou pevně vázanými náboji kladné ionty a pohyblivými náboji elektrony.

Jak již bylo vysvětleno, jsou tyto části krystalu navenek elektricky zcela neutrální. Nevytvářejí žádné vnější elektrické pole, které by mohlo jakkoliv ovlivnit pohyb volných nábojů v krystalové mřížce druhé části. Předpokládejme pro výklad, že by bylo možné navzájem spojit obě části monokrystalu tak dokonale, aby krystalová mřížka jedné z nich plynule, bez jakýchkoli nepravidelností (poruch) navazovala na krystalovou mřížku druhé části. Ihned po spojení obou částí by začala působit *difúze*, tj. snaha volných nosičů náboje rovnoměrně se rozptýlit po celém objemu monokrystalu. Jakmile některý elektron přejde z části N do P nebo díra z části P do N, poruší se rovnováha elektrických nábojů obou původně elektricky neutrálních částí. V části N, která ztrácí elektrony, začíná převládat kladný náboj pevně vázaných iontů donoru. Zároveň v části P, ve které elektrony *rekombinují*, začíná převládat záporný náboj pevně vázaných iontů akceptoru. Mezi částí P a N se vytváří rozdíl potenciálů, který se nazývá *difúzní napětí*. Čím více nosičů přejde přes přechod, tím je *difúzní napětí* větší. Současně se vznikem rozdílu potenciálů se v okolí přechodu PN vytváří elektrostatické pole pevných iontů. Další difúze volných nábojů přes přechod je v důsledku silového působení tohoto pole stále obtížnější, neboť záporné ionty v části P odpuzují elektrony, které se snaží do této části proniknout. Stejně působí i kladné ionty v části N na přicházející díry. Přitom každý další přechod náboje zvětšuje intenzitu pole, a tím zesiluje odpudivou sílu působící na difundující náboje. Děj probíhá tak dlouho, až dojde k dynamické rovnováze mezi kinetickou energií difundujících nosičů náboje a odpudivou silou elektrostatického pole iontů. Za té situace již kinetická energie nosičů

náboje nestačí k překonání rozdílu potenciálních energií mezi oběma částmi krystalu. Další růst *difúzního napětí* se zastaví. Difúzní napětí je na přechodu PN v germaniu asi 0,2 V, v křemíku 0,66 V, v arzenidu galia asi 1,3 V. Je zřejmé, že *difúzní napětí* nemůže vyvolat průchod proudu vnějším obvodem, neboť je vytvářeno polem pevně vázaných iontů, které není možné z krystalu do vnějšího obvodu odvést. Lze ho změřit nepřímými metodami.

Pro majoritní nosiče náboje tvoří difúzní napětí (elektrostatické pole pevných iontů) překážku zvanou *potenci*, cílová přehrada (*potenciálový val*, *potenciálová bariéra*), přes kterou tyto nosiče náboje nemohou pronikat z jedné části do druhé. Elektrostatické pole pevných kladných iontů části N odpuzuje od místa přechodu volné díry pohybující se v části P. Stejně působí pole i na volné elektrony v části N. V okolí přechodu vzniká oblast, ze které jsou vytlačeny všechny majoritní nosiče náboje. Tuto oblast, která má v případě, že na přechod není přiloženo žádné vnější napětí, tloušťku asi 1 mikrometr, nazýváme *vyprázdňená oblast*.

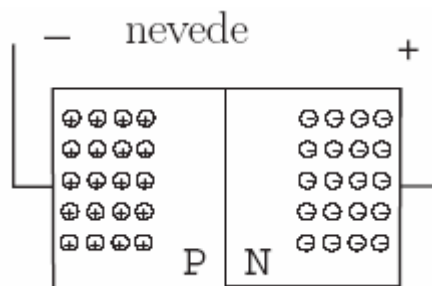
Jinak působí elektrostatické pole pevných iontů na minoritní nosiče náboje. Díry z části N, které se dostanou do blízkosti přechodu, jsou přitahovány zápornými ionty části P a pronikají přes přechod. Stejná situace nastává i pro elektrony pohybující se v blízkosti přechodu v části P. Přechod je pro minoritní nosiče náboje otevřen a potenciálová přehrada jejich průchodu nebrání. Protože je počet minoritních nosičů náboje při určité teplotě materiálu omezen, je jimi způsobený proud procházející přes přechod poměrně malý. Přecházející minoritní nosiče (elektrony z P do N a díry z N do P) by však způsobily postupné zmenšování *difúzního napětí* (neboť přinášejí do části N záporný a do části P kladný náboj).

Jakýkoliv pokles *difúzního napětí* je však ihned vyrovnán difundujícími majoritními nosiči, jejichž kinetická energie stačí k překonání zmenšeného *difúzního napětí*, neboť rychlosti jednotlivých nosičů náboje nejsou vlivem vzájemných srážek stejné. Přechod je trvale v dynamické rovnováze a *difúzní napětí* je při konstantní teplotě konstantní. Proud minoritních nosičů je zcela vyrovnáván (kompenzován) proudem těch majoritních nosičů, jejichž kinetická energie k tomu postačuje. Celkový náboj na obou stranách přechodu PN zůstává konstantní. (1)



### 1.3.2 Přechod PN s přiloženým vnějším napětím

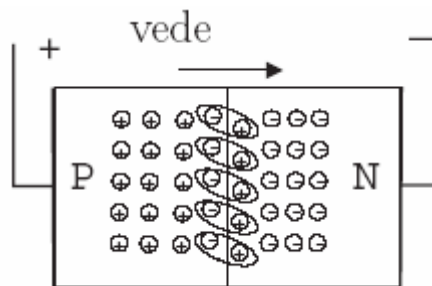
Opatříme-li polovodičovou strukturu PN přívody (obr.5), na které přiložíme stejnosměrné napětí v takové polaritě, která souhlasí s polaritou *difúzního napětí*, tj. na část P minus a na část N plus, bude mít elektrostatické pole, které vlivem přiloženého napětí vznikne, souhlasný smysl jako elektrostatické pole pevných iontů působící v okolí přechodu.



Obr. 5 Přechod PN ve zpětném směru (3)

Potenciálová přehrada mezi částí P a N vzroste a vyprázdňená oblast se rozšíří, neboť obě pole se budou navzájem podporovat. Už ani nejrychlejší z majoritních nosičů nemohou překonat zvýšenou potenciálovou přehradu a proud majoritních nosičů zanikne. Přechod je pro majoritní nosiče náboje uzavřen. Říkáme, že je polarizován ve zpětném směru. Přes přechod i vnějším obvodem prochází jen proud minoritních nosičů náboje, neboť proud majoritních nosičů, který ho v případě přechodu PN bez vnějšího zdroje kompenzoval, zanikl.

Elektrostatické pole způsobené vnějším zdrojem napětí sice podporuje pohyb minoritních nosičů přes přechod, ale nezpůsobuje znatelné zvětšení proudu, protože všechny minoritní nosiče které byly při dané teplotě k dispozici, přes přechod již stejně procházely. Proud je nasycen. Obrátíme-li polaritu přiloženého napětí (obr.6), bude odpovídající elektrostatické pole působit proti elektrostatickému poli pevných iontů.

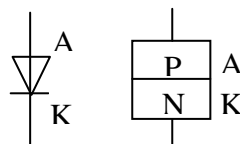


Obr. 6 Přechod PN v přímém směru (3)

Majoritní nosiče se vlivem tohoto pole přiblíží k přechodu, potenciálová přehrada se zruší a vyprázdněná oblast zanikne. Přechod je při této polarizaci (tj. na P plus a na N minus) pro majoritní nosiče otevřen. Říkáme, že je polarizován v přímém směru. Obvodem prochází proud, který při zvětšování vnějšího napětí prudce vzrůstá, neboť v krystalové mřížce je velké množství majoritních nosičů připravených k vedení proudu. Je zřejmé, že přechod PN vykazuje tzv. usměrňovací účinek (jednosměrnou vodivost). Přiložíme-li na část P kladné napětí proti části N, je odpor přechodu velmi malý (řádově zlomky ohmu). Při opačné polarizaci má přechod odpor velmi velký. (1)

## 1.4 Polovodičové diody a jejich vlastnosti

Polovodičová dioda je dvojpólová součástka využívající ke své činnosti přechodu PN. Přechod vykazuje usměrňující vlastnosti (jednosměrnou vodivost). Tuto skutečnost bere v úvahu schematická značka diody na obr.7, která připomíná šipku ukazující směr proudu procházejícího přechodem polarizovaným vnějším napětím v přímém směru. Elektrodu označenou trojúhelníkem nazýváme anoda (A), druhé elektrodě říkáme katoda (K). (1)



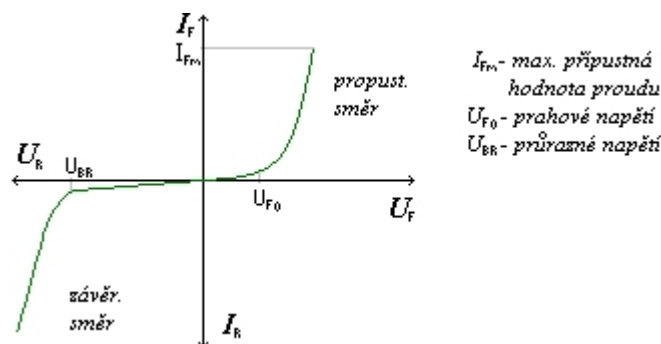
Obr. 7 Schematická značka diody

### 1.4.1 Voltampérová charakteristika diody

K popisu vlastností nelineárních nesetračných elementů používáme voltampérovou charakteristiku zobrazenou graficky, nebo vyjádřenou aproximativním funkčním

předpisem. Je to závislost stejnosměrného proudu  $I$  procházejícího diodou na stejnosměrném napětí  $U$ , které působí mezi anodou a katodou. Voltampérová charakteristika je uvedena na obr.8. Má dva směry, propustný a závěrný.

Prahové napětí  $U_{F0}$  odpovídá *difúznímu napětí* na přechodu a závisí na materiálu diody a na teplotě. Pro germanium je při  $+25^\circ\text{C}$  asi 0,2V, pro křemík asi 0,56V. Po překonání tohoto napětí prochází diodou proud majoritních nosičů náboje, který při vzrůstu napětí prudce stoupá. Odpor diody je za těchto podmínek velmi malý (několik setin až několik jednotek ohmu, záleží na typu diody). Změníme-li polaritu anodového napětí, bude odpovídající elektrostatické pole podporovat potenciálovou překladu a přechod se pro majoritní nosiče náboje zcela uzavře (závěrný směr). Diodou bude protékat jen velmi malý proud, který je téměř nezávislý na anodovém napětí. Odpor diody je za této situace několik set kiloohmů až několik desítek megaohmů. Dosáhne-li však záporné anodové napětí určité hodnoty označované  $U_{BR}$ , které je podle druhu diody několik desítek až stovek voltů, dochází k prudkému růstu anodového proudu ve zpětném směru a to může vést až ke zničení diody.(1)



Obr. 8 Voltampérová charakteristika diody (4)

Voltampérovou charakteristiku přechodu PN lze přibližně popsat rovnicí

$$I = I_s \left( e^{\frac{U_D}{nU_\theta}} - 1 \right),$$

kde  $I$  je proud procházející přechodem při napětí  $U_D$ . Napětí  $U_D$  je kladné, je-li přechod PN pólován v propustném směru. Proud  $I_s$  je tzv. nasycený (saturační) proud přechodu a závisí na technologii a materiálu diody. Závisí značně na teplotě, protože je tvořen tepelně generovanými dvojicemi elektron-díra. Napětí  $U_\theta$  je tzv. teplotní napětí

$$U_{\theta} = \frac{k\theta}{q} \approx 26mV,$$

kde  $k$  je Boltzmanova konstanta,  $q$  je elementární náboj a  $\theta$  je absolutní teplota (v Kelvinech). Emisní součinitel  $n$  se mění v rozmezí  $1 < n < 2$ . Napětí  $nU_{\theta}$  je tedy pro teplotu 300K (= +27°C) v rozmezí 26 až 52 mV. Pro napětí  $U_D \ll U_{\theta}$  lze zanedbat jedničku proti exponenciále a dostaneme pro průběh voltampérové charakteristiky propustně pólované diody přibližný vztah

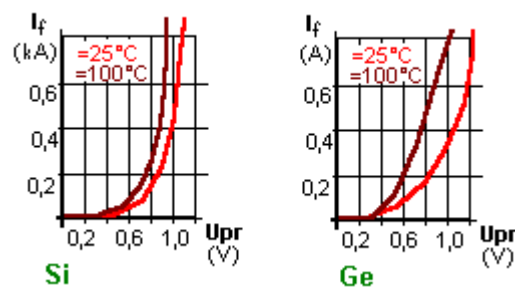
$$I = I_s e^{\frac{U_D}{nU_{\theta}}}.$$

Skutečný průběh voltampérové charakteristiky diody je ovlivněn v propustném směru hlavně sériovým odporem přívodů a v závěrném směru paralelními svody. (3)

#### 1.4.2 Vliv teploty na diodu

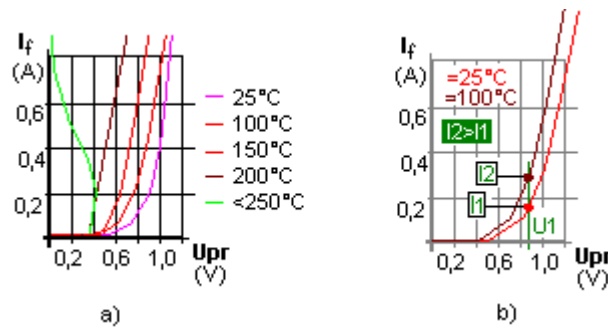
Při zvyšování teploty považujeme nevlastní vodivost polovodiče za stálou, vlastní vodivost polovodiče ovšem roste.

Na obr.9 jsou na porovnání znázorněny VACH Si a Ge diody v propustném směru. Na první pohled je patrný rozdíl prahového napětí. Germaniová dioda začíná propouštět proud už okolo 0,3V, kdy křemíková dioda je ještě zcela zavřená. Křemíková dioda začíná propouštět proud až okolo 0,55V. Upozorňuji, že charakteristiky jsou ukázkové. Mají nám přiblížit rozdíl mezi křivkami. Vzhledem k tomu, že křemíkovou technologií se dosahuje vyšších proudů, jsou křemíkové diody používanější. Křemíková dioda má charakteristiku strmější a to i při mnohonásobně (1000krát) vyšších proudech.



Obr. 9 Vizuální porovnání tvarů křivek v propustném směru

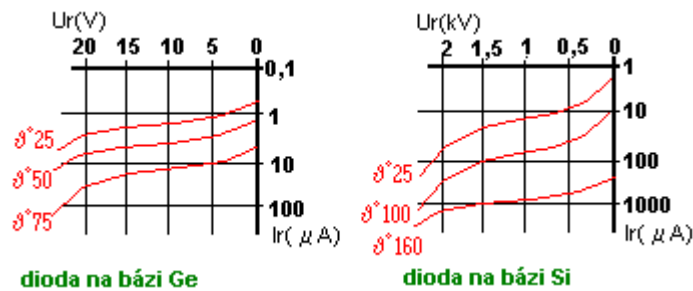
U obou grafů je vidět tendence zvyšovat propustný proud s teplotou. Nebo-li křivka se přibližuje k ose y ( $I_f$ ). Co je ale podstatné, je to, že nám klesá hodnota úbytku napětí s rostoucí teplotou při stejném proudu. Tohoto efektu se využívá, ale v podstatě lze říct, že se jedná o nežádoucí jev. S tímto problémem se potýkáme pouze u diod, u kterých jsou pracovní podmínky závislé na teplotě.



Obr. 10 a) vliv teploty na tvar křivky v propustném směru  
b) důkaz většího proudu diodou při stejném úbytku napětí a rozdílných teplotách

Hlavním faktorem, který vytlačuje Ge diody je závěrný proud diody. Porovnejme průběhy Si a Ge diod na obr. 11. Srovnáme-li hodnoty závěrných proudů při stejných podmínkách (teplota,  $U_r$ ), ukáže se proud  $I_r$  diody Si až 100krát menší než u Ge diody. Opět u Ge diody se nedosahuje tak vysokých hodnot  $U_r$  jako u Si diod. Současnou technologií není problém dostat se s  $U_r$  u křemíkových diod na hranici kV. A jaký je vliv teploty v závěrném směru? Bohužel i v závěrném směru jsou diody dosti citlivé na rostoucí teplotu.

