

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra automatizační techniky a řízení

## Laboratorní model klimatizační jednotky

## Climate Units Laboratory Stand

Autor práce: Radim Hýl  
Vedoucí práce: Ing. Jaromír Škuta, PhD.

Ostrava 2010

## Zadání bakalářské práce

Student: **Radim Hýl**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 3902R001 Aplikovaná informatika a řízení  
Téma: **Laboratorní model klimatizační jednotky  
Climate Units Laboratory Stand**

Zásady pro vypracování:

1. Popište strukturu, funkční vlastnosti, technické a programové řešení modelu klimatizační jednotky ve formě teplovzdušného agregátu TVM.
2. Provedte variantní měření řady modelů TVM a srovnajte jejich parametry z pohledu jejich seřízení, statických a dynamických vlastností.
3. Navrhněte úpravy a doplňky programového a HW řešení modelu TVM s podporou programu WinCTRL
4. Ověřte vybrané části inovovaného laboratorního modelu TVM a proveďte sadu kontrolních měření, která kriticky vyhodnoťte a navrhněte další úpravy modelu.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky a navrhněte další postup řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Diplomové práce z oblasti přístrojové instrumentace obhájené na katedře ATR VŠB - TU Ostrava v letech 2000 - 2009.
- [2] SMUTNÝ, L. BABIUCH, M. a j. *Teplovzdušný model TVM (klimatizační jednotka)*. Ostrava: VŠB-TUO, 2005. Výzkumná zpráva GAČR. 31 str.  
[http://fs1.vsb.cz/3\\_SMUTNY/Laboratore%20352/Model%20TVM/TVM%202005/](http://fs1.vsb.cz/3_SMUTNY/Laboratore%20352/Model%20TVM/TVM%202005/)
- [3] ESPOSITO, D.: *Introducing Microsoft ASP.NET 2.0*, Microsoft Press Redmond, Washington 2005, 427 s. ISBN: 0-7356-2024-5.
- [4] SCHMID, D. aj. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. Praha: Europa - Sobotáles, 2005. 420 s. ISBN 80-86706-10-9.
- [5] CHUDÝ, V. – PALENČÁR, R. – KUREKOVÁ, E. - HALAJ, M. *Meranie technických veličín*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 1999. 688 s. ISBN 80-227-1275-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaromír Škuta, Ph.D.**

Datum zadání: 25.01.2010

Datum odevzdání: 21.05.2010



prof. Ing. Jiří Tůma, CSc.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

Radim Hýl

### **Prohlašuji, že**

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠBTUO) má právo výdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

.....

Radim Hýl

Hýl Radim

Jičínská 788,

742 58 Příbor

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

HÝL, R. *Laboratorní model klimatizační jednotky : bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta Strojní, Katedra automatizační techniky a řízení, 2010, Vedoucí práce: Škuta, J.

Tato práce je směřována do oblasti využití výpočetní techniky v měření a regulaci, zvláště pak do oblasti komunikace teplovzdušných modelů (TVM) využívaných na katedře automatizační techniky a řízení. Je rozdělena na čtyři dílčí části. První z nich popisuje používané hardwarové vybavení laboratoří v úloze klimatizační jednotky. Druhá pak zahrnuje měření statických i dynamických vlastností dvou modelů TVM pomocí PC v laboratoři. Další část se zabývá zpracováním takto získaných dat a srovnáním těchto modelů. Ke konci práce jsou navrženy a také realizovány změny v úloze klimatizační jednotky jak z hardwarové tak softwarové stránky.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

HÝL, R. *Climate Units Laboratory Stand : Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Control Systems and Instrumentation, 2010, Thesis head: Škuta, J.

Bachelor thesis is directed to the use of computer technology in measurement and control, especially to the communication with hot-air models (TVM) used at the department of control systems and instrumentation. It is divided into four parts. The first describes the hardware equipment used with climate units laboratory stand in the laboratories. The second involves the measurement of static and dynamic properties of the two models TVM with PC in the lab. Another part deals about the processing of data collected and comparison of these models. At the end of the works are designed and realized changes in the role of climate units laboratory stand from hardware and software page.

# OBSAH

<b>ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....</b>	<b>5</b>
<b>ANNOTATION OF BACHELOR THESIS.....</b>	<b>5</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>8</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>2 POPIS MODELU KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY .....</b>	<b>11</b>
2.1    Propojení teplovzdušného modelu s počítačem.....	12
2.2    Použité sběrnice .....	13
2.2.1    Sběrnice RS-232 .....	13
2.2.2    USB sběrnice .....	14
2.3    CTRL - Mikropočítačová jednotka styku s prostředím .....	16
2.3.1    Popis mikropočítačové jednotky CTRL 51 .....	16
2.3.2    Popis mikropočítačové jednotky CTRL_V3.....	18
2.4    Unifikační modul .....	19
2.5    Snímače umístěné v teplovzdušných modelech.....	20
2.5.1    Termoanemometr.....	20
2.5.2    Objemový vrtulkový průtokoměr .....	21
2.5.3    Odporové teploměry .....	21
2.5.4    Termistory.....	22
2.5.5    Fotorezistor .....	23
<b>3 POUŽÍVANÉ PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ PRO PRÁCI S MODELEM KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY .....</b>	<b>25</b>
<b>4 VARIANTNÍ MĚŘENÍ TEPLOVZDUŠNÝCH MODELŮ .....</b>	<b>28</b>
4.1    Popis modelu TVM 2004/1.....	28
4.2    Popis modelu TVM 2005.....	30
4.3    Dynamické charakteristiky (přechodová charakteristika) .....	31
4.3.1    Přechodové charakteristiky snímačů teploty .....	31
4.3.2    Přechodové charakteristiky snímačů průtoku .....	33
4.4    Statické charakteristiky .....	34
4.4.1    Statické charakteristiky snímačů teploty .....	34
4.4.2    Statické charakteristiky snímačů průtoku .....	35
4.5    Srovnání modelů .....	37
<b>5 NÁVRH ÚPRAV ÚLOHY KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY .....</b>	<b>38</b>

<b>6</b>	<b>REALIZACE ÚPRAVY ÚLOHY KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY .....</b>	<b>39</b>
6.1	Popis řídicí jednotky USB-4711A .....	39
6.2	Ověření aplikace USB jednotky v prostředí Visual Basic 6.0.....	41
6.3	Inovace programu WinGap-CTRL .....	43
6.4	Propojení USB jednotky s teplovzdušným modelem .....	45
6.5	Ověření funkčnosti propojení TVM s USB jednotkou .....	46
6.5.1	Regulační úloha s ventilátorem jako akčním členem .....	46
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>50</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>52</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>54</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A/Č	převodník z analogového signálu na číslicový
ASCII	zkratka amerického standardního kódu pro výměnu informací, American Standart Code for Information Interchange
ATŘ	katedra aplikované informatiky a řízení
Cannon	typ konektoru
CTRL	označení konektoru
Č/A	převodník z číslicového signálu na analogový
DTR	startovací signál, Data Terminal Ready
e	regulační odchylka
EPROM	semipermanentní typ paměti, Erasable Programmable Read-Only
FIFO	funkce vyrovnávací paměti, First-In-First-Out
GND	označení vodiče pro společnou zem, GrouND
Gr	přenos regulátoru
Gs	přenos regulované soustavy
HUB	rozbočovač - aktivní prvek počítačové sítě
I	integrační regulátor
$k_1$	koeficient přenosu (zesílení) regulované soustavy
$k_P$	zesílení analogového regulátoru
LED	svítivá dioda, Light Emitting Diode
LSB	nejméně významný bit, Least Significant Bit
MDI	rozhraní pro práci s více dokumenty, Multiple Dokument Interface
MSB	bit s nejvyšší hodnotou binárního vyjádření čísla, Most Significant Bit
NTC	negistor
PC	osobní počítač, Personal Computer
PI	proporcionálně integrační regulátor
PID	proporcionálně integračně derivační regulátor
Plug & Play	v překladu „připoj a hraj“- počítačová technologie umožňující jednodušší rozpoznávání hardwaru
PS/2	označení šestikolíkových konektorů
PTC	pozistor
$R^2$	koeficient korelace
RAM	paměť s libovolným přístupem, Random Access Memory



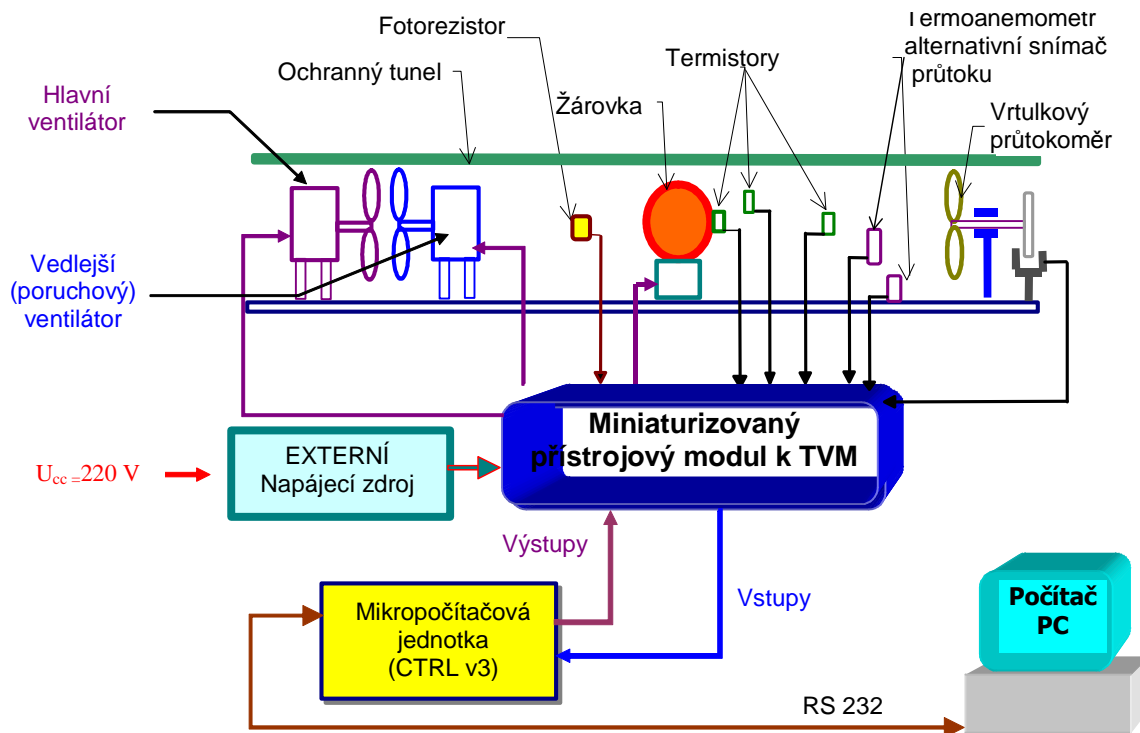
RS-232	jedná se o standard pro komunikaci sériového portu, Recommended Standard 232
RS-485	specifikace dvoudrátového poloduplexního multibodového sériového spoje
RxD	označení vodiče pro příjem signálu
s	komplexní proměnná
SCADA/MMI	programy pro řízení a vizualizaci, Supervisory Control And Data Acquisition/Man-Machine Interface
SIMC	metoda pro seřízení regulátoru, Skogestad (resp. Simple) Internal Model Control
SRAM	statická paměť realizována jako bistabilní klopný obvod, Static Random Access Memory
t	čas
$T_d$	dopravní zpoždění
$T_I$	integrační časová konstanta
TTL	tranzistorově-tranzistorová logika, Transistor-Transistor Logic
TVM	teplovzdušný model
TxD	označení vodiče pro vysílání signálu
u	akční veličina
USB	univerzální sériová sběrnice, Universal Serial BUS
V/V	označení pro zařízení se vstupními i výstupními kanály
w	žádaná veličina
y	regulovaná, výstupní veličina