S rostoucí teplotou, a to i u křemíkových diod, se nám prudce zvedá hodnota  $I_r$ . Upozorňuji na výhodnější užití logaritmické stupnice pro  $I_r$ . Je-li dioda aktivně zahřívána (třeba i z propustného směru), pak se při vyšších hodnotách  $U_r$  dioda blíží k průraznému napětí. Překročení průrazného napětí diodu zničí (prorazí). Průraz diody se projeví prudkým zvýšením  $I_r$  (až do A). Některé typy diod pracují s opakovatelným průrazem (zenerovy diody). (5)



Obr. 11 Porovnání průběhů závěrných proudů různých diod

### 1.4.3 Ztrátový výkon diody

Ztrátovým výkonem diody rozumíme výkon, který se při průchodu proudem mění v diodě na teplo. Vlivem ztrátového výkonu se dioda ohřívá. Můžeme ho vypočítat ze vztahu  $P_a = U_{AK} I_A$ , kde  $U_{AK}$  je napětí působící na diodě a  $I_A$  procházející proud. Aby nedošlo k poškození diody, nesmí teplota přechodu přestoupit pro germanium asi 100 °C a pro křemík asi 200 °C. Této teplotě přechodu odpovídá největší přípustný ztrátový výkon diody, který se nazývá dovolená anodová ztráta ( $P_{adov}$ ). Dovolená anodová ztráta závisí na ochlazování diody. Čím je ochlazování účinnější, tím může být výkon větší a teplota nestoupne nad stanovenou mez. Ochlazování je závislé na rozdílu mezi teplotou přechodu a teplotou okolí a na odporu, který je kladen odváděním tepla z diody do okolí (tzv. tepelný odpor  $R_{th}$ ).

$$P_{adov} = \frac{\vartheta_{j\max} - \vartheta_a}{R_{th}} \quad (\text{W}; ^\circ\text{C}; ^\circ\text{C}/\text{W}) \quad , \quad \text{kde } \vartheta_{j\max} \text{ je největší přípustná teplota}$$

přechodu,  $\vartheta_a$  je teplota okolí a  $R_{th}$  je tepelný odpor diody ve  $^\circ\text{C}/\text{W}$ . Růst dovolené anodové ztráty je při nízkých teplotách omezen hodnotou, kterou stanoví výrobce diod. Tato hodnota nesmí být překročena ani při nejnižších teplotách okolí.

Tepelný odpor se skládá ze dvou částí. Jedna je předávání tepla z přechodu do pouzdra diody a druhá předávání tepla z pouzdra do okolí. Tepelný odpor mezi pouzdrům a okolím můžeme zmenšit zlepšením odvádění tepla z pouzdra diody, např. připevněním diody k chladicí desce. (1)

## 2 PRŮTOK

### 2.1 Definice průtoku

Pod pojmem průtok rozumíme množství tekutiny protékající za určitou časovou jednotku přes otevřený kanál nebo potrubí. Průtok je možné vyjadřovat v objemových nebo hmotnostních jednotkách. Rozlišujeme tedy dva základní druhy průtoku:

- *Objemový průtok* je definován jako podíl objemu látky, která projde daným průřezem a času, kde  $\Delta V$  je elementární objem protékající tekutiny a  $\Delta t$  je časový interval. Jednotkou objemového průtoku je m<sup>3</sup>/s.

$$Q_v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{dV}{dt}$$

- *Hmotnostní průtok* je definován jako podíl hmotnosti látky, která projde daným průřezem a času, kde  $\Delta m$  je elementární hmotnost protékající tekutiny a  $\rho$  je hustota proudící tekutiny. Jednotkou hmotnostního průtoku je kg/s. (6)

$$Q_m = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{dm}{dt} = \rho \frac{dV}{dt}$$

### 2.2 Měření průtoků tekutin

Měření průtoků množství tekutin patří do oblasti velmi důležitých, především pak bilančních měření. Při návrhu konstrukce a realizaci snímače se nutně setkáváme s řadou protichůdných požadavků a problémů, které jsou přímo spojeny s vlastnostmi měřené tekutiny, s měřicím rozsahem, s přesností snímače a také s měřením a vyhodnocováním výsledků měření.

Největší vliv na volbu snímače nebo na uvažovanou konstrukci mají základní vlastnosti tekutin, které s tímto snímačem chceme měřit. Většinou měříme skupenství, tlak, teplota, viskozita, hustota apod., ale také vlastnosti jako je barva, elektrická vodivost, znečištění, výbušnost a chemické vlastnosti. Pozornost je věnována také časovým změnám měřeného průtoku, popřípadě rychlostnímu profilu v měřicím kanálu. Rovněž je nutné znát druh proudění (laminární nebo turbulentní). Všechny tyto okolnosti jsou velmi důležité pro volbu fyzikálního principu snímače.(7)

## 2.3 Hmotnostní tepelné průtokoměry

Tepelné senzory hmotnostního průtoku využívají principu výměny tepla mezi zdrojem tepla (vyhříváný drátek, vyhřívána fólie, vyhříváný vrstvý odpor) a okolím (proudící tekutina) v závislosti na hmotnostním průtoku. Lze přitom využít dva způsoby realizace:

- Měřit oteplení tekutiny – jde o tzv. *kalorimetry*, které využívají *Thomasův princip*.
- Měřit ochlazení žhaveného drátku nebo fólie – jde o tzv. *termoanemometry*.(6)

### 2.3.1 Přenos tepla v proudící tekutině

Tepelným procesem se rozumí změna stavu reálného tepelného nebo termodynamického systému vyvolaná změnou vnitřní energie a charakterizovaná nerovnoměrností tepelného pole v systému. Existuje-li v prostoru rozdíl teplot, může docházet k přenosu energie z oblastí o vyšší energetické hodnotě do oblastí s nižší energetickou hodnotou.

Přenos (sdílení) tepla v reálných systémech může probíhat různými způsoby, z nichž lze za základní považovat tyto:

- *Vedení tepla (kondukce)* - je způsobeno pohybem mikročastic (molekul, atomů), jejichž kmitáním se přenáší energie z míst s vyšší teplotou na místa s nižší teplotou. Tento typ přenosu tepla se vyskytuje zejména u pevných těles, ale i u tekutin za předpokladu, že je můžeme uvažovat makroskopicky v klidu.
- *Sdílení tepla prouděním (konvekce)* - je možné pouze v tekutém (tj. v kapalném nebo plynném) prostředí a přenos tepla se děje přemísťováním mikročastic, což znamená promícháváním tekutiny. Přenos tepla je nerozlučně spjat s přenosem samotného prostředí.(7)
- *Sdílení tepla zářením (radiací, sálání)* - jde o přenos tepla elektromagnetickým vlněním. Teplo sálajícího tělesa se nejdříve změní v záření (elektromagnetické vlny), které se po dopadu na těleso, které je pohltí, opět změní na teplo.(6)

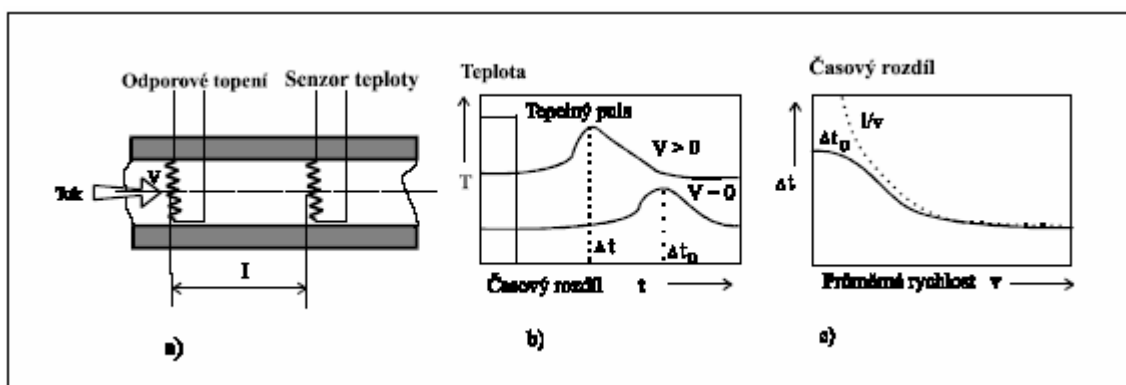


### 2.3.2 Tepelná anemometrie

Tepelná anemometrie je založena na přenosu tepla z vyhřívajícího citlivého elementu do okolní proudící tekutiny. Princip spočívá ve skutečnosti, že ohřáté těleso vložené do proudící tekutiny se ochlazuje tím intenzivněji, čím je vyšší rychlost proudění tekutiny. Tepelné ztráty snímače závisí na jeho geometrickém tvaru a rozměru, dále pak na rychlosti, teplotě, tlaku, objemové hmotnosti a tepelných vlastnostech proudící tekutiny.(6)

### 2.3.3 Teplotně značkovací senzor průtoku – pulzní topení

Teplotně značkovací senzor průtoku (Time-of-Flight Type) se skládá z vyhřívajícího prvku a jednoho nebo více senzorů teploty, které jsou umístěny po směru proudění tekutiny. Vyhřívací prvek je aktivován proudovým pulsem. Senzor teploty zaznamenává časovou změnu teplotního pole, teplota v místě senzoru je funkcí času a rychlosti proudící tekutiny. Z obr.12 je zřejmý posun teplotního maxima zaznamenaného senzorem teploty při proudění tekutiny nebo také v klidovém stavu.(6)



Obr. 12 Teplotně značkovací senzor průtoku

Tento typ je nevhodný pro dynamická měření vzhledem k velké časové konstantě průtokoměru. Naopak předností je nezávislost měření na vlastnostech tekutiny při vyšších průtocích. (6)

### 3 CONTROL WEB 2000

Program Control Web 2000 (dále jen Control Web nebo CW) od firmy Moravské přístroje a.s. (ČR) patří k velice rozšířeným produktům určeným pro vývoj průmyslových SCADA/MMI aplikací. Jedná se o objektově orientovaný grafický generátor umožňující monitorování, řízení, bilancování technologického procesu. Vyznačuje se snadnou, konfigurovatelnou, objektově orientovanou grafikou s vlastním grafickým editorem.

CW pracuje v prostředí operačních systémů implementujících aplikační programové rozhraní Win32 a podporuje řadu průmyslových standardů. Lze v něm vytvářet aplikace pracující v reálném čase nebo datově řízené aplikace. U systémů řízených Kontrol Webem je každý vstupně/výstupní kanál čten přesně v době, kdy jej nějaký virtuální přístroj požaduje. Taktéž umožňuje vizualizaci technologií, prostřednictvím internetových standardů http a HTML, pomocí libovolného WWW klienta. Pro svou schopnost zvládat značná množství dat je často nasazován na velmi velké aplikace, které jsou již za možnostmi většiny vizualizačních programů.(6)

#### 3.1 Control Web a reálný čas

Většina vizualizačních programů nedokáže realizovat libovolné řídicí algoritmy a pracovat v přesném reálném čase. S volně programovatelným systémem Control Web lze v rámci jediného programového systému realizovat soft-PLC řídicí v reálném čase stroje a výrobní linky, měřicí a regulační systémy i rozsáhlé síťové vizualizační a operátorské systémy. Schopnost práce v reálném čase je v současné době nutným požadavkem kladeným na moderní programové systémy pro průmyslovou automatizaci. Časové rozlišení aplikací systému Control Web lze zjemňovat až do řádu milisekund.(8)

#### 3.2 Popis funkcí programu Control Web

Po spuštění programu Control Web je automaticky otevřen nový prázdný projekt. Projektové okno slouží k návrhu vlastní měřicí úlohy. Spojováním jednotlivých funkčních bloků obsažených v paletě přístrojů programu, sestavíme projekt s požadovanými vlastnostmi. Celá aplikace je pak tvořena množinou virtuálních přístrojů, které jsou schopny samy o sobě pracovat, nebo-li vykonávat nějakou činnost. Virtuální přístroj si tedy pamatuje nějaká data a taktéž je schopen s těmito daty dále manipulovat.

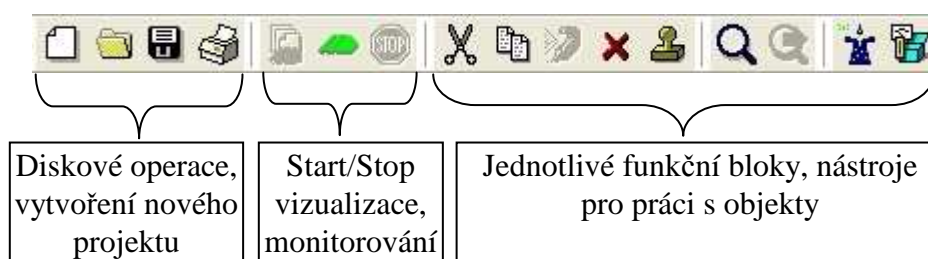
Kromě jiného je možné v hlavním okně najít 5 záložek, jejichž význam popisují níže (Obr. 13).



Obr. 13 Záložky projektového okna

- 1) Moduly – slouží pro vývoj modulární aplikace a umožňují zavedení pořádku do vytvářené aplikace
- 2) Textový editor – zde se nachází zdrojový kód vytvořené aplikace
- 3) Datový inspektor – umožňuje nastavení veškerých proměnných, kanálu, konstant, přístupových práv atd.
- 4) Grafický editor – pro vkládání přístrojů a úpravu vzhledu výsledné aplikace
- 5) Dokumentace – nápověda Control Webu v elektronické podobě











K rychlejšímu a pohodlnějšímu výběru funkce nám dobře poslouží *toolbar* aplikace Control Webu (obr. 14). Obsahuje následující funkce: (9)



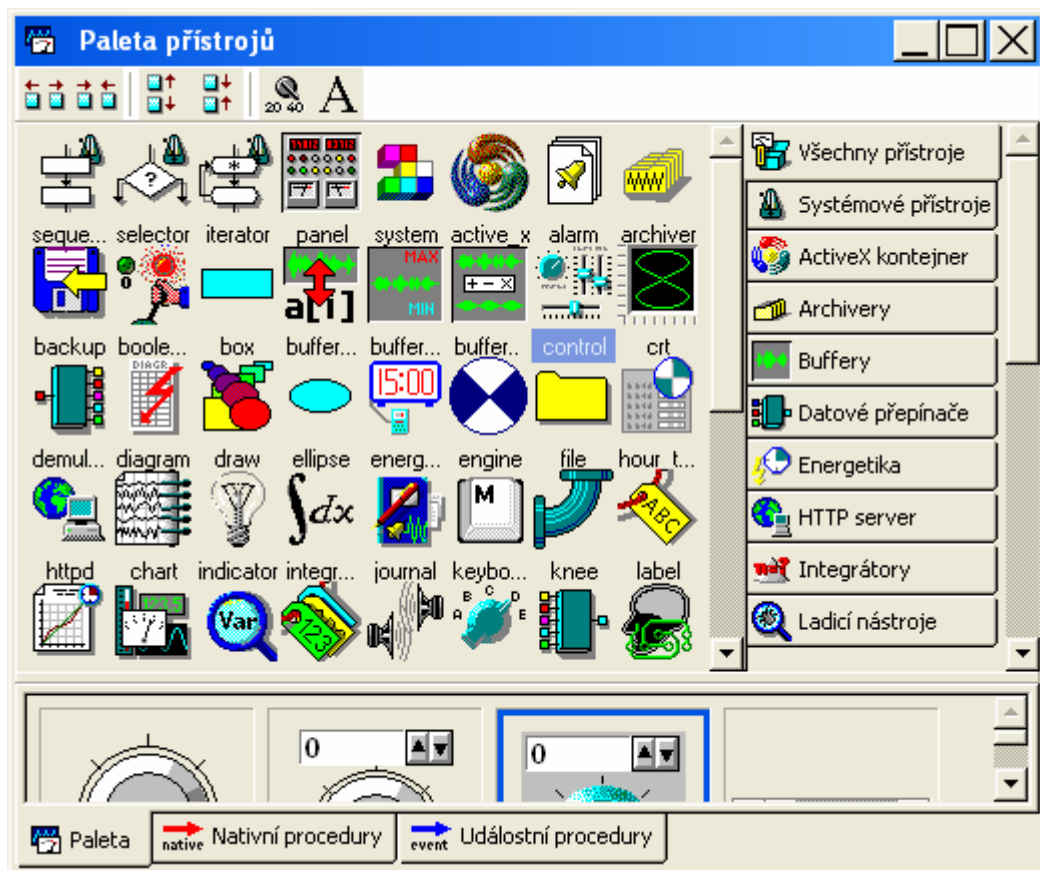
Obr. 14 Toolbar Control Webu

Funkce jednotlivých tlačítek *toolbaru* jsou popsány v dalších kapitolách viz kap. 3.2.1 a 3.2.2.

### 3.2.1 Funkce důležitých tlačítek


-  Vytvoření nového prázdného projektu
-  Otevření již existujícího projektu uloženého na disku
-  Uložení aktuálního projektu na disk
-  Tisk aktuálního projektu
-  Vyříznutí přístroje
-  Smazání přístroje
-  Duplikát přístroje
-  Vyhledání přístroje
-  Paleta průvodců přidáním nového virtuálního přístroje
-  Paleta virtuálních přístrojů


Poslední dvě tlačítka umožňují vytvořit či přímo vložit objekt na pracovní plochu. Paleta přístrojů, ve které je možno zvolit virtuální přístroj je zobrazena na obr.15.(8)



Obr. 15 Paleta virtuálních přístrojů

### 3.2.2 Regulace a monitoring

 Spuštění aplikace. Lze provést pouze tehdy, není-li již regulace spuštěna v jiném otevřeném projektu. Této funkce lze rovněž dosáhnout pomocí klávesové zkratky F5.

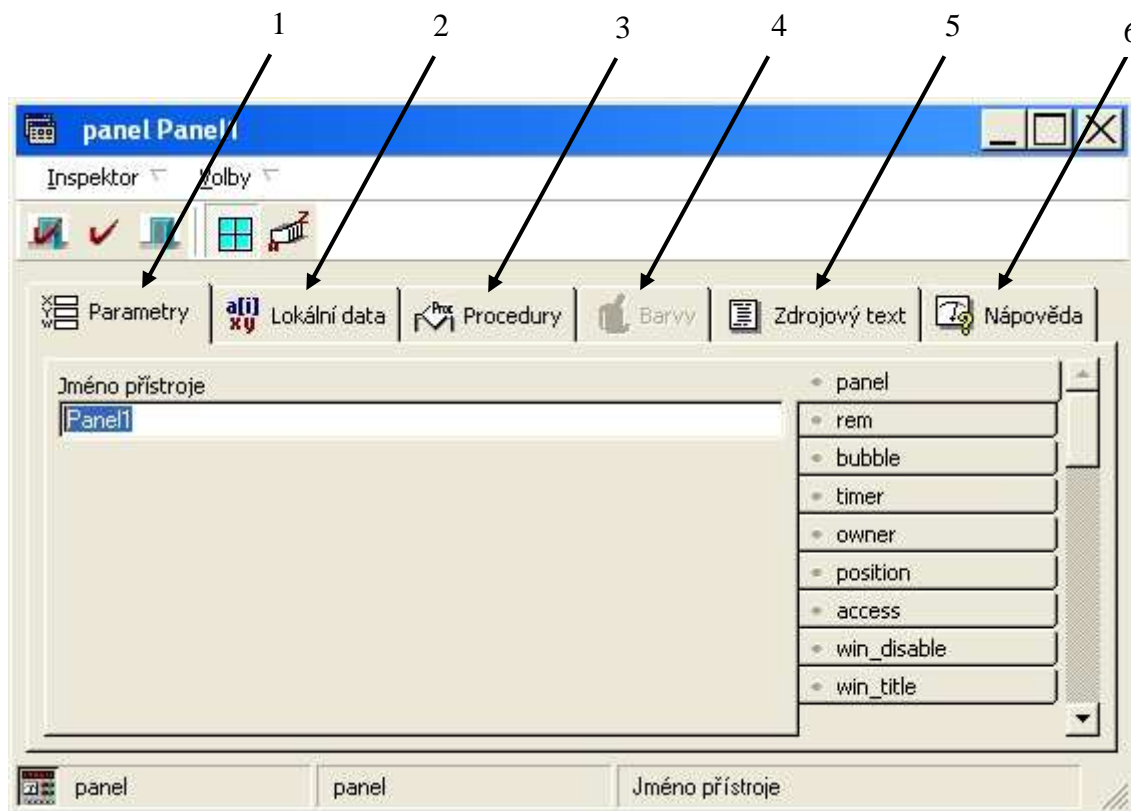
 Zastavení právě běžící aplikace.

#### Spuštění aplikace

Spuštění aplikace je doprovázeno průběžnou inicializací dat, jednotlivých přístrojů, globálních proměnných, výstupních kanálů a zajištění plynulého rozběhu časování. Každý přístroj během inicializace může ovlivňovat datové elementy, může spouštět událostní procedury a posílat zprávy jiným přístrojům.(8)

## Nastavení vlastností a chování přístrojů

Nastavení vlastností jednotlivých objektů lze zpřístupnit kliknutím pravého tlačítka myši na požadovaný přístroj (objekt). Tím se aktivuje kontextové menu objektu a zvolením položky *Inspektor přístroje* bude otevřen dialog umožňující změnit vlastnosti a nastavení objektu (Obr. 16). (9)



Obr. 16 Popis a vlastnosti nastavení přístroje

- 1) Nastavení kanálů, časování, vlastníka přístroje, název archivačního souboru apod.
- 2) Definice datových elementů
- 3) Nastavení procedur
- 4) Změna barvy vzhledu přístroje
- 5) Zdrojový kód přístroje
- 6) Elektronická nápověda Control Webu

Virtuální přístroje využívající standardní, tj. *dvourozměrné* vykreslování, vždy samostatně zajišťují překreslení své plochy prostřednictvím GDI systému Windows.

Mohou se tedy překreslit kdykoliv bez ohledu na ostatní komponenty a dokonce i na panel, na jehož ploše leží. A když se takové přístroje překrývají, věc se snadno řeší rozdělením překrytého přístroje na několik obdélníků a jejich postupným překreslením.

U *trojrozměrných virtuálních přístrojů* je situace složitější. Každý je v třírozměrném prostoru scény složitě překrýván částmi jiných přístrojů. Proto musí být při změně každého přístroje vždy překreslena celá scéna. Proto je v systému Control Web překreslování řešeno principem klient – server. Požaduje-li virtuální přístroj překreslení, pouze tento požadavek oznámí serveru a dále se o něj nestará. Toto zaregistrování požadavku přístroj nikterak časově nezatěžuje a aplikační program běží velmi plynule v přesném reálném čase. Jakoby grafika vůbec neexistovala.

Server, který zabezpečuje překreslování scény, běží ve vlastním samostatném prováděcím toku. Rychlost překreslování scény je pak dána její složitostí, výkonem grafické karty a procesoru počítače. Vzhledem k výkonu dnešních akceleratorů jsou i velmi složité scény s mnoha tisíci polygony překreslovány rychleji než stokrát za sekundu. To aplikačním programům přináší dramatické zvýšení výkonu a kvality grafiky, v plošné GDI grafice nedosažitelné.(9)

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 4 TVORBA APLIKACE V CONTROL WEBU

Pro splnění zadání bakalářské práce bylo zapotřebí již několikrát zmiňovaného programu Control Web, multifunkční měřicí karty PCI 1711, peristaltického čerpadla a elektrického obvodu (hardware), který jsem navrhl a vyrobil. Jednotlivé části jsou popsány v následujících kapitolách.

### 4.1 Karta Advantech PCI 1711

#### 4.1.1 Popis karty Advantech PCI 1711

Měřicí karta od firmy Advantech obsahuje 16 jednoduchých analogových vstupů, ke kterým využívá 12-ti bitový A/D převodník s až 100kHz vzorkovacím kmitočtem. Podle potřeb uživatele se může nastavit různý zisk pro každý kanál v odpovídajícím rozsahu vstupního napětí. Ziskové hodnoty jsou uloženy v paměti SRAM.

Možnost nastavení zisku (Gain) udává rozlišení převodníku a tudíž i chyby měření. Pro zjištění odhadu nejistoty měřicí karty (viz. tab. 1) bylo použito následující vzorce:

$$\text{rozlišení převodníku} = \frac{U[V]}{2^n} [V], \text{ kde } n \text{ udává kolika bitový má karta převodník.}$$

$$\text{standardní odchylka} = \text{rozlišení převodníku} / 2$$

Tab. 1 Výpočet odhadu nejistoty měřicí karty

U [V]	2 <sup>n</sup>	Rozlišení převodníku [V]	Standardní odchylka [V]	Hodnota Gain
±10	4096	0,004882813	0,002441406	0
±5	4096	0,002441406	0,001220703	1
±2,5	4096	0,001220703	0,000610352	2
±0,125	4096	0,000610352	0,000305176	3
±0,625	4096	0,000305176	0,000152588	4

Do parametrického souboru se zapíše hodnota Gain (= číslo) k určitému kanálu (při výběru z možných 16-ti analogových vstupních kanálů) a tím se získá určitá hodnota vstupního rozsahu dle tabulky.

Dále karta obsahuje dva 12-ti bitové analogové výstupní kanály, 16 číslicových vstupů a 16 číslicových výstupů společně s programovatelným čítačem, který může sloužit

jako spoušť pro A/D komunikaci. Čítecí čip je 82C54, který připojuje tři 16-ti bitové kanály na frekvenci 10 MHz hodinového impulsu. Jeden ze tří kanálů je užívaný jako událostní čítač pro vstupní kanály. Další dva slouží pro synchronizaci 32 bitových časovačů.

Na hardwarové desce je umístěna FIFO (first in first out) vyrovnávací paměť - *buffer*. Paměťový *buffer* slouží k uložení dat do paměti A/D vzorků. Karta se používá při procesech monitorování a ovládání, zároveň slouží jako převodník pro sensorové měření a pro vícekanálové měření stejnosměrného napětí. Flexibilní design umožní vícekanálové a vysokorychlostní vzorkování pro výkonné získávání informací. Dokumentace k této kartě je uvedena v příloze P I.

Při práci byla využita multifunkční karta PCI 1711, kabel se samčími konektory na obou stranách typ PCL 10168, deska svorkovnice ADAM 3968 a instalační CD (viz. obr. 17). Vše bylo dodáno firmou Advantech. (6)



Obr. 17 Karta PCI 1711 s komponenty

#### 4.1.2 Instalace karty

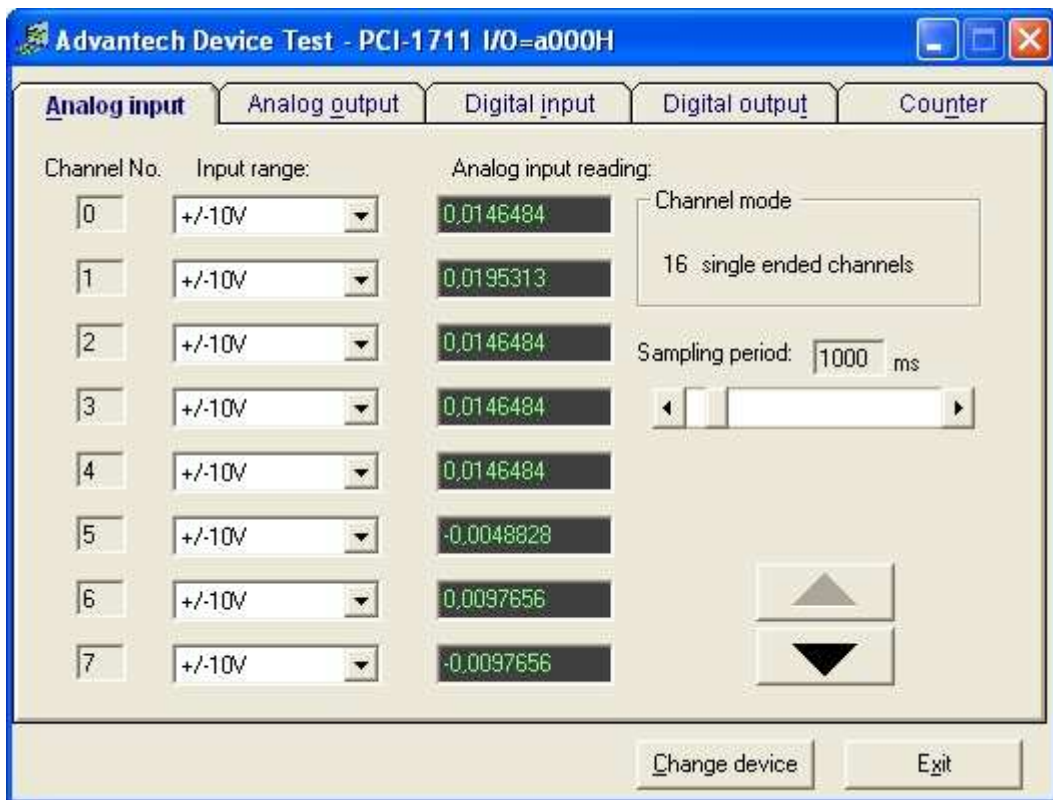
Pro potřeby této práce byla u firmy Advantech zakoupena karta PCI 1711, která slouží k zajištění vstupně/výstupní komunikace. Karta byla vložena do PCI slotu počítače.

Pro správnou funkci karty ve Windows XP bylo zapotřebí nainstalovat *Advantech Device Manager* pro Windows XP (viz. obr. 18), který je určen k testování funkčnosti karty. Poté se musí nainstalovat ovladač příslušné karty *Advantech Device Driver* pro Windows XP - PCI 1711.

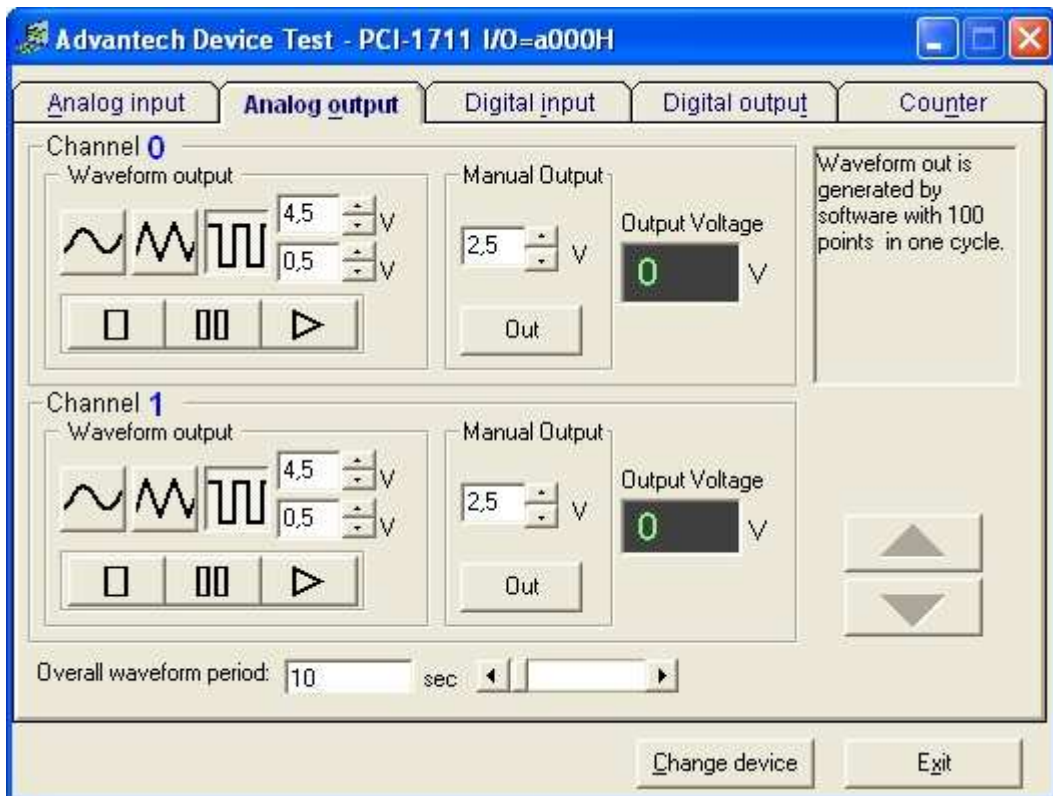


Obr. 18 okno programu Device Manager

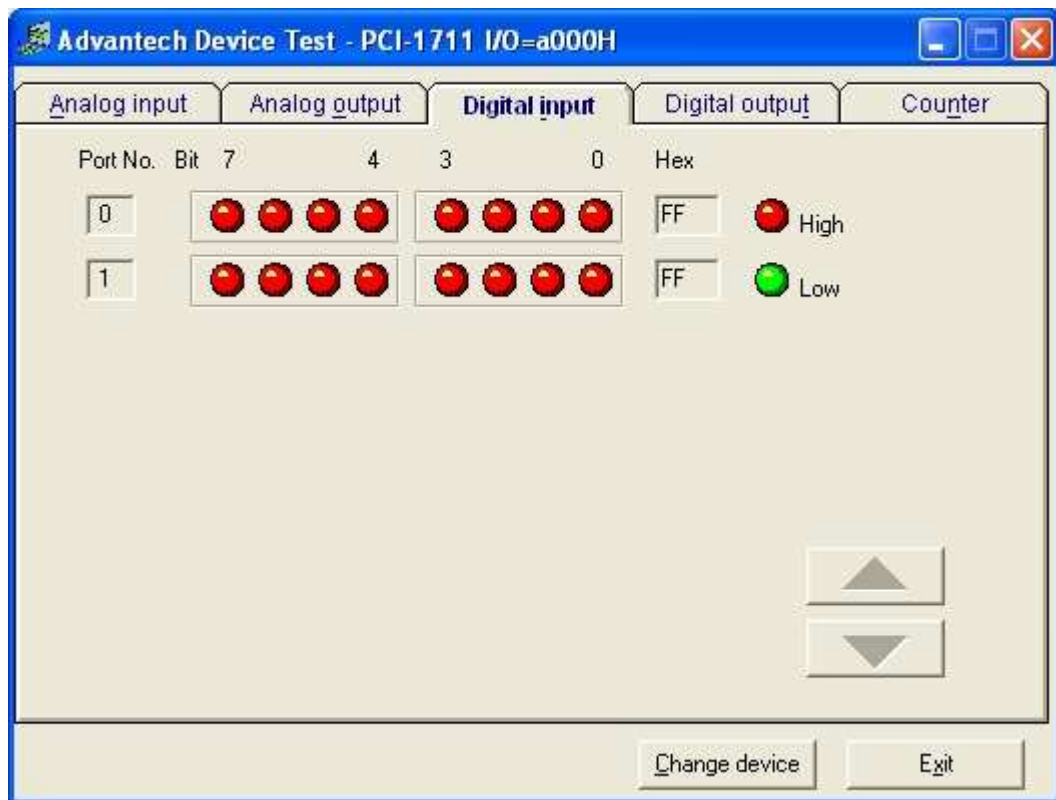
Po provedení instalace se karta zobrazí ve *Správci zařízení*. Spuštěním testu v *Device Manageru* můžeme vyzkoušet průběh komunikace jednotlivých kanálů viz. obr. 19, obr. 20 a obr. 21. Vstupní analogové napětí karty se dá softwarově nastavovat a mezní hodnoty se pohybují v rozmezí  $\pm 10\text{V}$ ,  $\pm 5\text{V}$ ,  $\pm 2.5\text{V}$ ,  $\pm 1.25\text{V}$ ,  $\pm 0.625\text{V}$ . Rovněž výstupní napětí se pohybuje v rozmezí hodnot  $-10 - 10\text{V}$ , ovšem už bez softwarového programování.