# 1 ÚVOD

Lidé jsou vynalézaví, a proto se snaží ulehčit, případně zautomatizovat, neustále se opakující výpočetní operace. Z tohoto důvodu se počátkem 40. let 20. století začínají objevovat první „počítací stroje“. Následující léta byla ve znamení vývoje velkých sálových počítačů. S přibývajícím časem se počítačovým konstruktérům dostaly do rukou polovodičové součástky, které umožnily zkonstruovat počítač takové velikosti, aby se dal snadno umístit na stůl a tím zpřístupnil práci běžným uživatelům. Vznikají první osobní počítače - Personal Computer – PC. Poslední léta přinesla obrovský pokrok na poli výpočetní techniky. Došlo nejen k několikanásobnému růstu výkonů dnešních počítačů, ale i k jejich rozšíření snad do všech oborů lidské činnosti. Simulace či modelování vědeckých experimentů, složité výpočty, nukleární výbuchy či chemické reakce, to vše dnes dokáže nahradit dostatečně výkonný počítač. Vědci mohou pomocí počítačů provádět i takové pokusy a experimenty, které byly předtím v praxi nemyslitelné. Mohou si ověřovat různé vědecké teorie, které by byly v klasických podmínkách neproveditelné. Již na konci 70. let dvacátého století se objevily první pokusy využít osobní počítač pro měření a ovládání fyzikálních procesů. V oboru řízení, měření a regulace, což jsou tradiční inženýrské disciplíny, dnes tato technika nachází široké uplatnění, a to nejen z důvodů klesajících cen, ale hlavně pro její snadnou přizpůsobitelnost při řešení konkrétních technických problémů, jednoduchou rozšiřitelnost, snadné ovládání a možnost poskytnout koncovému uživateli kvalitní datové výstupy s možností jejich archivace a následného zpracování. Výhodou tohoto využití PC je především přímá práce s fyzikálními procesy a monitorování dějů v reálném čase. Na současných školních pracovištích proto nechybí fyzikální modely reálných procesů, kam spadá i laboratorní model klimatizační jednotky, kterým se zabývá tato práce. Pokroky v této oblasti jsou však bezpodmínečně vázány na tvorbu odpovídajícího programového vybavení. Moderní uživatel dnes klade důraz nejen na jednoduchost ovládání, ale rovněž na kvalitní a graficky dokonalé rozhraní. K tomuto účelu nám slouží řídicí systémy, což jsou programy, které prostřednictvím konkrétní součástky nebo zařízení (portu, speciální karty) mohou měřit, kontrolovat nebo řídit určitý technologický proces. Jedná se například o řízení stroje, výrobní linky nebo v našem případě laboratorní úlohy klimatizační jednotky pomocí PC. Jeden jediný počítač dnes díky velkému výkonu a možnostem softwaru dokáže řídit i poměrně komplikovaný výrobní proces.

## 2 POPIS MODELU KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY

Teplovzdušné modely (TVM) realizované na katedře ATR představují zjednodušený fyzikální model klimatizační jednotky. Je tvořen žárovkou napájenou z ovladatelného zdroje napětí. Žárovka je tepelným i světelným zdrojem a je umístěná v krytém tunelu, kterým je nasáván či vytlačován vzduch pomocí hlavního a případně poruchového (vedlejšího) ventilátoru (ten je rovněž napájen pomocí říditelného zdroje napětí). Popisovaný model umožňuje realizovat jak jednorozměrové, tak mnohorozměrové regulační úlohy. Model teplovzdušného obvodu můžeme ovládat dvěma akčními členy tj. zdroj tepla – žárovka a hlavní ventilátor. Programátor má možnost volby výstupní (měřené) veličiny, kterou může být teplota měřená snímači umístěnými v různých vzdálenostech od zdroje tepla – žárovka, nebo průtok vzduchu v tunelu měřený vrtulkovým průtokoměrem. V tunelu je umístěno několik termistorových snímačů teploty, dva snímače průtočného množství vzduchu, což je již výše zmíněný vrtulkový průtokoměr nebo termoanemometr a fotorezistor (obr. 1). Některé teplovzdušné obvody pak mají poruchový ventilátor umístěn z boku [Smutný 2005].

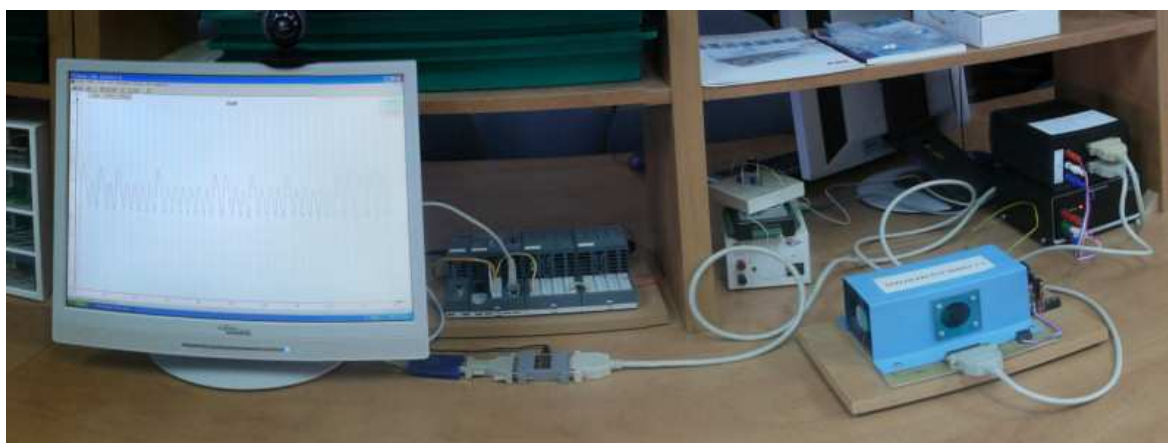


Obr. 1 Blokové schéma zapojení modelu teplovzdušného obvodu s počítačem PC a jednotkou CTRL [Škuta, Smutný 2005]

## 2.1 Propojení teplovzdušného modelu s počítačem

Během doby se ustálily dva odlišné přístupy k propojení počítače s přístroji, které měří nebo ovládají fyzikální proces. Jedno mají společné. Obvykle se mezi počítačem a procesem přenášejí elektrické signály. První způsob představuje využití zásuvné karty umístěné uvnitř PC, která umožňuje měření a vysílání elektrických signálů. Druhým způsobem je použití samostatného měřicího nebo řídicího přístroje, který se připojí ke standardnímu vnějšímu portu počítače. Velmi často jsou to sériové porty RS-232 anebo USB. Obě varianty mají své výhody a nevýhody a uživatel se rozhodne podle konkrétní situace. V době rozmachu notebooků s velmi omezenými možnostmi připojení karet do vnitřních slotů se upřednostňují spíše samostatné přístroje vně počítače. Taková jednotka především neomezí mobilitu počítače a není nutné do počítače jakkoliv zasahovat. Počítač se jednoduše přinese k modelu nebo zařízení, kde probíhá proces, který se má měřit nebo regulovat, standardním komunikačním kabelem se propojí s měřicím přístrojem nebo akčním členem, a je připraven ke komunikaci [Klán 2004].

V laboratorní úloze umístěné na půdě katedry automatizační techniky a řízení je teplovzdušný model připojen přes konektor typu Cannon 25 nejprve s unifikacním modulem. Ten je dále připojen k jednotce CTRL taktéž přes konektor Cannon 25. CTRL jednotka komunikuje s PC pomocí sériové linky. Unifikační modul i jednotka CTRL jsou napájeny z externích zdrojů napětí (obr. 2).



*Obr. 2 Snímek reálného zapojení laboratorní úlohy v laboratoři H303*

## 2.2 Použité sběrnice

Sběrnice je skupina signálových vodičů, kterou lze rozdělit na skupiny řídicích, adresových a datových vodičů v případě paralelní sběrnice nebo sdílení dat a řízení na společném vodiči (nebo vodičích) u sériových sběrnic. Sběrnice má za účel zajistit přenos dat a řídicích povelů mezi dvěma a více elektronickými zařízeními. Přenos dat na sběrnici se řídí stanoveným protokolem. Na katedře ATR je v souvislosti s TVM modely používána sběrnice RS-232.

### 2.2.1 Sběrnice RS-232

Standard RS-232 (také sériový port nebo sériová linka) se používá jako komunikační rozhraní osobních počítačů a další elektroniky. V současné době se v oblasti osobních počítačů ustupuje od používání standardu RS-232 a je nahrazován výkonnějším univerzálním sériovým rozhraním (USB). Nicméně v průmyslu je tento standard, především jeho modifikace – standardy RS-422 a RS-485, velice rozšířen a pro své specifické rysy tomu tak bude i nadále.

#### **Základní vlastnosti sériového portu:**

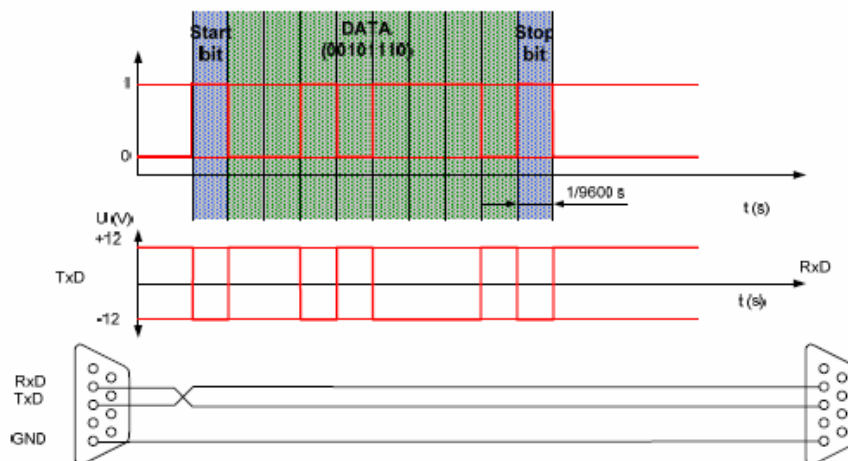
- Pro oboustrannou komunikaci potřebuje pouze 3 vodiče (příjem RxD, vysílání TxD a společná zem GND), některá zařízení mohou vyžadovat zapojení všech 9ti vodičů (obr. 4).
- Přenosové rychlosti se udávají v baudech a existuje řada rychlostí, které může sériový port použít, tato řada je 300, 1200, 2400, 9600, 19200, 56000 a 112000 baudů. Pokud není řečeno jinak, jako implicitní rychlost sériového portu je vždy považováno 9600 baudů.
- Napěťové úrovně sériového portu jsou odlišné od napětí logických obvodů, jsou bipolární. Nejčastěji se jedná o  $\pm 12\text{V}$  s pásmem necitlivosti  $\pm 3\text{V}$ .