Obr. 19 Okno testu v Device Manager (analogový vstup)



Obr. 20 Okno testu v Device Manager (analogový výstup)



Obr. 21 Okno testu v Device Manager (digitální vstup)

V okně programu je vidět 5 záložek (analog input, analog output, digital input, digital output a counter), z nichž na každé je možno ověřit funkčnost všech daných vstupů nebo výstupů, popřípadě vnitřního čítače.

## 4.2 Instalace programu Control Web

Program CW byl dodán firmou Moravské přístroje a.s. Dodavatel nabízí program ve dvou verzích, *vývojovou* a *runtime* verzi. Pro tuto práci byla zvolena instalace vývojové verze tohoto programu, která umožňuje tvorbu nového prostředí. Runtime verze je určena ke spuštění již hotové aplikace, neumožňuje žádné změny.(10) Po úspěšném provedení instalace CW je zapotřebí ještě nainstalování ovladačů podporujících komunikaci mezi prostředím (CW) a kartou (Advantech). Ty byly opět dodány firmou Moravské přístroje a.s.

Jedná se o následující ovladače:

- *ovladač pro pomalé děje* (perioda vzorkování u analogových vstupů do 200 ms tj. 5 Hz) verze 4.1

- *ovladač pro rychlé děje* (vzorkovací frekvence řádově desítky kHz) verze 4.3 (11)

Po ukončení instalace CW a jednotlivých ovladačů lze spustit zkušební program pro ověření funkčnosti komunikace, které jsou součástí instalačního programu. Cesta k adresářům daných ovladačů je C:/ProgramFiles/ControlWeb/Exemples/ADVPCI (pro pomalé děje) a ADVBUF (pro rychlé děje). Tato cesta je již předdefinována při instalaci CW, ale může být i uživatelem změněna. (6)

#### 4.2.1 Ovladač ADVPCI pro pomalé děje

Ovladač je koncipován jako univerzální nástroj pro všechny PCI karty. Může obsluhovat jednu nebo několik PCI karet. Pro konkrétní použití se konfiguruje prostřednictvím parametrického souboru. Jedná se o textový soubor s přehledným dělením jednotlivých částí do sekcí. Názvy jednotlivých sekcí musí být jedinečné.

Protože jsem v rámci bakalářské práce využíval převážně rychlých dějů, je z tohoto důvodu věnována pozornost ovladačům pro rychlé děje.(10)

#### 4.2.2 Ovladač ADVBUF pro rychlé děje

Ovladač ADVBUF je určen pro rychlé čtení dat z měřicích karet od firmy Adventech a k přenosu těchto hodnot prostřednictvím kanálu typu *buffer* do aplikace systému CW. Pro spuštění převodu hodnot z analogových vstupů se využívá hardwarové přerušení. Kromě toho ovladač umožňuje číst analogové a digitální vstupy karty a nastavovat analogové a digitální výstupy karty. Ke své činnosti ovladač vyžaduje nainstalovanou a správně nakonfigurovanou programovou podporu od firmy Advantech (verze 1.3 a vyšší). (10)

##### 4.2.2.1 Činnost ovladače

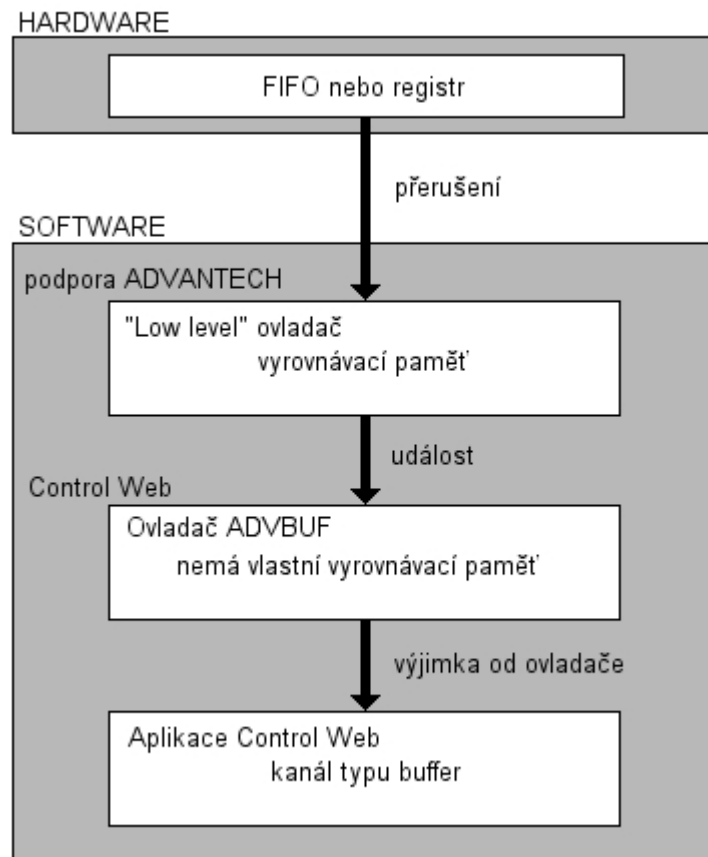
Karta vzorkuje vstupní signál z jednoho nebo několika vstupů zadanou vzorkovací frekvencí. K tomu je využit programovatelný časovač, který je umístěn přímo na měřicí kartě. Rozsah vzorkovací frekvence se dá programově měnit.

Rozsah (zpravidla jeho horní limit) je dán typem měřicí karty. Maximální frekvence vzorkování dosahuje řádově *desítky kHz*. Pokud se měří víc vstupů najednou, je v jedné

periodě časovače změřen jeden vstup. Vzorkovací frekvence pro jeden vstup je tedy rovna nastavené vzorkovací frekvenci časovače vydělené počtem měřených vstupů.

$$\text{Vzorkovací frekvence} = \frac{\text{vzorkovací frekvence časovače}}{\text{počet měřených vstupů}}$$

Pro každý vstup je možno nastavit zvlášť zesílení, pokud to karta umožňuje. Změřená data se ukládají do vyrovnávacích pamětí, které mají několik úrovní (viz. obr. 22).



Obr. 22 Paměť ovladače

Na nejnižší úrovni se naměřený vzorek dat uloží buď do registru nebo do FIFO paměti. Velikost FIFO paměti má zpravidla pevnou délku, typicky 1024 vzorků. Karta vygeneruje přerušovací signál na základě změřených hodnot buď jedné hodnoty (bez FIFO) nebo když se zaplní první nebo druhá polovina paměti FIFO. (10)

Přerušení zachytí operační systém a předá řízení ovladači, který je zpracuje. Je to tzv. low-level ovladač (ovladač na nízké úrovni), se kterým spolupracuje přímo jádro operačního systému. Tento ovladač se dodává a je nainstalován jako součást podpory firmy Advantech.

Ovladač plní funkci prostředníka mezi aplikací a low-level vrstvou. Alokuje paměť pro nižší vrstvu, zpracovává požadavky aplikace a plní data do kanálu typu *buffer* v aplikaci. Dále volá funkce pro čtení digitálních vstupů a zápis do digitálních a analogových výstupů. Z aplikace je možno ovladač řídit buď pomocí vyhrazených kanálů nebo pomocí procedur ovladače. Převod je spuštěn na základě požadavku aplikace. Postupně dochází k plnění *buffer* kanálu tak, že hardwarová vrstva přečte data do registru nebo zaplní část FIFO paměti. V obsluze přerušení se plní vyrovnávací paměť low-level ovladače. Jakmile se tato vyrovnávací paměť zaplní do poloviny nebo celá, vznikne událost, na kterou čeká vyšší vrstva ovladače. Data jsou takto postupně přenesena do kanálu (typu *buffer*) v aplikaci.

V tomto okamžiku mohou být také zachyceny aktuální hodnoty z analogových vstupů a dále je možno fyzicky ukončit převod (byla-li předtím vyvolána operace pro zastavení převodu). Když je *buffer* kanál naplněn, ovladač vygeneruje do aplikace výjimku, která je zpracována některým z virtuálních přístrojů. (10)

#### 4.2.2.2 Druhy měření, spuštění převodu a nastavení

Pro získávání dat z měřicí karty existují dva režimy. Volba režimu se děje prostřednictvím nastavení v parametrech ovladače.

- *Spojité převod* se odstartuje povelom z aplikace. Postupně dochází k plnění *buffer* kanálu. Jakmile je naplněn, vygeneruje se výjimka od ovladače. Při jejím zpracování dochází zároveň k novému plnění vnitřní vyrovnávací paměti a následně *buffer* kanálu. Při jeho naplnění se vygeneruje nová výjimka od ovladače. Tento cyklus pokračuje dokud není převod ukončen povelom z aplikace.
- *Jednorázový převod* se také odstartuje povelom z aplikace. Postupně se plní *buffer* kanál a jakmile je ukončen, je převod zastaven a generuje se výjimka od ovladače. Nový převod se spustí novým povelom z aplikace.



Spojitý i jednorázový převod může být spuštěn jedním ze třech způsobů:

- *Externě* - spouštění pomocí signálu připojeného na zvláštní vstup karty.
- *Programově* - ke spuštění převodu do *bufferu* dojde okamžitě po zadání požadavku na převod.
- *Napětovou úrovní* - ke spuštění převodu do *bufferu* dojde po zadání požadavku, ale až když napětí na vybraném vstupu dosáhne definované hodnoty a směru.

Ovladač si nastavuje většinu svých parametrů automaticky podle definice *buffer* kanálu v aplikaci. Pouze režim činnosti a parametry měření, jako je vstupní zesílení a vzorkovací frekvence, je třeba definovat v jeho souboru parametrů.

U externího způsobu spouštění je nutno definovat *timeout* parametr. Typ dat *buffer* kanálu je určen jejich definicí v aplikaci. Přípustné jsou pouze typy *cardinal* (16 bitů bez znaménka) nebo *shortreal* (real 4 byte). Jinak je při startu aplikace vypsáno chybové hlášení. (10)

#### 4.2.2.3 Parametry a kanály ovladače

Činnost a chování ovladače se dá ovlivnit nastavením jeho parametrů. Ty se zapisují do souboru (textový soubor upravitelný běžným textovým editorem), který se zadává v definici ovladače v aplikaci systému CW.

Parametry mohou být rozděleny do několika skupin - sekcí. Každá sekce má svoje jméno uvedené v hranatých závorkách a dále seznam několika parametrů tvořených jménem, oddělovacím znakem (rovnítko) a jednou nebo více hodnotami parametru.

Ovladač ADVBUF v současné době používá jedinou sekci - Sekce [Settings]. Tato sekce obsahuje veškeré parametry pro nastavení ovladače. Pomocí nich nastavuje číslo zařízení (měřicí karty v počítači), zesílení jednotlivých vstupů, režim činnosti ovladače, periodu vzorkování, způsob spuštění převodu a velikost vyrovnávací paměti. Současné použití některých parametrů se vzájemně vylučuje nebo ovlivňuje. Proto je nutné znát přípustné kombinace parametrů a z toho odvodit jejich optimální nastavení. Ovladač má pevnou množinu kanálů, která se vztahuje k právě otevřenému zařízení. Kanály je možno rozdělit podle funkce do několika skupin:

- Přenos hodnot z/do ovladače
- Řízení činnosti ovladače
- Získání stavových informací o ovladači

Typy kanálů ovladače a čísla kanálů, která jsou volitelná, jsou obsaženy v mapovacím souboru. Jedinou výjimku tvoří kanály analogových vstupů, a to jak *buffer* kanály, tak kanály s aktuálními hodnotami. U těch jsou přípustné pouze již zmiňované typy *cardinal* nebo *shortreal*. (6)

## 4.3 Postup vytvoření aplikace

### 4.3.1 Virtuální přístroje

Při tvorbě nové aplikace v CW se spuštěním programu zobrazí průvodce, ve kterém se zvolí typ a důležité vlastnosti a parametry nově tvořené aplikace. Záložka *Grafický editor* v aplikaci slouží k vizualizaci virtuálních přístrojů, které jsou při práci používány. Všechny možnosti výběru jednotlivých virtuálních přístrojů (dále jen přístroje) se nalézají v *Paletě přístrojů*.

V rámci této práce byly použity následující přístroje:

Meter, control, buffer displej, switch, indikátor, archiver, label, multilabel, box.

U těchto přístrojů se upraví jejich velikost a zvolí vyhovující mód. Jakmile jsou přístroje graficky upraveny, definují se v *Datových inspektorech* proměnné. Každá proměnná má nějaký datový typ tzn. druh dat, které uchovává. Díky těmto proměnným jsou podle požadavků uživatele propojeny dané virtuální přístroje.

### 4.3.2 Propojení virtuálních přístrojů a práce s ovladači

Po definici proměnných se uživatel opět vrací do *Grafického editoru*, kde u zvoleného virtuálního přístroje z palety přístrojů např. control definuje *output* jako danou proměnnou a u druhého přístroje např. meter volí tutéž proměnnou jako *expression*. Pro správnou funkci přístrojů je ještě nutné nadefinovat *timer* (časovač nebo časový krok). Jedná se o periodu vzorkování, která může nabývat hodnoty v intervalu:

- 0,2, což je nejmenší perioda 200 ms daná kartou PCI 1711 nebo

- infinite – nekonečno.

Toto je nejjednodušší možný popis propojení virtuálních přístrojů. V této fázi lze spustit tuto jednoduchou aplikaci a ověřit si tak správnost propojení a funkčnost přístrojů. Propojovat virtuální přístroje můžeme i naprogramováním procedur. Tento způsob už je však poněkud složitější, na druhou stranu nám poskytuje větší možnosti.

Další součástí práce je definování ovladačů v Datových inspektorech. Pro tuto práci jsou definovány dva ovladače (je ale využíván pouze ten druhý):

- pro normální děje – Advantech PCLabCard verze 4.1
- pro rychlé děje - Advantech PCLabCard verze 4.3

Těmto ovladačům se přiřadí jméno a nadefinují se mapovací a parametrické soubory. Parametrické soubory slouží ke konfiguraci ovladače (nastavení komunikace se vstupně/výstupním zařízením, mapování kanálů do paměti vstupně/výstupního zařízení pomocí mapovacího souboru, další informace ovlivňující funkčnost ovladače). (6)

### 4.3.3 Práce s kanály

V mapovacích souborech je uložena informace o typech a směrech všech kanálů, které jsou spojeny s daným ovladačem. Jsou vždy textové a dají se editovat v *Datových inspektorech* v záložce *Ovladače*. Tyto soubory jsou umístěné v adresáři, kam byly nainstalovány dané ovladače.

Po definici ovladačů se následně definují kanály, taktéž na záložce *Datový inspektor*. Udává se zde jméno, ovladač, číslo, typ, směr a hodnota popř. *timeout* a poznámka. Hodnoty jsou zapisovány do výstupních kanálů a čtou se ze vstupních kanálů. (6)

V první fázi práce s *buffer* kanály je potřebné zvolit jejich velikost. U této aplikace je definováno osm kanálů na pevný počet vzorků 512 na jeden *buffer* kanál, celkem tedy 4096 vzorků.

U *buffer* kanálů jsou pro zobrazení potřebné *buffer displeje*, ale bohužel z nich není možné přímo archivovat hodnoty. Dokáží ale vyhodnotit průměrnou, maximální nebo minimální hodnotu. Proto je zapotřebí zavést, proměnnou do které se bude potřebná hodnota pravidelně ukládat, a poté je ji možno i bez problémů archivovat. Jestliže zvolíme k archivaci průměrnou hodnotu, částečně tím odstraníme i případné chyby měření.

Spuštění zmiňovaných *buffer* kanálů je možné jen v případě, je-li správně nainstalován ovladač pro rychlé děje. Při vývoji aplikace lze libovolně přidávat, odebírat nebo editovat kanály a to buď v textovém módu nebo v *Datových inspektorech*. Tato problematika je poněkud rozsáhlejší, proto odkazují na literaturu. (10)

#### 4.3.4 Výsledná aplikace

Na obr.23 je vyobrazena výsledná aplikace, která obsahuje údaje o teplotách na jednotlivých přechodech PN (smd diodách) a ty jsou ovlivňovány topným odporem. U topného odporu je možné nastavit jeho délku topení a mezeru, kdy je topný odpor bez budícího proudu. Napětí na topném odporu je konstantní a to 5.38V. Na *buffer displejích* (označených Buffer kanál 1.-8. přechodu PN) je možno při běhu aplikace vidět průměrné hodnoty napětí na jednotlivých přechodech PN, které jsou dále přepočítávány na teplotu.



Obr. 23 Výsledná aplikace v CW

Z aplikace je možné volit periodu vzorkování, ne však libovolně. Tato hodnota musí padnout do posloupnosti dané generátorem hodin na kartě. Při této práci se zadává perioda vzorkování jako násobky 64. Výchozí hodnota je nastavena na 4096 kvůli archivaci dat.

Pro archivaci naměřených hodnot je určen rámeček *archivace* ve spodní části aplikace. Archivace hodnot se spouští při stisku tlačítka Start (Měřím), umístěného v pravém dolním rohu. Snímané hodnoty T1 až T8 jsou archivovány do hlavního adresáře programu a do předem nadefinovaného a pojmenovaného souboru archivace *vys.xls*. Struktura archivace je koncipována jako tabulka, kde v každém sloupci jsou zaznamenány dané hodnoty, které jsou dále zpracovávány a vyhodnocovány v programu Excel.

Dále je na pravé straně aplikace v modrozeleném poli ovládní peristaltického čerpadla. Jeho výkon ovládáme napětíovou úrovní 0-5V. Při stisku tlačítka zastavení čerpadla se na analogovém výstupu, kterým je čerpadlo ovládáno, nastaví nulové napětí a tím se čerpadlo zastaví. Pro jeho další spuštění je nutné opět nastavit požadovanou úroveň napětí. Hmotnostní průtok (rámeček v modrozeleném poli) udávaný v ml/min je přímou úměrou nastavenému napětí.

V pravém horním rohu je vyobrazen čas běhu aplikace. Jak popisek napovídá je to čas od spuštění aplikace v CW, je udáván v sekundách.

## 5 ELEKTRICKÝ OBVOD PRO MĚŘENÍ TEPLoty POMOCÍ PN PŘECHODU A NÁVRH KANÁLU

### 5.1 Popis výrobku

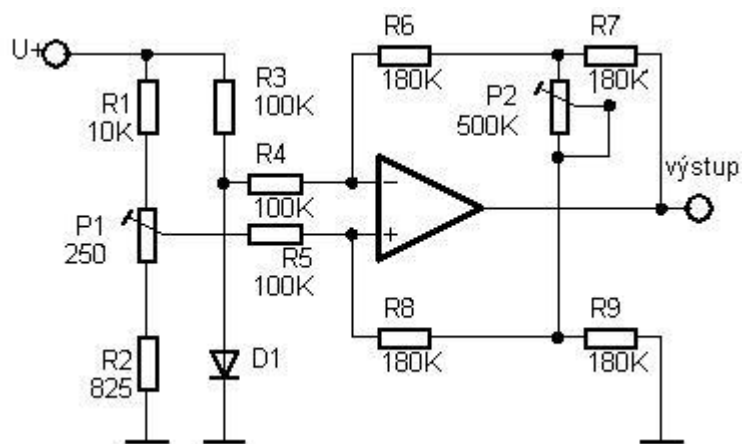
Navržený elektrický obvod slouží pro vyhodnocování okamžitých hodnot teploty pro osm polovodičových přechodů. Základem je jednoduchý převodník teplota-napětí s diodou jako teplotním čidlem. Tepelná závislost napětí na polovodičovém přechodu v propustném směru se mění asi o 2,2mV na každý °C. Popsaný výrobek je vyobrazen na obr. 24



Obr. 24 Vyrobenný elektrický obvod na plošném spoji

#### 5.1.1 Konstrukce

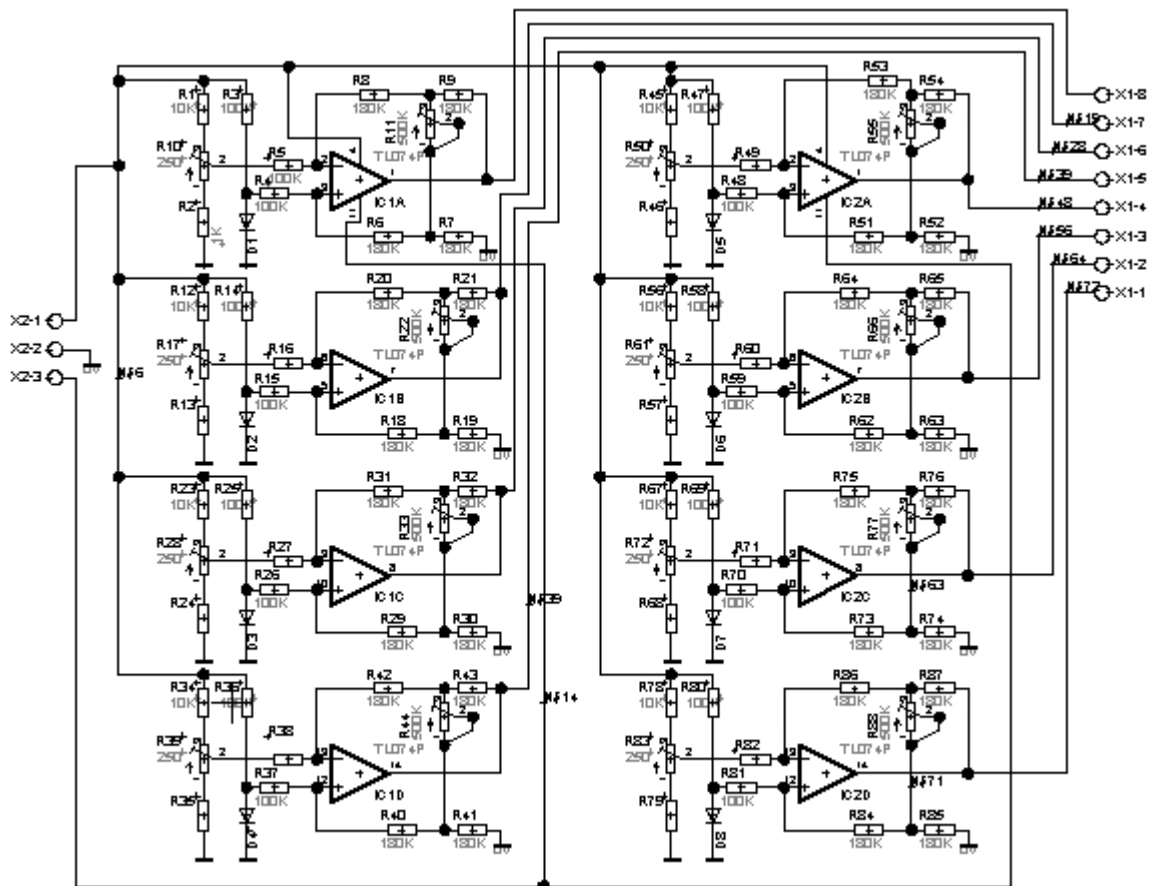
Použité smd diody 1N4148 jsou napájeny přibližně konstantním proudem 100 $\mu$ A, procházejícím rezistorem R3 (viz obr.25).



Obr. 25 Schéma zapojení převodníku teplota-napětí

Rezistory R1, R2 a P1 kompenzují úbytek napětí na diodě. Odporovým trimrem P1 nastavíme na výstupu 0V pro teplotu 0°C, v našem případě pro teplotu okolí (přibližně 20°C). Změny napětí jsou zesilovány rozdílovým zesilovačem, jehož zesílení je asi 5. Trimrem P2 nastavíme zesílení tak, aby se na výstupu převodníku napětí měnilo o 10mV na každý °C.(12)

Jelikož bylo potřeba sledovat napětí na osmi polovodičových přechodech, bylo nutné zhotovit tento převodník pro osm smd diod jak ve vidět na schématu zapojení na obr.26.



Obr. 26 Celkové schéma zapojení převodníku teplota-napětí pro 8 diod.

Napájení elektrického obvodu je symetrickým napětím  $\pm 5V$ , a zpracovávané signály jsou vztaženy ke středu napájecího napětí, který chápeme jako zem.

### 5.1.2 Návrh plošného spoje

Celý obvod je realizován na plošném spoji, který má rozměr 100x80 mm. Pro návrh jsem použil freeware verzi programu Eagle 4.16r2, který slouží přímo k těmto účelům, obsahuje část pro tvoření schémat (*schematic*) a část pro tvoření plošných spojů

(*board*). Také zde můžeme upravovat prvky v rozsáhlé knihovně (*library*). Jelikož jsem v knihovnách programu nenašel potřebné velikosti pájecích bodů u některých součástek, bylo nutné v již zmiňovaném programu na úpravu knihovny, který je součástí programu Eagle, tyto součástky (jejich pouzdra) změnit. Teprve poté jsem je mohl aplikovat do projektu.

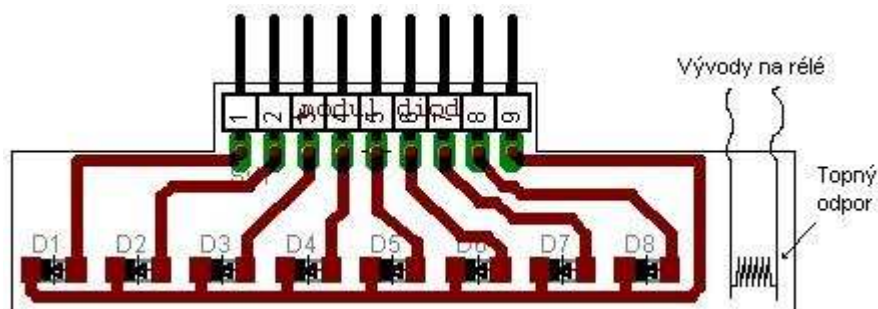
Protože na fakultě aplikované informatiky UTB ve Zlíně, kde byl plošný spoj vyroben, není dostupná technologie pro výrobu oboustranného plošného spoje, je obvod zhotoven pouze na jednostranné desce a zbylé propoje jsou vytvořeny ze strany součástek. Deska plošného spoje *modulu pro měření teplotní závislosti pomocí diod* je vyobrazena v příloze P II.

Pro návrh plošného spoje byly použity tyto součástky:

1. Rezistor  $10\text{K}\Omega$  (8x)
2. Rezistor  $100\text{K}\Omega$  (16x)
3. Rezistor  $180\text{K}\Omega$  (32x)
4. Rezistor  $720\Omega$  (8x)
5. Trimr  $250\Omega$  (8x)
6. Trimr  $500\text{K}\Omega$  (8x)
7. Dioda 1N4148 smd (8x)
8. Svorkovnice AK500/8 (1x)
9. Svorkovnice AK500/3 (1x)
10. Operační zesilovač TL074CN (2x)

Pro lepší manipulaci a hlavně pro použití v kanále jsou diody umístěny zvlášť na desce plošných spojů (obr.27). Propojení mezi *modulem diod* a *modulem pro měření teplotní závislosti pomocí diod* je realizováno plochým asi 10cm dlouhým kabelem zakončeným konektorem PIN HEADER MA09-1W.





Obr. 27 Plošný spoj modulu diod

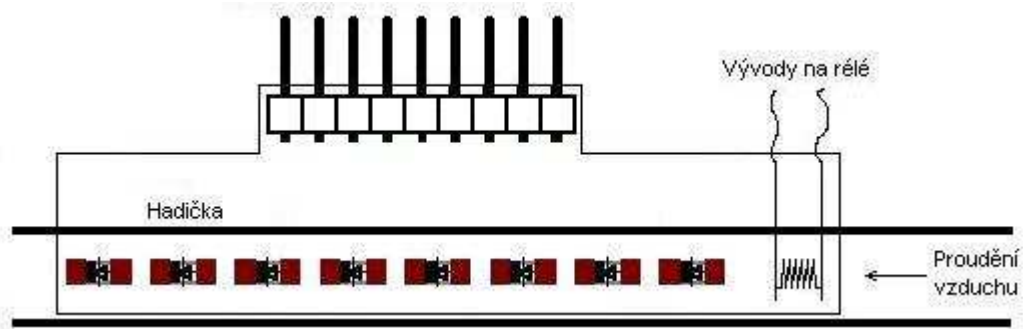
Velikost plošného spoje *modulu diod* je přibližně 65x17mm. Topný odpor (asi 7,5Ω) je vyroben z odporového drátku navinutého na průměr 1,5mm. Je buzen proudem asi 0,7A při napětí 5,3V, které je spínáno přes relé.

### 5.1.3 Oživení

Po připojení převodníku, včetně modulu diod, ke stejnosměrnému napájecímu napětí  $\pm 5,38V$  se na výstupních svorkách objevilo napětí, které se po zahřátí diod měnilo řádově o desítky až stovky mV. Trimry o hodnotě 250Ω jsem dostavil výstupní napětí na nulovou hodnotu. Vznikl zde však problém. Vstup osmého operačního zesilovače byl zahlcen rušivým napětím které se zřejmě nakmitalo na delších drátových přípojkách ze strany součástek. Bylo nutné toto napětí odfiltrovat. Situaci jsem vyřešil připájením keramického kondenzátoru o hodnotě 100nF mezi vývod potenciometru P1 a zem. Poté vše pracovalo bez jakýchkoliv problémů.

## 5.2 Vytvoření kanálu

K vytvoření kanálu jsem použil hadičky vyrobené z plastu s vnitřním průměrem 6mm. Pomocí žiletky jsem ji podélně (přibližně 70mm) prořízl ve spodní části, aby byly diody uprostřed. Modul (jeho část s diodami a topným odporem) je zasunut do hadičky tak, aby topný odpor byl první a za ním diody (obr.28). Je tak učiněno z důvodu proudění vzduchu. Zbylé netěsnosti jsem zalepil elektrikářskou páskou, aby nedocházelo k únikům tepla a proudícího vzduchu.



Obr. 28 Vytvořený kanál

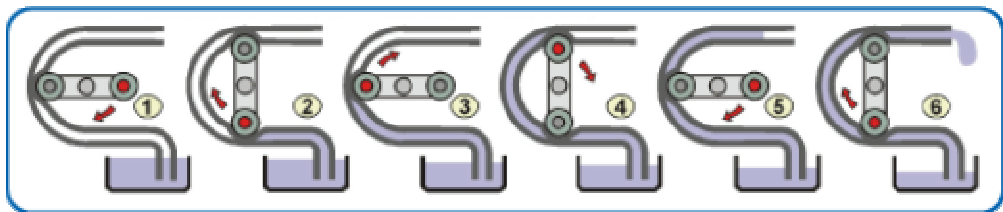
### 5.3 Peristaltické čerpadlo

Vzhledem k tomu že je nutné do vytvořeného kanálu s diodami a topným odporem vhánět plyn, bylo pro tento účel zvoleno peristaltické čerpadlo.

Peristaltická dávkovací čerpadla využívají obecného principu rotační peristaltiky. Tím, že ke styku s čerpaným médiem dochází pouze prostřednictvím čerpací hadičky, je zajištěna těsnost a snadná dekontaminace. Volbou vhodného materiálu hadičky je možno dosáhnout široké chemické kompatibility. Tímto čerpadlem byl plyn vháněn do vytvořeného kanálu.

#### 5.3.1 Princip činnosti peristaltického čerpadla

Na následujícím obrázku (viz. obr. 29) je znázorněn princip činnosti peristaltického čerpadla.



Obr. 29 Princip činnosti peristaltického čerpadla

Čerpadla jsou samonasávací a jejich výkon je obecně dán vnitřním průměrem hadičky, otáčkami a průměrem a počtem kladiček rotoru. Nasávání čerpadla je limitováno pružností hadičky (schopností udržet geometrický tvar - nezmačknout se). Sací výšku může také ovlivnit výkon čerpadla.