Umožňuje propojení a vzájemnou sériovou komunikaci dvou zařízení na vzdálenost maximálně 15 metrů. Jednotlivé bity přenášených dat jsou vysílány postupně za sebou (v sérii) po jediném vodiči. Nevýhodou je nemožnost jejího větvení, a že nebývá obvykle galvanicky oddělena. Pořadí přenosu datových bitů je od nejméně významného bitu (LSB) po bit nejvýznamnější (MSB). Počet datových bitů je volitelný, obvykle se používá 8 bitů, lze se také setkat se 7 nebo 9 bity. Logický stav „0“, „1“ přenášených dat je reprezentován pomocí dvou možných úrovní napětí (obr. 4).



Obr. 3 25 pinový konektor používaný k připojení na sériový port

Odpor zátěže se může pohybovat v rozmezí 3 až 7 k $\Omega$ , kapacita zátěže nesmí být větší než 2500 pF. Standard definuje celkem 20 signálů rozhraní a přiřazuje je konkrétním pozicím na konektoru s 25 kontakty (Obr. 3). Typ konektoru není specifikován. Prakticky se využívají především konektory Cannon s 25 nebo 9 kontakty. Formát přenosu dat u RS 232 umožňuje použití různých způsobů kódování dat. V měřicí technice je to zejména kódování ASCII [David 2006].



Obr. 4 Komunikace pomocí sériového portu [Kulhánek 2007]

## 2.2.2 USB sběrnice

USB je univerzální sériová sběrnice pro připojení periférií k počítači. Nahrazuje dříve používané způsoby připojení (sériový a paralelní port, PS/2 apod.).

### Základní vlastnosti USB:

- Komunikace probíhá sériovým způsobem, jde použít funkce hubu.
- Port v sobě obsahuje zdroj napájení (stejnoseměrných 5V), pro připojená zařízení, ta však mohou mít ještě i vlastní elektrický zdroj.
- Jeden řadič USB umožňuje připojit až 127 USB zařízení.

- Port podporuje Plug and Play technologii a umožňuje zařízení připojovat a odpojovat za chodu počítače.
- Každé zařízení smí z USB zdroje odebrat maximálně 100mA, 500mA nebo 1A podle typu zařízení. Toto omezení při napětí 5V znamená odběr maximálně 0,5 W, 2.5 W nebo 5 W na zařízení.

**V současné době jsou nejrozšířenější tyto verze USB rozhraní:**

- USB 1.1 – verze USB z roku 1998, která se masivně rozšířila na platformě PC.
- Hlavním omezením této verze je rychlost, které maximálně dosahuje 12 Mb/s (1.5 MiB/s).
- USB 2.0 – verze USB existuje od roku 2000, tato verze obsahuje řadu doplňkových inovací a je zpětně kompatibilní. Zásadní změnou oproti verzi 1.1 je přenosová rychlost, která může být až 480 Mb/s.
- V současnosti se pracuje na vývoji nové verze USB 3.0, která by měla ještě zvýšit přenosové rychlosti.

USB je sběrnice jen s jedním zařízením typu Master, tj. všechny aktivity vycházejí z PC. Data se vysílají v krátkých paketech o 8 bajtech a delších paketech o délce až 256 bajtů. PC může požadovat data od zařízení a naopak žádné zařízení nemůže vysílat data samo od sebe. Maximální délka kabelu mezi sousedními zařízeními je 5 m. Kabel obsahuje 4 vodiče. Dva jsou pro napájení (5 V a zemnění). Druhý pár je kroucený a slouží pro přenos dat. V dnešní době jsou používány 4 typy USB konektorů, které jsou zobrazeny na obr. 5. Nevýhodou pro amatérského uživatele je velká složitost USB. Systém USB má aspoň jeden řadič schopný pracovat s USB vybavený rozsáhlým programem. Na straně PC je nutný ovladač, jehož psaní není jednoduché [Kulhánek 2007].



*Obr. 5 Různé typy konektorů USB, zleva doprava: micro USB, mini USB, typ B, samice typ A, typ A, pro srovnání velikosti na obrázku s jedním rublem [Wikipedie USB]*

## 2.3 CTRL - Mikropočítačová jednotka styku s prostředím

Tato jednotka je rozměrově malý a snadno přenosný přístroj, umožňující styk počítače s okolím, určený zejména k laboratornímu měření a použití v řízení v automatizaci. Počítač nebo pracovní stanice doplněné tímto přístrojem mohou prostřednictvím komunikační linky s rozhraním RS-232 měřit nebo vysílat elektrické analogové nebo logické signály. Oproti použití klasických zásuvných karet přímo do počítače má tento způsob řešení několik výhod: snadnou přenositelnost mezi počítači, nezávislost na typu počítače, vylučuje nutnost zásahu do hardware počítače, dovozuje umístění počítače do větší vzdálenosti od měřeného objektu, rychlé pružné využití notebooků s omezenými možnostmi použití zásuvných karet, nízkou cenu i nenáročnou obsluhu. Na straně počítače je možné použít vlastní programové vybavení nebo zavedený program. V oblasti měření, regulace, vědeckotechnických výpočtů a vizualizací je to zejména program Matlab. Je schopna generovat i reálný čas a vytvářet plnohodnotné měřicí či regulační systémy. Na katedře 352 jsou v souvislosti s TVM model používány dva typy mikropočítačových jednotek CTRL 51 a CTRL\_V3.

### 2.3.1 Popis mikropočítačové jednotky CTRL 51

Jednotku CTRL tvoří dvě části - napájecí síťový zdroj (230 V/50 Hz) a vlastní elektronická jednotka vybavená mikroprocesorem (obr. 6). Zdroj poskytuje napětí  $\pm 15$  V, +5 V a umožňuje připojit dva přístroje CTRL. Jednotka CTRL je vybavena signálovým konektorem typu Cannon 25, přístrojovým kabelem a napájecím kabelem. Pomocí signálového konektoru se jednotka propojuje s fyzikálním objektem. Signálový konektor je propojen následovně: piny 1 - 12 jsou určeny pro vstupní analogové signály, zbývajících čtyřmi analogovými vstupy se přímo měří hodnota analogových výstupů. Analogové výstupy jsou na pinech 15 - 19. Přístrojový kabel je určen pro přímé propojení se sériovým výstupem PC podle standardu V24/RS232 a je zakončen standardním konektorem Cannon 25. Přístroj CTRL je díky snadné propojitelnosti s libovolným PC, poměrně nízké ceně a dostatečné spolehlivosti vhodný pro měření a řízení malých laboratorních úloh. Z důvodu nízké vzorkovací frekvence (max. 250 Hz) s ohledem na rychlost přenosu a množství vstupních a výstupních kanálů je jednotka vhodná jako laboratorní monitorovací mikropočítačový systém pro měření a řízení středně rychlých a pomalejších procesů - teplotních či hladinových [Smutný 2002].

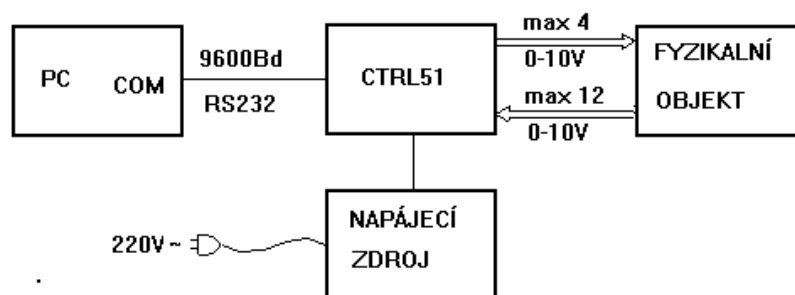




Obr. 6 Jednotka CTRL 51

### Základní technické parametry CTRL 51:

- Mikroprocesor CPU 8751
- EPROM/RAM: 4 KB integrální /128 B integrální+256 B externí
- počet analogových vstupů/výstupů: 16/4
- vstupní rozsah/rozlišitelnost: 0-10V/12bitů
- výstupní rozsah/rozlišitelnost/vzájemné ovlivňování: 0-10V/12bitů/<3%
- komunikace s PC: standardní sériové rozhraní RS 232
- napájecí napětí/odběry: +5V/0,6A, +15V/0,1A
- rozměry: 21 x 13 x 4 cm
- výrobce ÚTIA Praha [Smutný 2002]



Obr. 7 Způsob propojení počítače PC s jednotkou CTRL a laboratorním objektem (modelem teplovzdušného obvodu) [Smutný 2002]

**Parametry komunikace:** max. rychlost 9600 Bd, 8 datových bitů, 1 stop bit, bez parity.

Tab. 1 Zapojení jednotlivých kontaktů

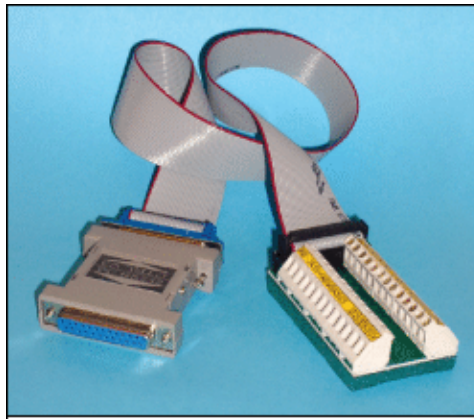
Popis	Kontakt
Vstupy	1-12
Výstupy	15-18
Napětí +15V	20
Napětí -15V	21
Zem	25

### 2.3.2 Popis mikropočítačové jednotky CTRL\_V3

Protože vývoj elektroniky a související techniky zaznamenal za poslední roky ohromný pokrok a potřeba měření a řízení skutečných fyzikálních procesů je stále aktuální, byla vyvinuta nová jednotka CTRL nazvaná CTRL\_V3. Vznikl tak moderní, rozměrově minimalizovaný a kompaktní přístroj (obr. 8). Tvoří ho také dvě části, což je zdroj a vlastní elektronická jednotka. Logické výstupy jsou přizpůsobeny k přímému ovládní 12V relé. Celý přístroj je umístěn v běžném sériově vyráběném krytu mezi dvěma konektory Cannon 25 (obr. 9). Na jedné straně je konektor pro připojení signálů a na druhé konektor pro sériovou linku, která má optoelektronické oddělení. K signálovému konektoru je možné připojit speciální svorkovnici, která může usnadnit připojení k vnějšímu procesu. CTRL\_V3 se napájí z univerzálního nestabilizovaného 12V zdroje (min. 300 mA). Má-li se použít port USB, je k dispozici ještě převodní konektor USB/RS-232. Přístroj CTRL\_V3 stačí připojit k sériovému portu počítače a je připraven k činnosti. Pouze pro připojení k portu USB je třeba použít ovladač, který je možné volně získat z internetu. Přístroj může kromě měření a vysílání elektrických analogových a logických signálů také na požádání posílat obraz vstupů a výstupů periodicky a tím pro případný komunikační software vytvářet reálný čas [Klán 2004].