Nevýhodou peristaltických čerpadel je pulsující proud media, což je dáno zaškrcením hadičky kladičkou. To lze omezit vhodnou kombinací menšího průměru hadičky a vyšších otáček nebo pružnou hadičkou na výstupu čerpadla s mírným zaškrcením na konci, případně zvýšením počtu kladiček (sníží se tím ovšem podstatně výkon čerpadla).

Určitým omezením je i životnost čerpací hadičky. Podle použitého materiálu hadičky a provozních podmínek je životnost cca 50 - 1000 hodin.(13)

### 5.3.2 PCD 61-E5V

Pro naše podmínky bylo použito čerpadlo s označením PCD 61. Technické údaje čerpadla PCD 61 jsou zobrazeny v tab. 2.

Tab. 2 Technické údaje čerpadla

	typ	PCD 61-E5V
	výkon čerpadla CV4	0,5-200 ml/min
	výkon čerpadla CV2	0,2-60 ml/min
	otáčky rotoru	0,5-220 ot/min
	stabilita otáček	Lepší než 1%
externí ovládání	0-5V ss	

Poznámka: CV X udává průměr hadičky v milimetrech.

Požadovaný výkon lze nastavit řídicím napětím 0 - 5 V lineárně v rozsahu 0 - 100% max. výkonu. Pro nastavení je využíván U/f převodník se vstupním odporem 100 k $\Omega$ . Pro omezení nebezpečí spuštění čerpadla v oblasti malých napětí je možno nastavit *offset* spuštění 0 - 0,5 V. Napájení je standardně ze sítě 230 V / 50 Hz. Je určeno pro běžné prostředí v izolační třídě 1 s krytím IP 20.

## 5.4 Sestavení měřícího zařízení

### 5.4.1 Komponenty pro sestavení měřícího zařízení

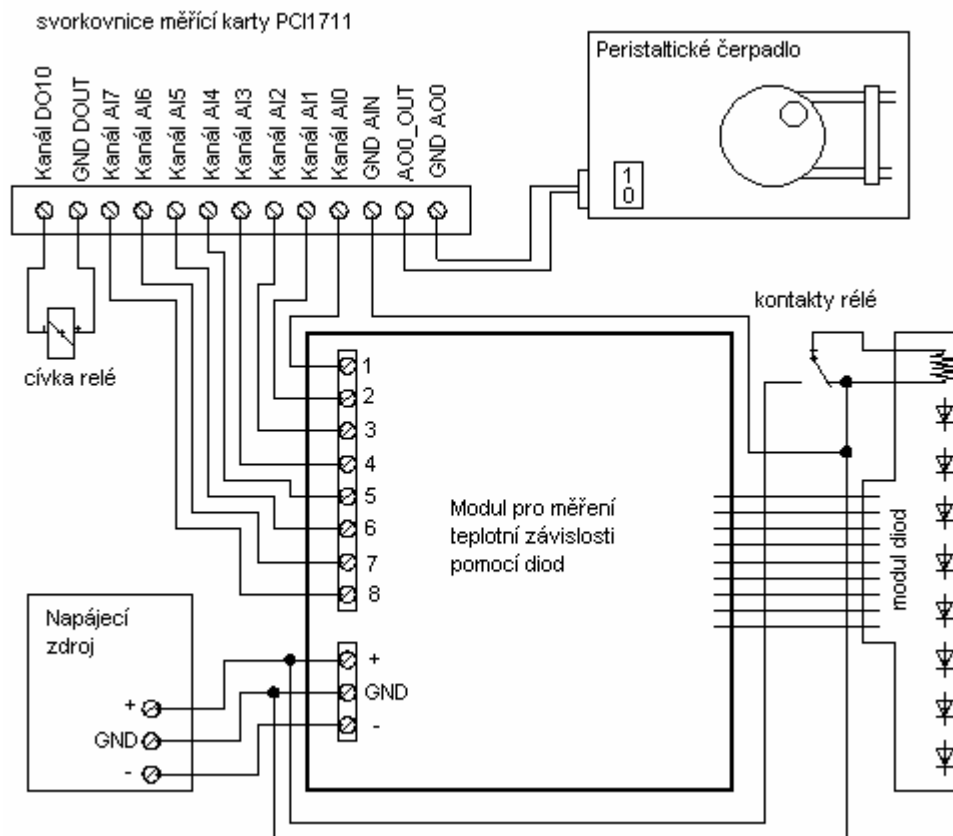
1. Kanál tvořený plastovou hadičkou
2. Modul pro měření teplotní závislosti pomocí diod
3. Modul diod
4. Stejnoseměrné relé

5. Silikonová hadička
6. Peristaltické čerpadlo
7. Měřicí karta Advantech PCI1711
8. Software CW

#### 5.4.2 Postup sestavení měřícího zařízení

Při sestavování měřícího zařízení byly použity komponenty uvedené v předcházející kapitole. V první fázi vsuneme *modul diod* do již vytvořeného kanálu (viz kapitola 5.2), a poté jej propojíme pomocí konektoru s *modulem pro měření teplotní závislosti pomocí diod*. Vývody na svorkovnici modulu propojíme s měřicí kartou. Je nutné dbát na to, aby propoje byly kvalitní, protože výstupní napětí jsou velmi malá, i když jsou zesilovány operačním zesilovačem a případný brum, který by se mohl dostat na vstup zesilovače by způsoboval dosti velké chyby měření.

Jednotlivé vývody druhé svorkovnice připojíme ke zdroji stejnosměrného napětí. Napájecí napětí je závislé na typu OZ ( $\pm 5V$ ). V mém případě byl použit TL074CN jehož katalogový list je uveden v příloze P III. Drátové vývody, které vedou od topného tělíska z modulu diod, jsou připojeny na kontakty relé. Relé je opět ovládáno ze svorkovnice měřící karty. Propojení všech částí je vyobrazeno na obr.30.



Obr. 30 Blokové schéma celkového zapojení.

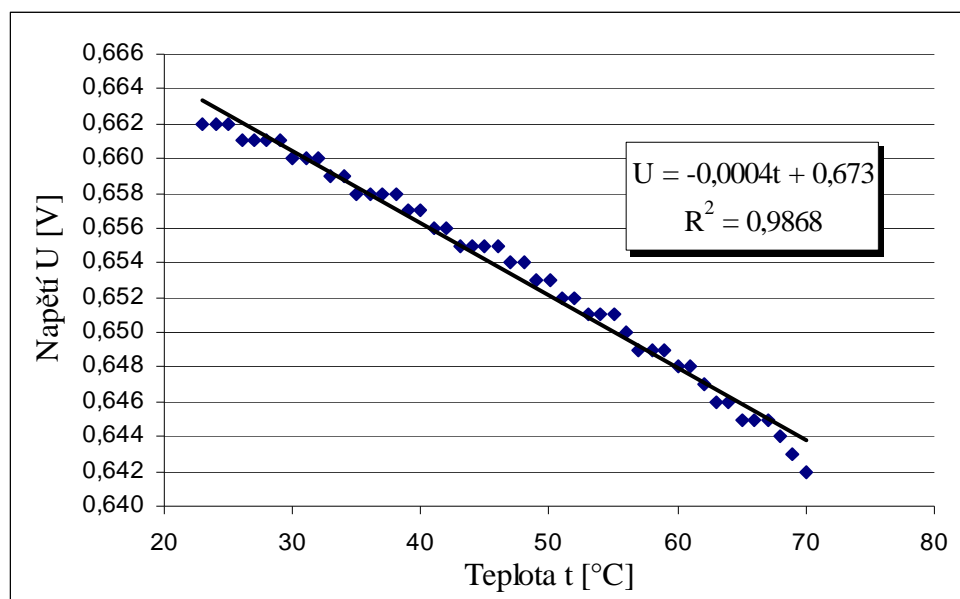
## 6 ZÁKLADNÍ MĚŘENÍ

V rámci této bakalářské práce byla ověřena teplotní závislost PN přechodu. Také bylo provedeno základní měření na realizovaném obvodu.

### 6.1 Ověření teplotní závislosti PN přechodu

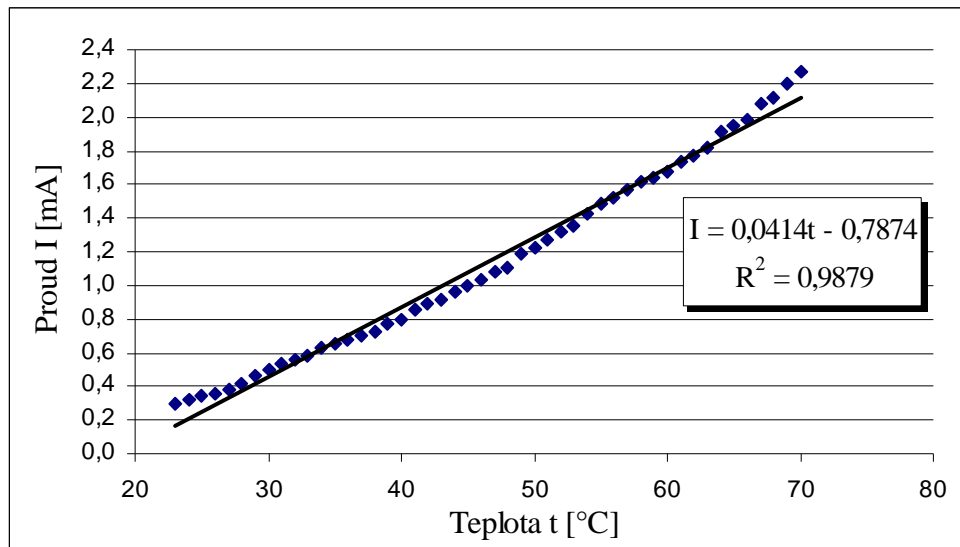
Před měřením na vytvořeném elektrickém obvodu jsem napřed ověřil teplotní závislost PN přechodu. Použil jsem již několikrát zmiňované smd diody. Nevýhodou však je, že dioda má skleněný obal, který částečně brání průniku tepla k samotnému PN přechodu a tudíž je reakce na přiváděné teplo určitým způsobem omezená.

Diodu zapojenou v propustném směru jsem zahříval pájkou a teplotu sledoval na digitálním multimetru s teplotní sondou. Měření jsem prováděl pro vzestupnou teplotu (ohřívání). Výsledné křivky jsou uvedeny v grafu 1 a 2.



Graf 1 Závislost napětí na teplotě diody

Z grafu 1 je patrné, že se napětí při změně teploty pohybovalo jen velmi málo, řádově o setiny voltů. Se vrůstající teplotou napětí klesá, protože vnitřní odpor se snižuje, proud naopak narůstá viz graf 2. Zde už je vidět větší nárůst proudu a to až o několik jednotek mA. Obě křivky jsou proloženy lineární regresí, aby byla vidět mírná nelinearita polovodičového přechodu.



Graf 2 Závislost proudu na teplotě diody

## 6.2 Měření na realizovaném zařízení

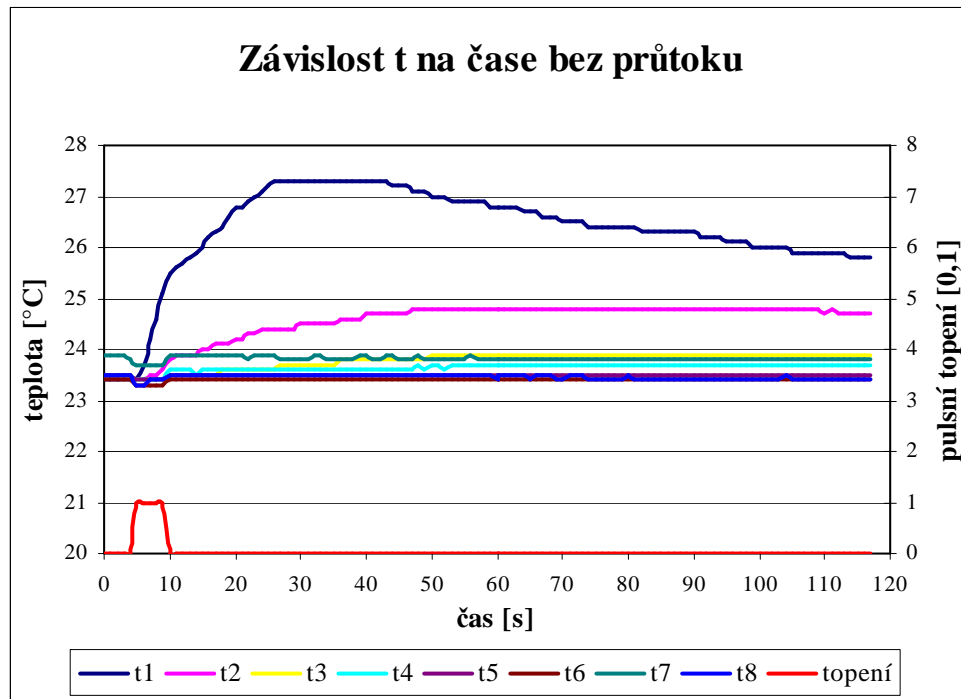
Měření byla prováděna pro proudící vzduch. Při jednotlivých měřeních bylo vždy nutné změřit teplotu tohoto vzduchu. U peristaltického čerpadla PCD 61-E5V, které zajišťovalo proud vzduchu, byla pro měření použita silikonová hadička s označením CV4. Průtok plynu bylo možné nastavit v rozsahu od 0,5 ml/min do 200 ml/min. Proudící vzduch byl ohříván topným odporem, který byl buzen proudovými impulsy. Impulsy je možné nastavovat přímo z běžící aplikace. Nejkratší možný čas impulsu je 0,1s.

Při měření byly použity také tyto měřicí přístroje:

1. Napájecí zdroj Z5, 5V/3A, ZPA Brno
2. Regulovatelný napájecí zdroj TESLA BK127
3. Digitální multimetr METEX M-3890D USB
4. Peristaltické čerpadlo PCD61-E5V
5. Svorkovnice ADAM 3968 SCSI 68P a karta Advantech PCI 1711
6. Vytvořené prostředí v programu Control Web 2000
7. Relé P-5, 1A/30VDC, 0,5A/125VAC
8. Plošný spoj převodníku teplota-napětí včetně modulu diod a kanálu

### 6.2.1 Výsledné grafy pro různé průtoky vzduchu

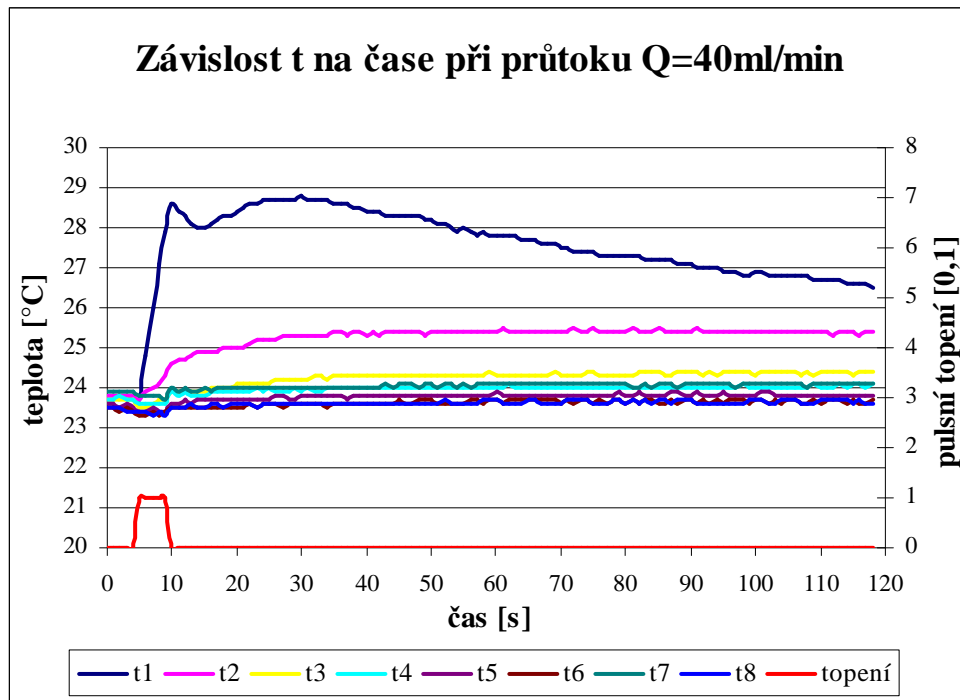
V následujícím grafu (graf 3) jsou zaznamenány hodnoty závislosti teploty jednotlivých přechodů PN na čase. Peristaltické čerpadlo bylo vypnuto - nulový průtok vzduchu. Měření bylo prováděno při teplotě okolí 23°C



Graf 3 Závislost teplot t1-t8 na čase při nulovém průtoku

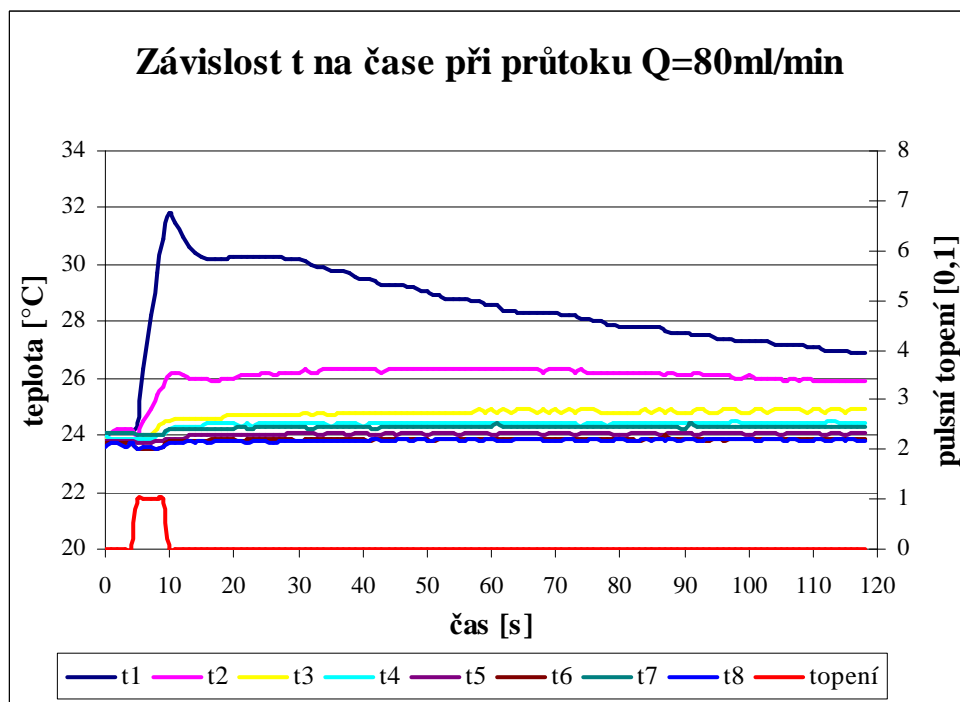
Na grafu můžeme vidět že 1. dioda zareagovala na změnu teploty téměř okamžitě, protože je umístěna těsně vedle topného odporu. Ostatní diody zaznamenaly změnu teploty jen velmi málo a až za delší dobu. V dalším měření jsem zapnul čerpadlo a nastavil průtok na 40ml/min. Použitím hadičky CV4 bylo zajištěno proudění vzduchu. Viz graf 4. Reakce diod se zvýšila, protože ohřátý vzduch se šířil větší rychlostí.





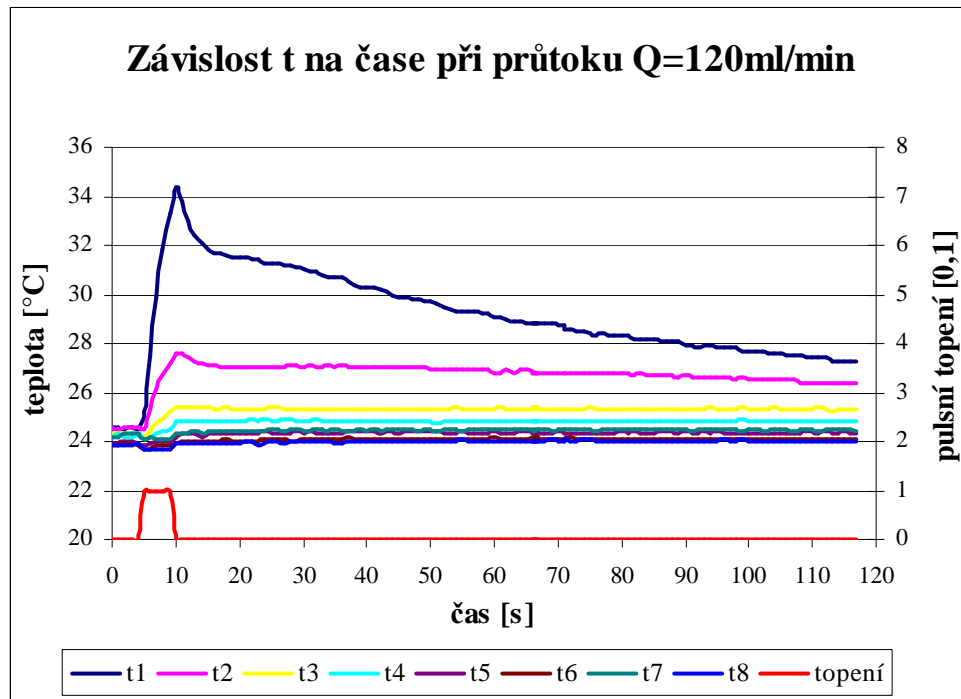
Graf 4 Závislost teplot t1-t8 na čase při průtoku  $Q = 40\text{ml/min}$

Na grafu 4 a 5 je reakce prvních diod poměrně rychlá, a také začínají reagovat ostatní diody na postupující teplo.



Graf 5 Závislost teplot t1-t8 na čase při průtoku  $Q = 80\text{ml/min}$

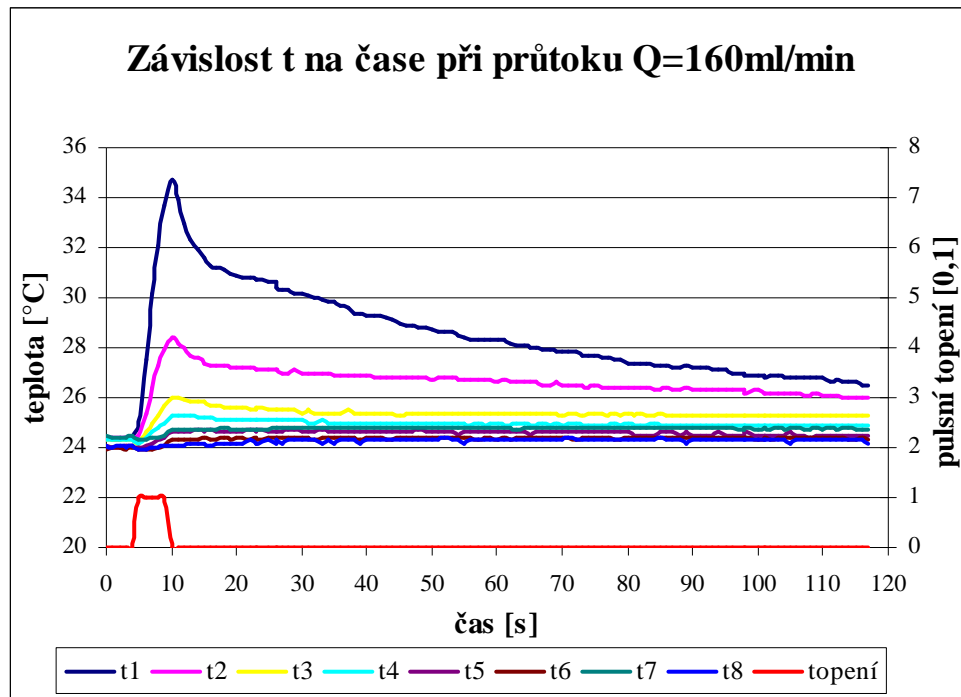
Nyní je průtok nastaven na 120ml/min. Teplo vyzařované od topného odporu se šíří kanálem a v grafu 6 je patrné že na něj začíná reagovat i čtvrtá dioda. První dioda zaznamená změnu teploty dokonce o 9,9 °C. Poslední diody ovšem zaznamenaly změnu teploty pouze o jednotky desetin °C.



Graf 6 Závislost teplot t1-t8 na čase při průtoku  $Q = 120\text{ml/min}$

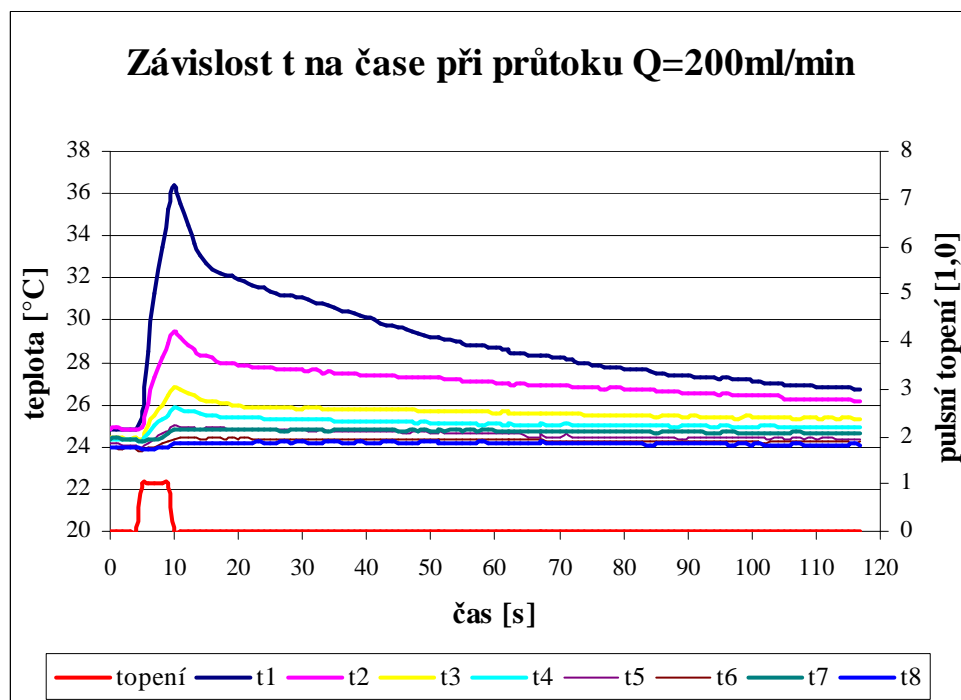
U 7 grafu, který znázorňuje závislost teplot diod na čase se teplota okolí vzrostla až na 24 °C. Průtok byl nastaven na 160 ml/min a doba topení stejně jako v ostatních měřeních byla nastavena na 5s, jak je patrné z grafů. Také můžeme vidět, že topení probíhá až 5s po startu měření. Je to z toho důvodu, aby bylo možné sledovat reakci diod při změně teploty v kanále, kde proudí vzduch.

Na grafu 8 je průtok největší, jaký je použité čerpadlo schopno dodat. Největší změna teploty byla dosažena na první diodě a to o 11,6 °C. Je zde vidět i nepatrnou změnu na poslední osmé diodě, která je vzdálena od topného odporu asi 50mm.



*Graf 7 Závislost teplot t1-t8 na čase při průtoku  $Q = 160\text{ml/min}$*

Jelikož ohřátý vzduch velmi rychle chladne vlivem proudění a okolí, je zřejmé že se žádné teplo, nebo jen velmi málo, na poslední diody nedostane a tudíž je jejich reakce malá.



*Graf 8 Závislost teplot t1-t8 na čase při průtoku  $Q = 200\text{ml/min}$*

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout a prakticky realizovat elektrický obvod sloužící pro vyhodnocování okamžitých hodnot teploty pro osm polovodičových přechodů a provést základní měření. K vizualizaci proudění tepla byly využity ovladače pro rychlé děje v prostředí Control Web.

V teoretické části byly z různých zdrojů zpracovány poznatky k problematice vlastností PN přechodu a jeho chování na změnu okolní teploty. Shrnuje také všeobecné informace o průtoku, jeho měření a přenos tepla v proudící tekutině. Dále se zabývá studiem programu Control Web 2000 a popisem jeho funkcí.

Praktická část se zabývá tvorbou aplikace v prostředí Control Web a popisem komponent které byly v aplikaci použity. Byl vytvořen elektrický obvod pro vyhodnocování teplot na jednotlivých diodách, které sloužily jako teplotní čidla. Pro obvod byl navržen plošný spoj na jednostranné desce a diody byly umístěny na samostatný plošný spoj z důvodu lepší manipulace a použití v navrženém kanále.

V práci jsou také graficky vyhodnoceny závislosti polovodičové diody na okolní teplotě a výsledky měření na elektrickém obvodu. Ke zhotovenému obvodu byl vytvořen topný odpor, který zajišťoval změnu teploty v kanále kde byl vháněn vzduch. Topný odpor byl pulzně zapínán a proudící vzduch vytvářelo peristaltické čerpadlo, u kterého je možné nastavit průtok v rozmezí od  $0,5 \text{ ml/min}$  do  $200 \text{ ml/min}$  při použití hadičky CV4.

Z ověřovacích měření vyplynulo, že realizované zařízení je schopno zachytit změnu teploty v poměrně krátkém čase, ale zdroj tepla musí být dostatečně silný na to, aby dokázal vyvinout teplo, které se dostane až k poslední diodě, nebo diody, které jsem použil, by se musely upravit tak, aby byly schopny ještě rychleji reagovat a přijmout více tepla, popřípadě je vyměnit za nějaké speciální. Dostí velký podíl na výsledných měřeních má také nastavený průtok na peristaltickém čerpadle. Čím je tento průtok větší, tím tepelná vlna postupuje rychleji a je zaznamenána i reakce diod vzdálenějších od zdroje tepla.

## FINISH

The goal of this thesis has been to propose and practically realise electric circuit, which is used for evaluation of instantaneous temperature value for eight semiconductor junctions, and to conduct basically measurement. To visualize of heat flow have been applied drivers for fast actions in an environment of software Control Web.

In the theoretical part has been elaborated knowledge about characteristics of semiconductor junction PN and theirs reactions to the changes of outdoor temperature. It summarizes general information about flow, measurement and heat transfer in running fluid. Furthermore this part concerns with a study of software Control Web 2000 and description of his functions.

Practical part specializes in a creation of application in environment Control Web and description of components, which were in this application used. It has been made an electric circuit for evaluation of temperature values on particular diodes, which serves as a heat sensor. For the circuit has been proposed the printed circuit on the one-sided board and diodes have been given on another printed circuit by reason of better manipulation and have been used in proposed channel.

In this thesis are graphically evaluated dependencies of semiconductor diode on outdoor temperature and the results of measurement on electric circuit. To the elaborated circuit has been manually prepared a heating resistance, which has ensure the temperature change in channel, where has been forced air. Heating resistance has been pulse turned on and the flowing air made peristaltic pump, by them is possible to set up flow; range 0,5 ml/min -200 ml/min by use of hose CV4.

From experimentally measurement ensued, the manually prepared device is available to catch the temperature changes in relatively short time, for condition enough strong heating source, which can put forth heat. This heat should get to the last diode or diodes, which I have used, they should be adapted for to be available more quickly respond and accept more heat or be changed for some especially ones. Fairly big proportion of resulting measurement has also regulated flow on peristaltic pump. The bigger is this proportion on the resulted measurement, the quicker thermal wave moves and is recorded the reaction of diodes in further from heating source.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] MAŤÁTKO, Jan. Elektronika. 2.vydání v IDEA SERVIS. Praha. 1997. ISBN 80-85970-20-1
- [2] *Polovodiče – fyzikální základy* [online]. [cit. 2007-03-29]. Dostupné z WWW: <[http://www.cez.cz/presentation/static/miniencyklopedie\\_elektriny/fyz9.htm](http://www.cez.cz/presentation/static/miniencyklopedie_elektriny/fyz9.htm)>
- [3] *Polovodičové součástky* [online]. [cit. 2007-03-29]. Dostupné z WWW: <<http://noel.feld.cvut.cz/vyu/eli/prednasky/ELI4-6.pdf>>
- [4] *Fyzika: elektrický proud v látkách* [online]. [cit. 2007-03-29]. Dostupné z WWW: <<http://fyzika.smoula.net/new/?show=mtf11>>
- [5] *Obecné vlastnosti diody* [online]. [cit. 2007-03-29]. Dostupné z WWW: <[http://www.amapro.wz.cz/tp2/tp\\_1/dioda/dioda\\_2.htm](http://www.amapro.wz.cz/tp2/tp_1/dioda/dioda_2.htm)>
- [6] HOLOTÍK, L. *Měření malých průtoků tekutin pomocí teplotních senzorů*. Diplomová práce. Zlín: UTB, 2006.
- [7] HRUŠKA, F. *Technické prostředky automatizace IV*. Zlín: UTB, FT, 2001. 107 s. ISBN 80-7318-026-X.
- [8] BAMBUCH, J. *Web vizualizace a řízení modelu teplotních soustav*. Diplomová práce. Zlín: UTB, 2003.
- [9] BÍLÝ, R., P. CAGAŠ, R. CAGAŠ, D. HLADOVKA, M. KOLAŘÍK, J. SOBOTÍK, M. ZÁLEŠÁK, Z. ZGARBA (1999). Katalog CONTROL WEB 2000, Praha, 1. vydání, s. 382, ISBN 80-7226-258-0.
- [10] MORAVSKÉ PŘÍSTROJE A.S. Dokumentace a software CW. [online]. [cit. 2007-01-29]. Dostupné z WWW: <<http://www.mii.cz/software/CW/CW.php>>
- [11] letáky firmy Moravské přístroje a.s.
- [12] BELZA, J. *Operační zesilovač pro obyčejné smrtelníky*. BEN technická literatura, Praha, 2004. ISBN 80-7300-060-1
- [13] ČERPADLA KOUŘIL. Peristaltické čerpadlo PCD 61. [online]. [cit. 2007-01-05]. Dostupné z WWW: <<http://cerpadlakouril.cz>>.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