#### Základní technické parametry CTRL\_V3:

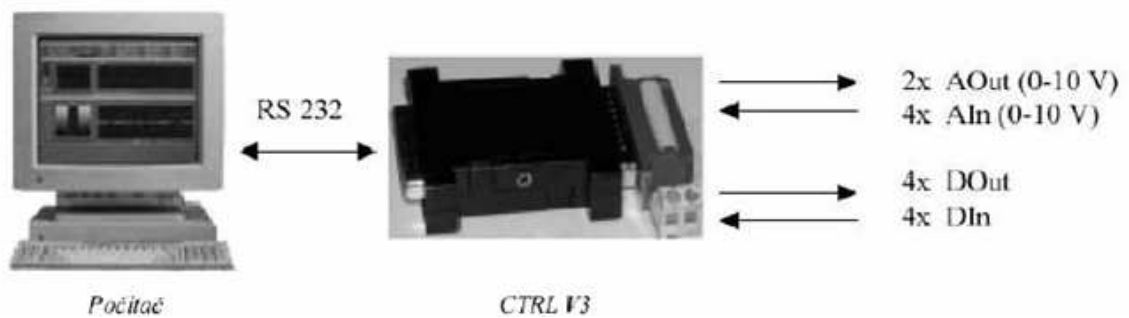
- Mikroprocesor PIC 16F876A.
- počet vstupů/výstupů:
  - čtyři analogové vstupy (0 až 10 V),
  - dva analogové výstupy (0 až 10 V, 50 mA),
  - čtyři logické vstupy a výstupy. (TTL)
- komunikace s PC: standardní sériové rozhraní RS 232



Obr. 8 Měřicí jednotka CTRL\_V3 se svorkovnicí [Klán 2004]

### Parametry komunikace:

19 200 b/s, osm datových bitů, bez parity a jeden stop bit. Signál DTR (Data Terminal Ready) musí být ve stavu on, jinak jednotka neodpovídá; ale výstupní povely vykonává. Komunikační protokol s jednotkou CTRL\_V3 je znakový (sedm bit ASCII) [Klán 2004].



Obr. 9 Příklad zapojení jednotky CTRL\_V3

## 2.4 Unifikační modul

Unifikační modul je další velmi důležitou součástí laboratorní úlohy klimatizační jednotky. Ke každému modelu TVM je vyroben vlastní unifikační modul. Jsou zde umístěny vyhodnocovací a zesilovací obvody (obr. 10). Jeho základ tvoří základní deska. Hlavním účelem základní desky je propojit jednotlivé součástky do fungujícího celku a poskytnout jim elektrické napájení. Do slotů základní desky propojených společnou sběrnici se svisle zasouvají jednotlivé bloky pro unifikaci a zesílení, což umožňuje modifikovatelnost celého systému v závislosti na požadavcích reálné úlohy. Jsou to menší desky s elektronikou k jednotlivým částem teplovzdušného modelu, což jsou deska termistorů, deska pro ovládání žárovky, deska pro ventilátory a deska pro vrtulkový průtokoměr. Pomocí stabilizátorů je odděleno napájení výkonové části modelu od napájení části zpracovávající signály.



*Obr. 10 Horní pohled na odkrytovaný přístrojový modul*

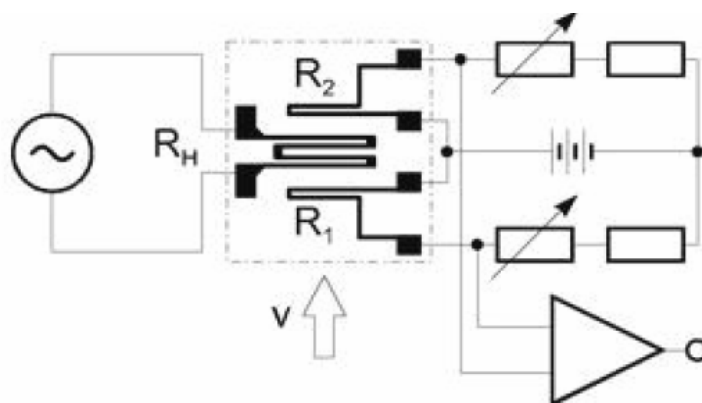
## **2.5 Snímače umístěné v teplovzdušných modelech**

Snímač obecně znamená označení pro technické zařízení, které je určeno pro snímání a detekci různých fyzikálních veličin, vlastností látek a technických stavů v mnoha oborech lidské činnosti. V automatizaci a průmyslové regulaci se používá také označení senzor nebo čidlo.

### **2.5.1 Termoanemometr**

Je založen na principu měření intenzity ochlazování vzduchem obtékaných tělísek. Použitý termoanemometr je tvořen dvěma termistory měřícími rychlost vzduchu v tunelu (na principu rozdílu teplot v proudu vzduchu a mimo něj). Druhý termistor by měl být vyhříván topným tělískem na konstantní teplotní rozdíl vůči prvnímu. Čím vyšší je proudění plynu, tím více tepla je odváděno a tím více je ochlazován druhý teplotní snímač. Aby se udržela konstantní teplotní diference, vyhřívací proud topného tělíska by měla adekvátně vzrůst, tomu však u modelu TVM nedochází, tudíž dochází k mírnému zkreslení údajů o průtoku. Velikost vyhřívacího proudu působícího na první termistor je digitalizována a přivedena jako vstup do vyhodnocovací jednotky a na základě známých vnitřních rozměrů měřícího potrubí se vypočte aktuální průtok (obr. 11). Jeho použití je pro měření malých rychlostí do 1 m.s<sup>-1</sup>, kde se nedají použít mechanické anemometry (objemový vrtulkový průtokoměr). Předností termoanemometrů jsou relativně malé rozměry sond, které nenarušují příliš proměřované

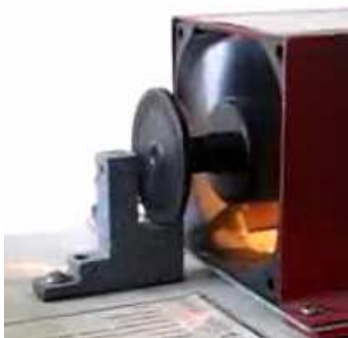
rychlostní pole. Mezi nedostatky termoanemometrů lze řadit jejich závislost na teplotě prostředí [Šarata 2008].



Obr. 11 Měřící obvod diferenčního termoanemometru [Šarata 2008]

### 2.5.2 Objemový vrtulkový průtokoměr

Požitý vrtulkový průtokoměr je tvořen vrtulkou, kterou uvádí do otáčivého pohybu kinetická energie proudícího plynu (vzduchu) a snímačem otáček pro zpracování pulsů ze světelné závory. Rychlost otáčení vrtulky je úměrná střední rychlosti proudu, procházejícího příčným průřezem tunelu. Tyto průtokoměry pracují spolehlivě až do určité velikosti průtoku. Základem je monostabilní klopový obvod 74123 nebo MAF115 (obr. 12).



Obr. 12 Pohled na vrtulkový průtokoměr v činnosti

### 2.5.3 Odporové teploměry

Využívají fyzikálních vlastností elektricky vodivých látek a polovodičů. Odpor takových látek je obecně závislý na teplotě. Tuto závislost lze v určitém rozsahu teplot obvykle nahradit přímkou. Bývají nejčastěji vyrobeny z platiny, a to pro teploty do  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , přechodně do  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V obdobných teplotních rozsazích se používá palladium. Pro nižší teploty lze použít nikl, stříbro, zlato nebo slitiny Au-Ag a jiné. Čidlo odporového teploměru je vyrobeno z drátku o průměru  $0,01$  až  $0,1$  mm. Přívody k čidlu musí být z materiálu, který netvoří s odporovým

drátem termoelektrický nebo galvanický článek. Nejčastěji se lze setkat s odporovými čidly Pt100, jenž je použit u TVM modelu z roku 2005 (obr. 13). Aplikace odporových teploměrů je výhodná, chceme-li použít naměřené signály pro další elektrické zpracování naměřených hodnot – v oblasti regulace, automatizace a podobně [David 2006].

**Tato čidla lze podle přesnosti rozdělit do tří tříd (pro 0°C):**

- třída přesnosti A s tolerancí 0,15 °C
- třída přesnosti B s tolerancí 0,30 °C
- třída přesnosti C s tolerancí 0,60 °C.



*Obr. 13 Příklady odporového teploměru Pt100*

## 2.5.4 Termistory

Termistor je také elektrotechnická součástka, jejíž elektrický odpor je závislý na teplotě. Rozlišujeme dva druhy termistorů - NTC a PTC termistor. NTC (někdy označovaný jako negistor) je termistor s negativním teplotním koeficientem, což znamená, že se zahřátím součástky odpor klesá. U PTC (někdy označovaný jako pozistor) termistoru se zahřátím odpor roste. NTC termistor se používá také jako teplotní čidlo (k měření teploty) - musíme znát VA charakteristiku termistoru. PTC termistor lze využít například k omezení proudu obvodem, kdy průchod většího množství proudu vyvolá ohřátí součástky, které má díky tomu vyšší odpor. Termistory se vyrábějí z oxidu různých kovů (Mn, Co, Ni, Cu, Ti, U, aj.), jež se rozemele na prášek, přidají se další příměsi a pojidlo a poté se za vysokého tlaku slisuje na žádaný tvar a spéká při vysoké teplotě (přes 1000 °C). Výrobek se nechá zestárnout, aby se jeho vlastnosti stabilizovaly. Lisuje se do tvaru tyčinek, perliček, korálek, kotoučků nebo podložek malých rozměrů (řádu 1 až 10mm, obr. 14). U termistorů lze pracovat pouze s malými proudy (asi 50  $\mu$ A), proto se musí použít velmi citlivých měřících přístrojů. Termistory mají velký vnitřní odpor, proto je odpor jejich přívodních vodičů zanedbatelný. Jejich velikost umožňuje téměř bodové měření teploty a spolu s vysokou citlivostí splňují tyto

součástky základní nároky na miniaturizaci techniky. Jejich většímu rozšíření brání jejich časová nestabilita a za nevýhodu lze považovat značnou nelineární závislost jejich odporu na teplotě.



*Obr. 14 Příklad termistoru*

### **2.5.5 Fotorezistor**

Fotorezistor (dříve označován jako fotoodpor) je pasivní elektrotechnická součástka bez PN přechodu, jejíž elektrický odpor se snižuje se zvyšující se intenzitou dopadajícího světla, resp. elektrická vodivost se zvyšuje (obr. 15). Fotorezistory se používají pro indikaci a měření neelektrických veličin. Na křemíkovou nebo germaniovou destičku je nanесena vrstva kovu. Je to do jisté míry přechod kov - polovodič (obr. 16). Vlivem světlení se mění vodivost mezi vodivými kovovými vložkami. Materiály často používané na výrobu fotoodporů jsou sulfid kadmia (CdS) a sulfid olova (PbS). Odpor se zmenšuje v závislosti na intenzitě osvětlení přibližně exponenciálně (klesne většinou o několik řádů), ale do jisté míry jej lze velice dobře linearizovat. Grafem závislosti velikosti elektrického odporu na osvětlení je v logaritmickém měřítku přímka. V závislosti na typu použitého materiálu lze fotorezistorem detekovat jak viditelné, tak i ultrafialové a infračervené světlo. Podle použitého zdroje záření je nutné vybrat správný typ fotorezistoru. U fotorezistorů se udává citlivost. Citlivost je obecně vztah mezi intenzitou dopadajícího optického záření a výstupním signálem. Spektrální citlivost vyjadřuje závislost citlivosti materiálu fotorezistoru na vlnové délce optického záření. Fotorezistory jsou silně teplotně závislé, při nižších velikostech osvětlení je teplotní závislost větší, teplotní závislost je také větší u vyšších vlnových délek. Jako u klasických rezistorů způsobuje teplota šum.

## Výhody

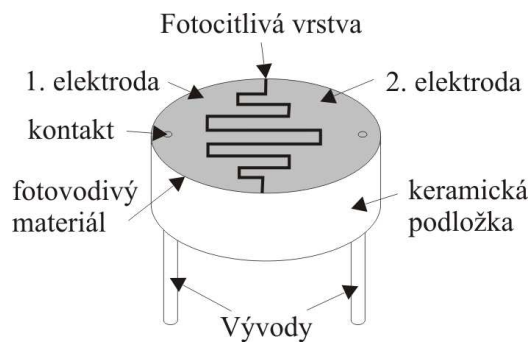
- značná citlivost
- snadné použití a nízká cena
- možnost aplikace pro stejnosměrné i střídavé obvody (pracuje nezávisle na směru proudu)

## Nevýhody

- dlouhá doba odezvy, která se zvýší, jestliže po intenzivním osvětlení rychle následuje tma
- značná teplotní závislost odporu
- fotorezistory v provozu stárnou
- lze použít pouze do stovek hertzů
- plocha citlivá na světlo dosahuje i několika desítek milimetrů čtverečných



Obr. 15 Příklad reálného fotorezistoru



Obr. 16 Konstrukční uspořádání fotorezistoru [Wikipedia Fotorezistor]



### 3 POUŽÍVANÉ PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ PRO PRÁCI S MODELEM KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY

Úloha klimatizační jednotky je na katedře 352 realizována s různým softwarovým vybavením jako je systémem Matlab-Simulink, WinGap-CTRL a programové systémy SCADA/MMI - Control Web, InTouch,... Při měření TVM modelů jsem použil program WinGap-CTRL.

#### **Program WinGap-CTRL**

Slouží jako podpora komunikace mezi počítačem třídy PC a mikropočítačovou jednotkou CTRL, prostřednictvím sériové linky. S využitím této komunikační podpory pak program dále umožňuje provozování měřicích a řídicích úloh s využitím PC jako řídicího a monitorovacího členu. Je koncipován jako MDI aplikace. Celá aplikace je tvořena jedním základním otcovským formulářem, obsahujícím nabídky, nástrojovou lištu, stavový řádek a pracovní plochu. V rámci pracovní plochy tohoto formuláře je pak možno zobrazit libovolné množství podformulářů s naměřenými hodnotami či grafy (obr. 17). Pomocí tohoto programového modulu je realizováno vlastní ovládání mikropočítačové jednotky CTRL. Jeho zásadní význam je ten, že dokáže simulovat určitý typ regulátoru s nastavitelnými parametry pro řízení vlastního modelu TVM. Naměřená data je možno ukládat do ASCII souboru \*.cdt, automaticky je vytvořen i soubor \*.cti, jenž obsahuje informace o aktivních vstupech, výstupech a použitých vzorkovacích periodách. Není tedy problém data importovat do jiných programů [LIPUS 1999].

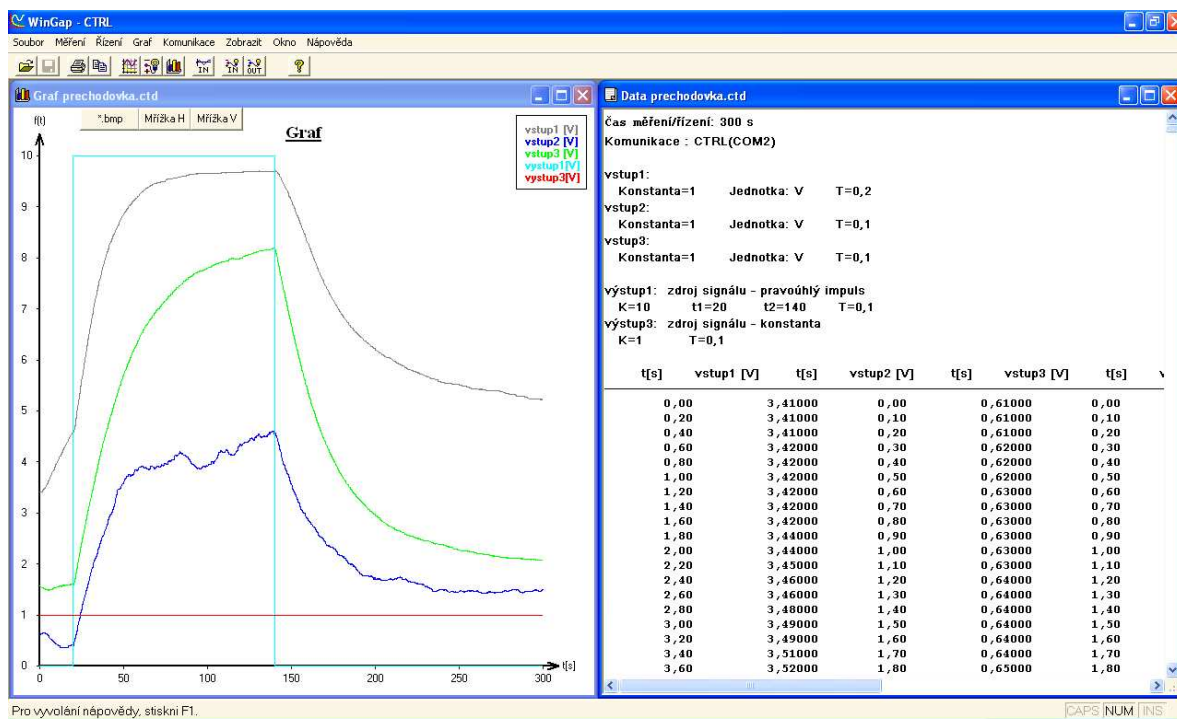
#### **Základní způsoby regulace:**

- Dvupolohová regulace - realizace dvupolohového regulátoru s nastavením žádané hodnoty  $W$ , hystereze  $H$ , vzorkovací periody  $T$ , výstupního napětí pro „zap“  $Z$  a „vyp“  $V$ , a čísla vstupu pro měření skutečné hodnoty.
- Spojitá PID regulace - realizace pseudospojitého PID regulátoru s nastavením žádané hodnoty  $W$ , zesílení regulátoru  $K_R$ , integrační  $T_I$  a derivační  $T_D$  časové konstanty, vzorkovací periody  $T$  a čísla vstupu pro měření skutečné hodnoty.

- Fuzzy – PI regulátor - realizace fuzzy PI regulátoru s nastavením žádané hodnoty  $W$ , vzorkovací periody  $T$ , čísla vstupu pro měření skutečné hodnoty a rozměrů fuzzy množin  $a$ ,  $b$ ,  $c$ .
- Dvoupolohová s penalizací - realizace dvoupolohové regulace s penalizací, jejím principem je postupné omezení akčního zásahu u regulátoru tak, aby jeho velikost zajišťovala ustálení regulované veličiny  $y$  na žádané hodnotě, čehož lze docílit jen při znalosti statické charakteristiky soustavy. Nenastavujeme hysterezi, ale pásmo penalizace PPP a navíc parametry statické charakteristiky  $a$ ,  $b$ .

### Zdroje signálů:

- Sinus
- Obdélník
- Trojúhelník
- Šum
- Pravoúhlý impuls
- Konstanta



Obr. 17 Výstupní obrazovka programu WinGap-CTRL

## **Funkce měření**

Program CTRL umožňuje současně měřit hodnoty ze všech 16 vstupních kanálů přístroje CTRL 51. Konfigurace jednotlivých kanálů je zprostředkována pomocí dialogového okna. Uživatel má možnost zvolit aktivní kanály, násobící konstanty měřených veličin, fyzikální jednotky, vzorkovací periody a povolit ukládání naměřených hodnot. Násobící konstanta dovoluje převod změřeného unifikovaného signálu (0-10 V) na odpovídající fyzikální veličinu, vyjádřenou v zadaných jednotkách.

## **Funkce řízení**

Stěžejní funkcí programu je řízení laboratorních úloh s využitím PC jako řídicího členu. V této funkci program využívá 12 vstupních a 4 výstupní kanály jednotky CTRL. Vstupy mohou být využity buď pro samotné měření, nebo také pro zjištění skutečné hodnoty k určení regulační odchylky. Konfigurace vstupů se provádí obdobně jako při měření. Výstupní kanály mohou být využity ke generování signálů (např. ovládání jasu žárovky), nebo jako zdroj akčního zásahu do regulované soustavy.

## **Datové výstupy**

V průběhu měření nebo řízení je uživatel průběžně informován o hodnotách všech aktivních vstupních a výstupních kanálů. Pro každý kanál je zobrazována přímo číselná hodnota. Po dokončení měření je zobrazeno okno s hodnotami všech ukládaných vstupů a výstupů. Program dovoluje současně otevřít více oken s naměřenými hodnotami a to buď provedením dalšího měření, nebo otevřením textového souboru s naměřenými hodnotami. Pro aktivní okno je pak možno vykreslit grafickou závislost naměřených hodnot na čase. Nastavení rozsahů os je automatické, jednotlivé průběhy jsou odlišeny barevně. Obdobné výstupy jako na obrazovce lze získat i na tiskárně. Program umožňuje tisk časového grafu a tabulky naměřených hodnot.

## **Konfigurace**

Pro opakované měření se stejnými parametry vstupních a výstupních kanálů program CTRL nabízí možnost uložení a opětovného načtení aktuální konfigurace systému ze souboru. Uživatel má rovněž možnost, zrušením nastavení, nakonfigurovat systém do základního nastavení. Pro bezchybnou komunikaci PC a přístroje CTRL je nutno, pomocí výběru položky menu *Komunikace-Port*, nastavit příslušný sériový port, ke kterému je jednotka CTRL připojena [LIPUS 1999].

## 4 VARIANTNÍ MĚŘENÍ TEPLOVZDUŠNÝCH MODELŮ

Měření jsem prováděl pomocí programu WinGap-CTRL. Proměřil jsem dva teplovzdušné modely. Výsledkem jsou statické a přechodové charakteristiky. Postup aproximace a postup měření charakteristik s jejich porovnáním je uveden dále.