A/D	Analog/digital. Analogově digitální převodník.
AC	Alternating current. Střídavý proud.
CD	Compact disc. Nosič dat.
CV	Označení průměru hadičky
CW	Control web. Kontrolní web.
DC	Direkt current. Stejnoseměrný proud.
FIFO	First In First Out. První dovnitř první ven.
GDI	Graphic device interface. Grafické rozhraní.
HTML	Hypertext markup language. Hypertextové značení jazyka.
HTTP	Hypertext transfer protocol. Hypertextový převáděcí protokol.
IP	International protection. Mezinárodní ochrana.
MMI	Man Machine Interface. Rozhraní člověk stroj.
PCI	Peripheral component interconnect. Vnější součást propojení.
PCL	Property change listener. Vlastnost změny sledování.
PLC	Programmable Logic Control. Programovatelné logické zařízení.
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition. Dohlížecí kontrola a získávání informací.
SMD	Surface mount device. Povrchová montáž.
SRAM	Synchronous Random Access Memory. Synchronní paměť s náhodným přístupem.
USB	Universal Serial Bus. Universální sériová linka.
UTB	Universita Tomáše Baťi
VACH	Volt – Ampérová Charakteristika
WWW	World Wide Web. Světově rozšířený web.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Pásovy model krystalu polovodiče .....	11
Obr. 2 Kovalentní vazba mezi atomy po přivedení energie ve formě záření (2).....	13
Obr. 3 Vznik nevlastní vodivosti typu N (2).....	14
Obr. 4 Vznik nevlastní vodivosti typu P (2) .....	14
Obr. 5 Přejít PN ve zpětném směru (3) .....	17
Obr. 6 Přejít PN v přímém směru (3) .....	18
Obr. 7 Schematická značka diody.....	18
Obr. 8 Voltampérová charakteristika diody (4) .....	19
Obr. 9 Vizuální porovnání tvarů křivek v propustném směru .....	20
Obr. 10 a) vliv teploty na tvar křivky v propustném směru b) důkaz většího proudu diodou při stejném úbytku napětí a rozdílných teplotách.....	21
Obr. 11 Porovnání průběhů závěrných proudů různých diod .....	22
Obr. 12 Teplotně značkovací senzor průtoku .....	25
Obr. 13 Záložky projektového okna .....	27
Obr. 14 Toolbar Control Webu.....	27
Obr. 15 Paleta virtuálních přístrojů.....	29
Obr. 16 Popis a vlastnosti nastavení přístroje.....	30
Obr. 17 Karta PCI 1711 s komponenty.....	34
Obr. 18 okno programu Device Manager .....	35
Obr. 19 Okno testu v Device Manager (analogový vstup).....	36
Obr. 20 Okno testu v Device Manager (analogový výstup).....	36
Obr. 21 Okno testu v Device Manager (digitální vstup).....	37
Obr. 22 Paměť ovladače .....	39
Obr. 23 Výsledná aplikace v CW.....	44
Obr. 24 Vyroběný elektrický obvod na plošném spoji.....	46
Obr. 25 Schéma zapojení převodníku teplota-napětí.....	46
Obr. 26 Celkové schéma zapojení převodníku teplota-napětí pro 8 diod.....	47
Obr. 27 Plošný spoj modulu diod .....	49
Obr. 28 Vytvořený kanál.....	50
Obr. 29 Princip činnosti peristaltického čerpadla.....	50
Obr. 30 Blokové schéma celkového zapojení.....	53



**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Výpočet odhadu nejistoty měřicí karty .....	33
Tab. 2 Technické údaje čerpadla.....	51

**SEZNAM GRAFŮ**

Graf 1 Závislost napětí na teplotě diody .....	54
Graf 2 Závislost proudu na teplotě diody.....	55
Graf 3 Závislost teplot $t_1$ - $t_8$ na čase při nulovém průtoku .....	56
Graf 4 Závislost teplot $t_1$ - $t_8$ na čase při průtoku $Q = 40\text{ml/min}$ .....	57
Graf 5 Závislost teplot $t_1$ - $t_8$ na čase při průtoku $Q = 80\text{ml/min}$ .....	57
Graf 6 Závislost teplot $t_1$ - $t_8$ na čase při průtoku $Q = 120\text{ml/min}$ .....	58
Graf 7 Závislost teplot $t_1$ - $t_8$ na čase při průtoku $Q = 160\text{ml/min}$ .....	59
Graf 8 Závislost teplot $t_1$ - $t_8$ na čase při průtoku $Q = 200\text{ml/min}$ .....	59

**SEZNAM PŘÍLOH**

PŘÍLOHA P I: Dokumentace karty advantech .....	68
PŘÍLOHA P II: Deska plošného spoje.....	69
PŘÍLOHA P III: Datasheet – TL074CN .....	70

# PŘÍLOHA P I: DOKUMENTACE KARTY ADVANTECH

## Specifications

### Analog Input

- Channels 16 Single-ended
- Resolution 12 bits
- Max. Sampling Rate\* 100 kS/s max.
- FIFO Size 1024 samples
- Overvoltage Protection 30 Vp-p
- Input Impedance 2 MΩ/5 pF
- Sampling Modes Software, onboard programmable pacer, or external
- Input Range (V, software programmable)

Bipolar	±10	±5	±2.5	±1.25	±0.625
Accuracy (% of FSR ±1LSB)	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4

#### \*Note:

The sampling rate and throughput depends on the computer hardware architecture and software environment. The rates may vary due to programming language, code efficiency, CPU utilization and so on.

### Analog Output (only for PCI-1711)

- Channels 2
- Resolution 12 bits
- Output Rate Static update
- Output Range (V, software programmable)

Internal Reference	Unipolar	0 ~ +5 V, 0 ~ +10 V
External Reference		0 ~ +x V @ -x V (-10 ≤ x ≤ 10)

- Slew Rate 11 V/μs
- Driving Capability 3 mA
- Output Impedance 0.81 Ω
- Operation Mode Software polling
- Accuracy INLE: ±1/2 LSB  
DNLE: ±1/2 LSB

### Digital Inputs

- Channels 16
- Compatibility 5 V/TTL
- Input Voltage Logic 0: 0.8 V max.  
Logic 1: 2.0 V min.

### Digital Outputs

- Channels 16
- Compatibility 5 V/TTL
- Output Voltage Logic 0: 0.8 V  
Logic 1: 2.0 V
- Output Capability Sink: 8.0 mA @ 0.8 V  
Source: -0.4 mA @ 2.0 V

### Pacer/Counter

- Channels 1
- Resolution 16 bits
- Compatibility 5 V/TTL
- Max. Input Frequency 10 MHz
- Reference Clock Internal: 10 MHz

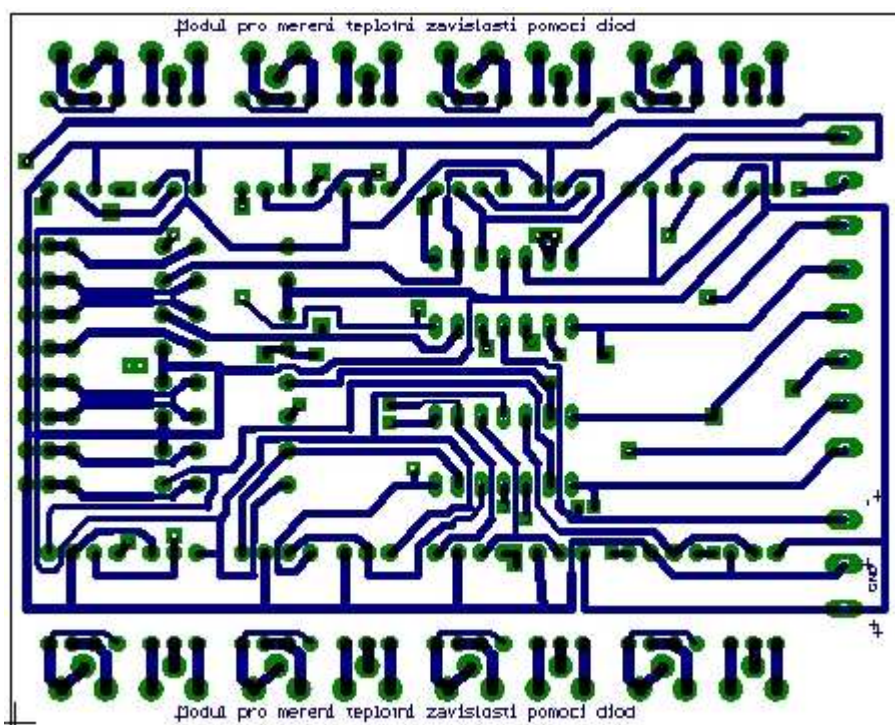
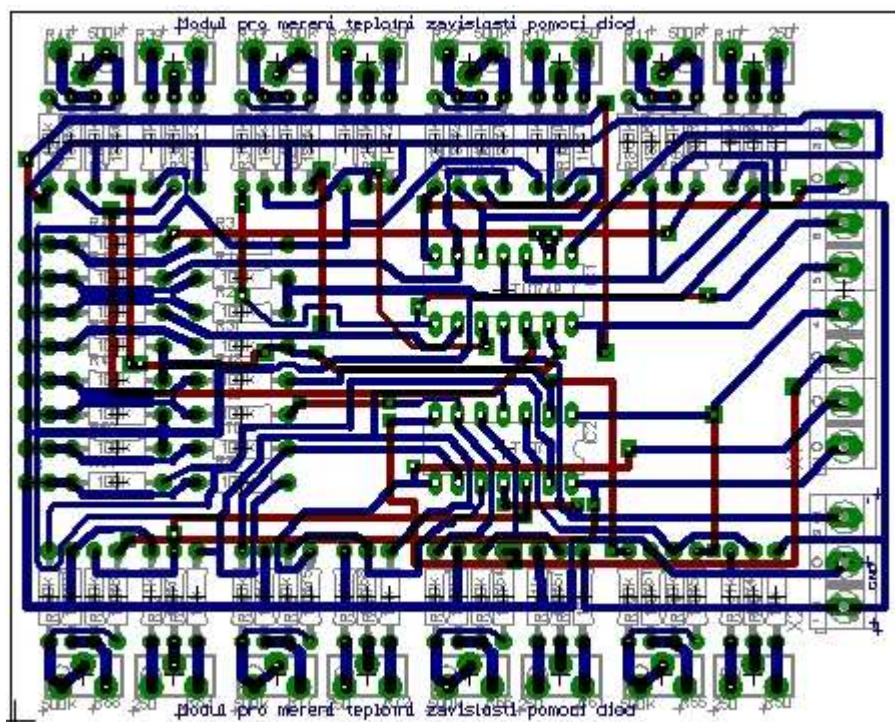
### General

- Bus Type PCI V2.2
- I/O Connector SCSI-68P female x 1
- Dimensions (L x H) 175 x 100 mm (6.9" x 3.9")
- Power Consumption  
PCI-1711: Typical: +5 V @ 850 mA  
Max: +5 V @ 1.0 A  
PCI-1711L Typical: +5 V @ 700 mA  
Max: +5 V @ 1.0 A
- Operating Temperature 0 ~ 60° C (32 ~ 140° F) (refer to IEC 68-2-1, 2)
- Storing Temperature -20 ~ 70° C (-4 ~ 158° F)
- Storing Humidity 5 ~ 95% RH non-condensing (refer to IEC 68-2-3)

## Pin Assignments

AI0	68	34	AI1
AI2	67	33	AI3
AI4	66	32	AI5
AI6	65	31	AI7
AI8	64	30	AI9
AI10	63	29	AI11
AI12	62	28	AI13
AI14	61	27	AI15
AI GND	60	26	AI GND
*A0L_REF	59	25	A0L_REF*
*A0L_OUT	58	24	A0L_OUT*
*A0GND	57	23	A0GND*
DI0	56	22	DI1
DI2	55	21	DI3
DI4	54	20	DI5
DI6	53	19	DI7
DI8	52	18	DI9
DI10	51	17	DI11
DI12	50	16	DI13
DI14	49	15	DI15
D GND	48	14	D GND
DO0	47	13	DO1
DO2	46	12	DO3
DO4	45	11	DO5
DO6	44	10	DO7
DO8	43	9	DO9
DO10	42	8	DO11
DO12	41	7	DO13
DO14	40	6	DO15
D GND	39	5	D GND
CNT0_CLK	38	4	PKCR OUT
CNT0_OUT	37	3	TRG_GATE
CNT0_GATE	36	2	EXT_TRG
+12V	35	1	+5V

## PŘÍLOHA P II: DESKA PLOŠNÉHO SPOJE



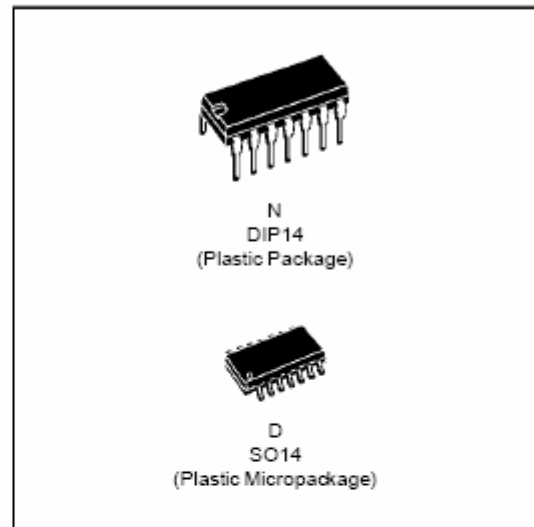
# PŘÍLOHA P III: DATASHEET – TL074CN



**TL074**  
**TL074A - TL074B**

## LOW NOISE QUAD J-FET OPERATIONAL AMPLIFIERS

- LOW POWER CONSUMPTION
- WIDE COMMON-MODE (UP TO  $V_{CC}^+$ ) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- LOW NOISE  $e_n = 15\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  (typ)
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- LOW HARMONIC DISTORTION : 0.01% (typ)
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE :  $16\text{V}/\mu\text{s}$  (typ)



### DESCRIPTION

The TL074, TL074A and TL074B are high speed J-FET input quad operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

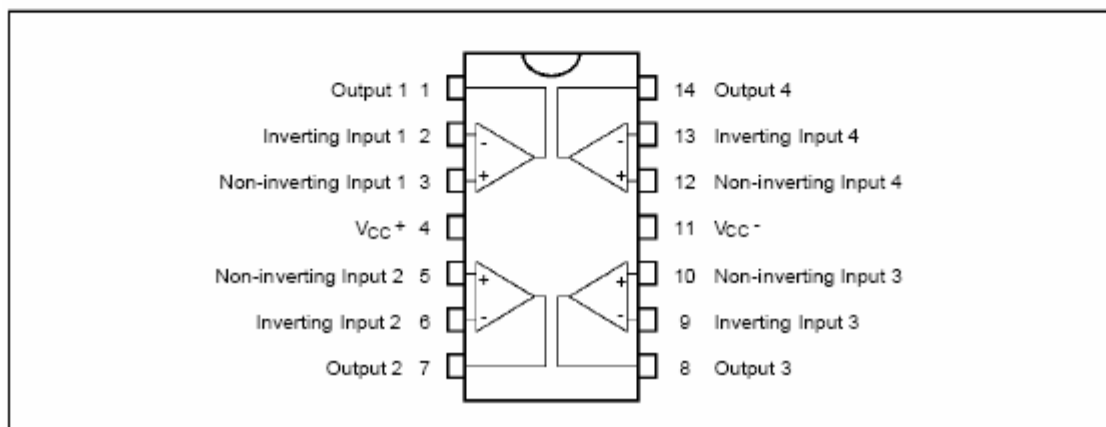
The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

### ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
TL074M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•
TL074I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•
TL074C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•

Example : TL074IN

### PIN CONNECTIONS (top view)



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage - (note 1)	±18	V
V <sub>I</sub>	Input Voltage - (note 3)	±15	V
V <sub>Id</sub>	Differential Input Voltage - (note 2)	±30	V
P <sub>tot</sub>	Power Dissipation	680	mW
	Output Short-circuit Duration - (note 4)	Infinite	
T <sub>oper</sub>	Operating Free Air Temperature Range	TL074C,AC,BC 0 to 70 TL074I,AI,BI -40 to 105 TL074M,AM,BM -55 to 125	°C

- Notes :
1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V<sub>CC</sub><sup>+</sup> and V<sub>CC</sub><sup>-</sup>.
  2. Differential voltages are at the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
  3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
  4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and /or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.