### Technické vybavení použité při měření

- Teplovzdušný model 2004/1 nebo 2005
- Mikropočítačová jednotka CTRL 51
- Počítač se sériovým portem
- Programový modul WinGap-CTRL 2.0
- Napájecí zdroje pro model a jednotku CTRL 51
- Propojovací a napájecí kabely
- Měřicí přístroj PU 521 (ručičkový teploměr)

### 4.1 Popis modelu TVM 2004/1

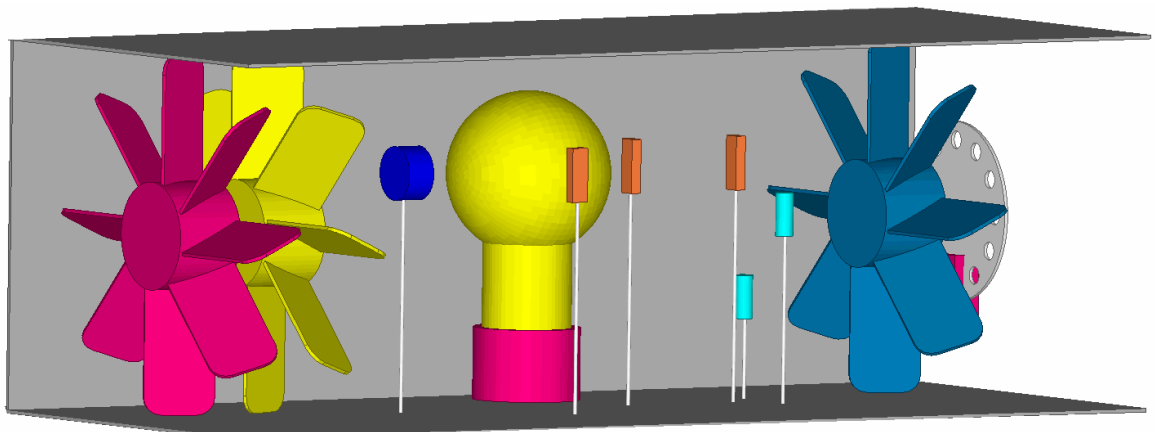
Zapojení jednotlivých kontaktů u TVM modelu 2004/1:

Tab. 2 Zapojení jednotlivých kontaktů

Popis	Kontakt
<b>Vstupy do CTRL 51: signály ze snímačů</b>	Cannon 25
ANALOG – Fotorezistor	1
ANALOG – Termistor 5 mm od žárovky (Termistor 1)	2
ANALOG – Termistor na žárovce (Termistor 2)	3
ANALOG – Termistor v tunelu (Termistor 3)	4
ANALOG – Anemometr	6
ANALOG – Vrtulkový průtokoměr	7
<b>Výstupy z CTRL 51: akční veličina</b>	
ANALOG – Žárovka	19
ANALOG – Ventilátor (primární)	20
ANALOG – Ventilátor (sekundární, poruchový)	18
<b>ZEM</b>	25



Obr. 18 Snímek reálného zapojení modelu 2004/1



Obr. 19 3D vizualizace teplovzdušného modelu 2004/1 [Školník 2006]

## 4.2 Popis modelu TVM 2005

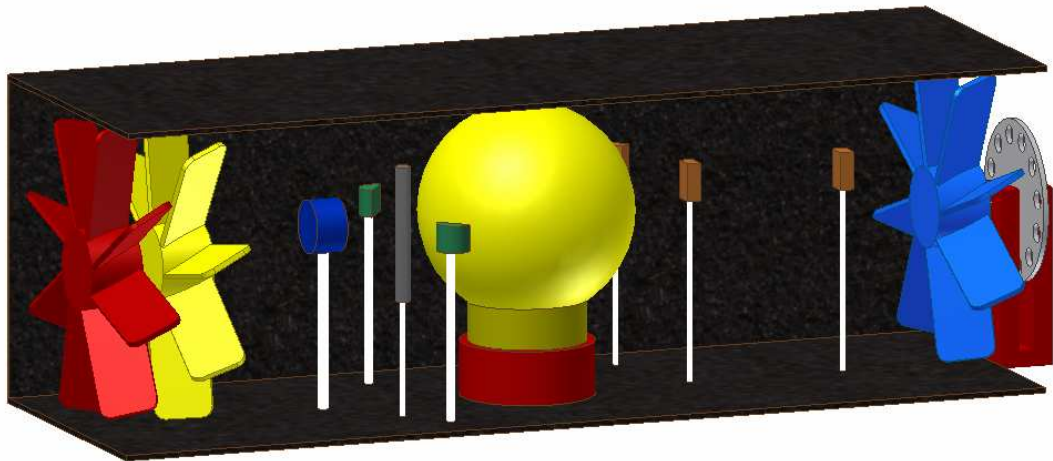
Zapojení jednotlivých kontaktů u TVM modelu 2005:

Tab. 3 Zapojení jednotlivých kontaktů

Popis	Kontakt
<b>Vstupy do CTRL 51: signály ze snímačů</b>	Cannon 25
ANALOG – Fotorezistor	1
ANALOG – Termistor 1	2
ANALOG – Termistor 2	3
ANALOG – Termistor 3	4
ANALOG – Vrtulkový průtokoměr	7
ANALOG – Odporový teploměr Pt100	9
ANALOG – Termistor LM 35	10
ANALOG – Snímač KTY 81-110	11
<b>Výstupy z CTRL 51: akční veličina</b>	
ANALOG – Žárovka	19
ANALOG – Ventilátor (primární)	20
ANALOG – Ventilátor (sekundární, poruchový)	18
<b>ZEM</b>	25



Obr. 20 Zapojení TVM modelu 2005



*Obr. 21 3D vizualizace teplovzdušného modelu 2005/1*

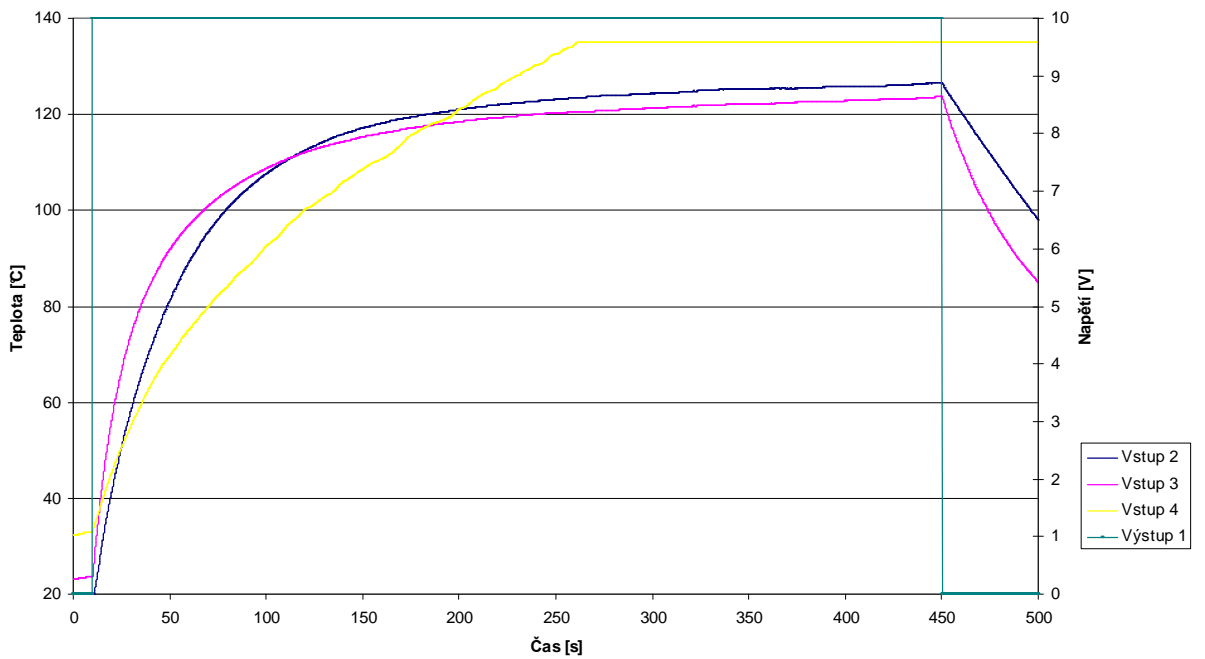
### **4.3 Dynamické charakteristiky (přechodová charakteristika)**

Přechodová charakteristika je odezva dynamického systému na vstupní signál ve tvaru skoku v čase. V případě tepelného obvodu jsem tedy na žárovku přivedl obdélníkový signál a sledoval odezvy jednotlivých snímačů teploty. Všechny modely jsem před provedením měření nechal ochladit vypnutím žárovky a aktivací ventilátoru asi po dobu dvou minut. Přechodové charakteristiky pro průtok vzduchu a snímače jasu jsem měřil podobně. V případě měření přechodových charakteristik jsem výsledky měření importoval do programu Excel a přepočtl na teplotu ve stupních Celsia. U některých přechodových charakteristik jsem musel použít grafické konstrukce pro zjištění ustálené hodnoty přechodové charakteristiky (příloha A). Výsledné průběhy přechodových charakteristik snímačů jasu a průtoku jsem použil pro názornost přímo z programu WinGap - CTRL 2.0. Přechodové charakteristiky jsou pro srovnání umístěny pod sebou. Přechodové charakteristiky fotorezistorů jsou umístěny v příloze B.

#### **4.3.1 Přechodové charakteristiky snímačů teploty**

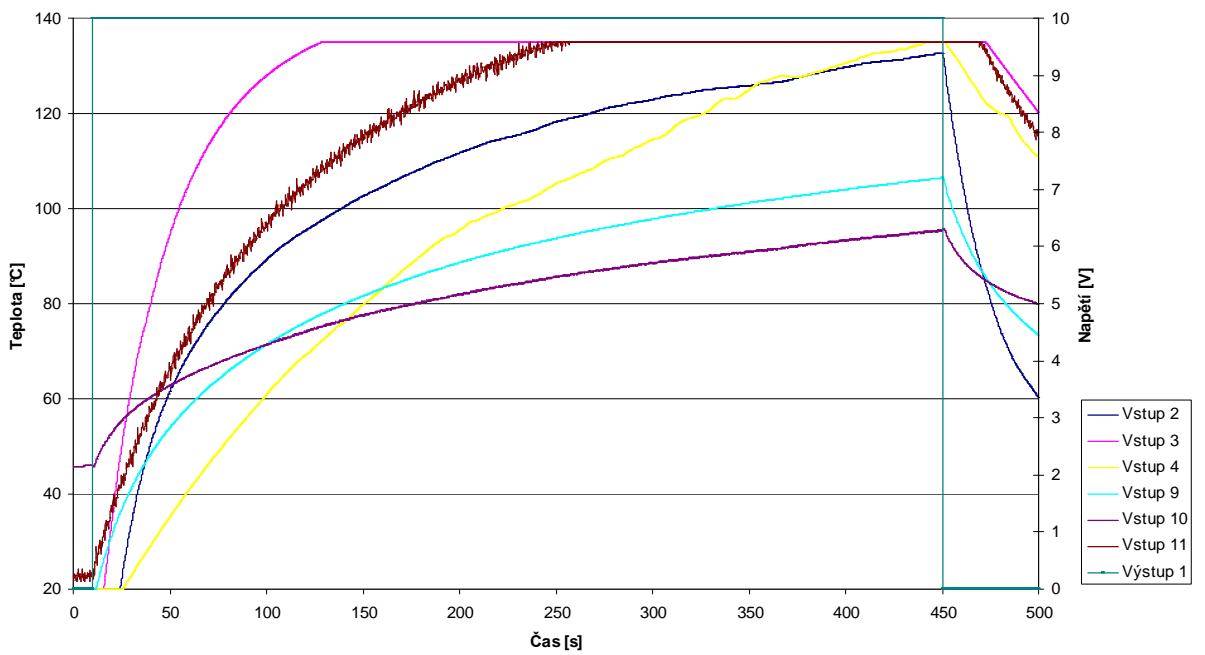
Měření přechodových charakteristik jsem prováděl po dobu 500 sekund, kdy jsem v čase 10 sekund od počátku měření na žárovku přivedl skokovou změnu napětí z 0 na 10V v trvání 440 sekund a sledoval reakci použitých snímačů. Modrou barvou je vyznačen vstup 2, tedy snímač teploty 5 mm od baňky žárovky, růžovou vstup 3, jenž odpovídá snímači teploty na baňce a žlutě vstup 4 tedy snímač v tunelu teplovzdušného obvodu. Všechny tři jsou termistorovými snímači teploty. U modelu 2005 jsou použity i další typy teplotních senzorů.

Přechodová charakteristika snímačů teploty model 2004/1



Obr. 22 Přechodová charakteristika termistorů modelu 2004/1

Přechodová charakteristika snímačů teploty model 2005



Obr. 23 Přechodová charakteristika snímačů teploty model 2005



### 4.3.2 Přebodové charakteristiky snímačů průtoku

#### Údaje o měření:

Čas měření/řízení: 100 (200)s

Komunikace: CTRL(COM1)

vstup6: (anemometr)

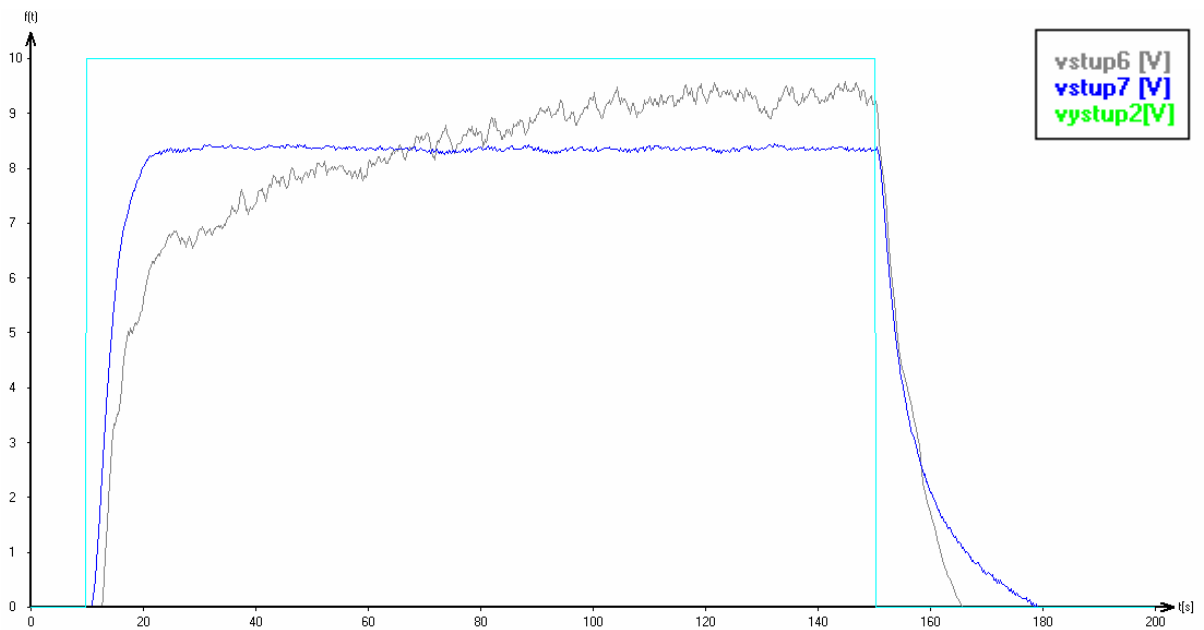
Konstanta=1 Jednotka: V T=0,2

vstup7: (vrtulka)

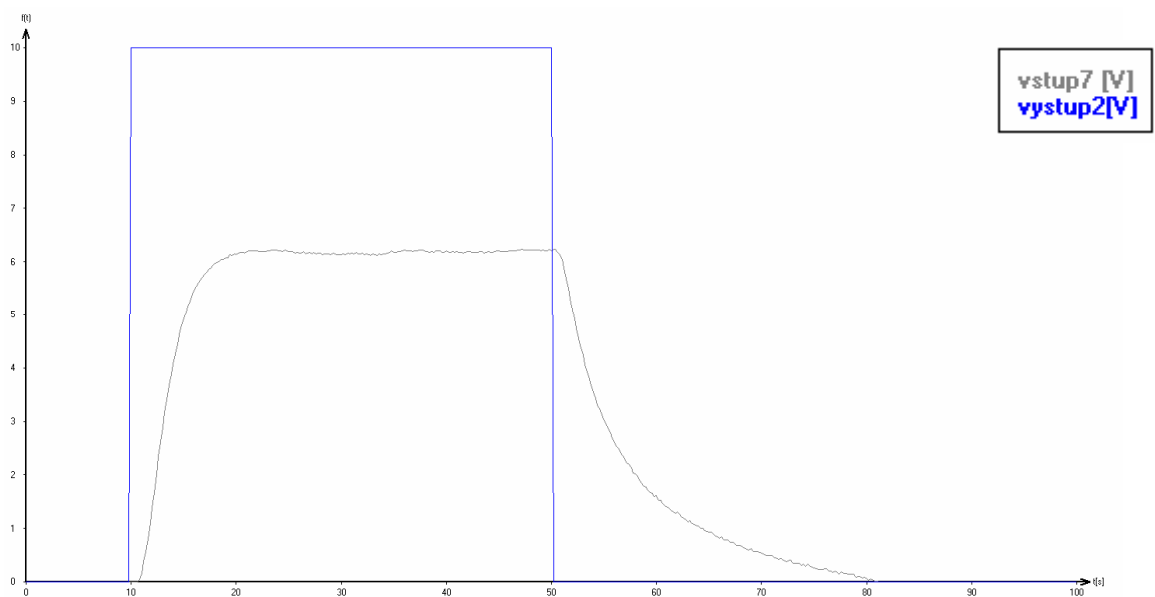
Konstanta=1 Jednotka: V T=0,2

výstup2: zdroj signálu - pravouhlý impuls

K=10 t1=10 t2=70 T=0,2



Obr. 24 Přebodová charakteristika snímačů průtoku model 2004



Obr. 25 Přebodová charakteristika snímačů průtoku model 2005

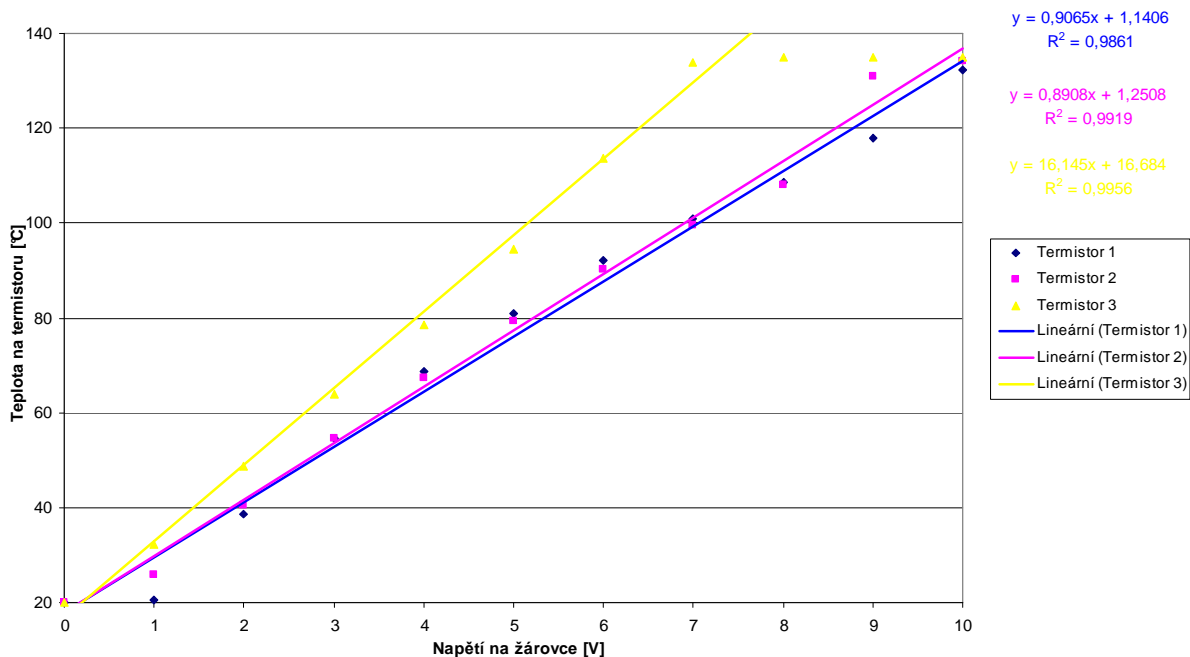
## 4.4 Statické charakteristiky

Statická charakteristika je závislost výstupu na vstupu v ustáleném stavu. Na žárovce jsem tedy postupně nastavil konstantní hodnotu napětí z intervalu 0 - 10V a měřil napětí na termistorech po dobu 100 sekund. Hodnoty jsem vzorkoval v intervalech 5s. Výsledkem tak bylo 20 hodnot naměřených termistorem pro každou úroveň napětí na žárovce. Podobně jsem postupoval v případě měření statických charakteristik průtoku. Rozdíl byl v délce měření pro jednotlivé hodnoty napětí na ventilátoru, tedy ne 100 sekund, ale 30 sekund s vzorkovací periodou 1s (tedy 30 hodnot pro každé napětí). Důvodem zkrácení intervalu byl rychlejší přechod do ustáleného stavu. Jinými slovy, reakce průtokoměrů na zvýšený průtok vzduchu je rychlejší než teplotní děje v případě zvýšení napětí na žárovce. Též postup jsem použil i při měření statických charakteristik fotorezistoru, jen vzorkovací periodu jsem zvolil 5s a délku měření 50s (tedy 10 hodnot pro každé napětí). Naměřené hodnoty jsem importoval do programu Excel. Pro každé konstantní vstupní napětí (na žárovce, ventilátoru) jsem vypočetl průměrnou hodnotu z posledních pěti naměřených napětí na snímači. Získané body statické charakteristiky jsem vykreslil a dopočetl jejich regresní přímky a koeficienty korelace. Koeficient korelace nabývá hodnot v rozmezí 0 až 1. Korelace je 1 v případě rostoucího lineárního vztahu, - 1 v případě klesajícího lineárního vztahu a nějaké hodnoty mezitím ve všech ostatních případech, ukazují míru lineární závislosti mezi proměnnými. Neboli pokud jsou naměřené hodnoty lineárně závislé, bude korelace blízká 1 popřípadě -1. Dále jsem provedl kontrolní měření teploty baňky žárovky měřicím přístrojem PU 521 ve stupních Celsia. Naměřené hodnoty statických charakteristik teplotních snímačů ve voltech jsem posléze přepočtl na teplotu ve stupních Celsia. Statické charakteristiky fotorezistorů jsou opět umístěny v příloze A.

### 4.4.1 Statické charakteristiky snímačů teploty

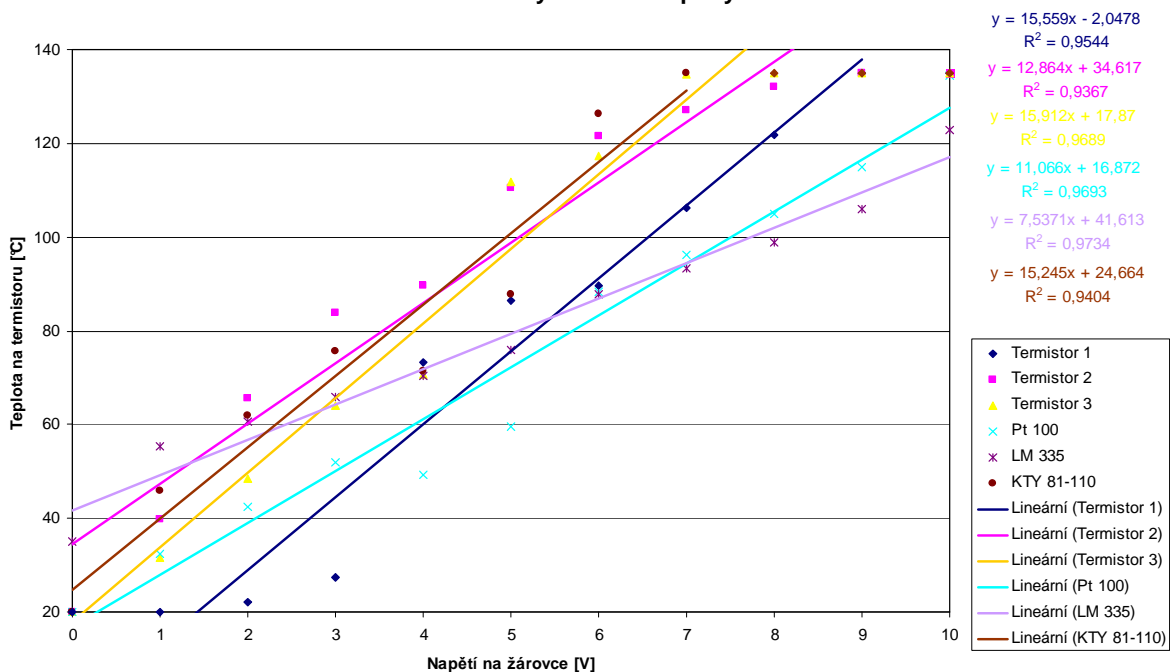
Modrou barvou je vyznačen vstup 2, tedy snímač teploty 5 mm od baňky žárovky, růžovou vstup 3, jenž odpovídá snímači teploty na baňce a žlutě vstup 4 tedy snímač v tunelu teplovzdušného obvodu. Všechny tři jsou termistorovými snímači teploty. U modelu 2005 jsou použity i další typy teplotních senzorů.

### Statické charakteristiky termistorů - model 2004/1



Obr. 26 Statická charakteristika 1

### Statické charakteristiky snímačů teploty - model 2005

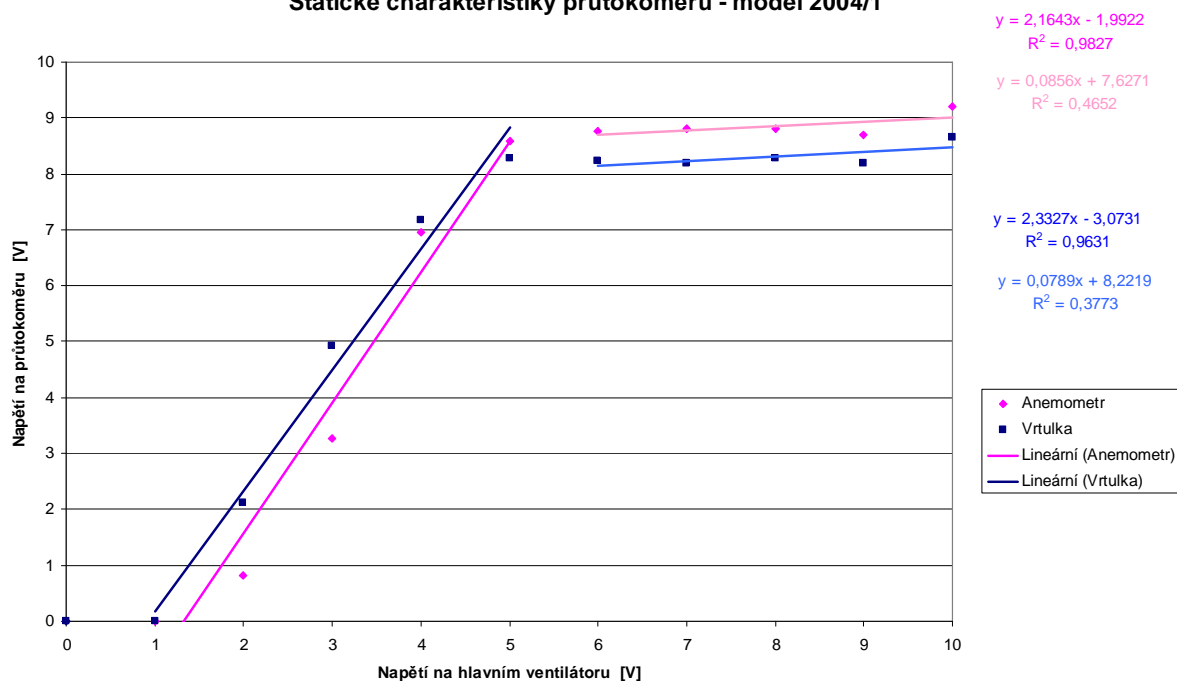


Obr. 27 Statická charakteristika 2

## 4.4.2 Statické charakteristiky snímačů průtoku

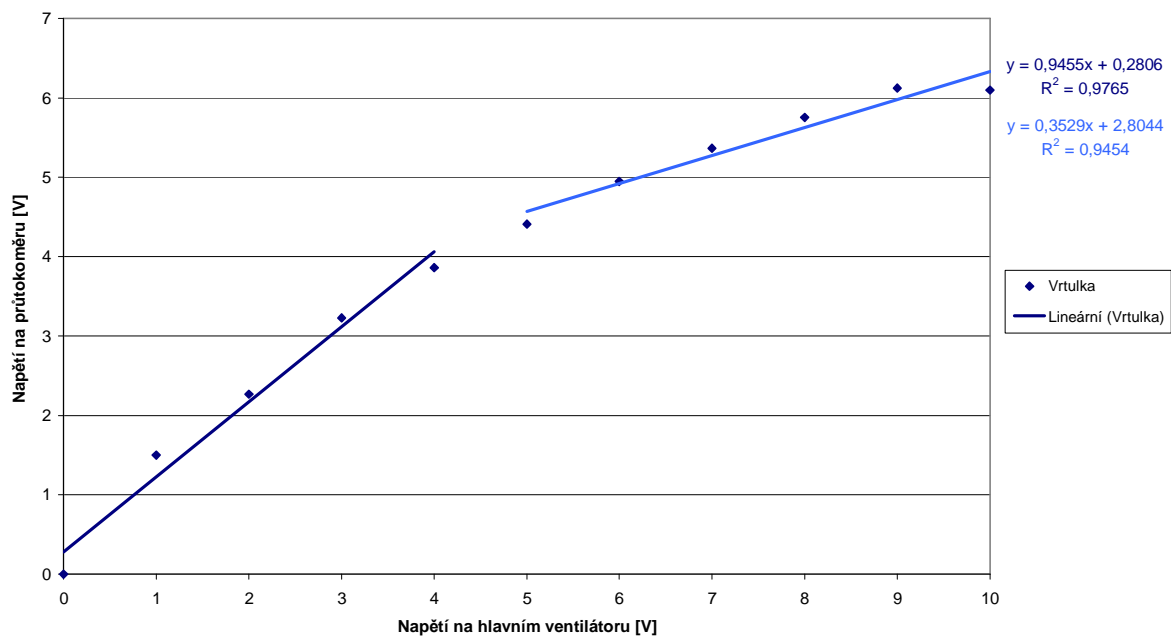
Modře jsou znázorněny hodnoty vrtulkového průtokoměru, růžově termoanemometru a v odstínech těchto barev jejich regresní přímky.

### Statické charakteristiky průtokoměrů - model 2004/1



Obr. 28 Statická charakteristika 3

### Statická charakteristika průtokoměru - model 2005



Obr. 29 Statická charakteristika 4

## 4.5 Srovnání modelů

Na výsledky měření má vliv mnoho faktorů, jako je teplota okolí, výkon použité žárovky, umístění snímače v tunelu, nastavení zesilovačů pro jednotlivé snímače,... Vyzkoušel jsem si upravit hodnoty zesílení na termistorech jednoho z modelů a dospěl jsem k názoru, že je velmi obtížné dosáhnout správného nastavení. Rozptyl koeficientů korelace v případě statických charakteristik dosahoval přijatelných hodnot. U přechodových charakteristik jsou průběhy různě „výškově“ posunuty, což je způsobeno různým nastavením zesílení na modelech. Odlišné seřazení modelů se pak projevuje vznikem situace, kdy snímač ve větší vzdálenosti od žárovky vykazuje vyšší teplotu. Nejvíce mne překvapila přechodová charakteristika anemometru, která byla značně zašuměná.

## 5 NÁVRH ÚPRAV ÚLOHY KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY

- **Přidání digitálního teploměru do teplovzdušné soustavy**

Teplovzdušné modely umístěné v laboratořích katedry 352 neumožňují obsluhu laboratorní úlohy sledování aktuální teploty uvnitř teplovzdušného tunelu v jednotkách pro měření teploty, ale pouze sledování napětí na snímačích bez dalšího přepočtu na jednotky teploty. Z tohoto důvodu bych jako inovaci teplovzdušných modelů navrhoval umístění digitálního teploměru, který by snímal teplotu na baňce žárovky umístěné v tunelu. Obsluha úlohy by tímto mohla sledovat růst teploty v příslušných jednotkách.

- **Nahrazení jednotky CTRL za novou jednotku USB**

Stávající jednotky používané v laboratorních úlohách v souvislosti s teplovzdušnými modely komunikují přes sériové rozhraní, které je v dnešní době hromadně vytlačováno flexibilnějším rozhraním USB. Tudíž jako hlavní úpravu úlohy klimatizační jednotky bych volil náhradu již takřka zastaralé jednotky CTRL novou USB jednotkou, která se nachází v laboratořích katedry ATŘ (obr. 30). Jako softwarová podpora úlohy může být použit program Matlab, jenž je s danou jednotkou schopen komunikovat. V současnosti je na katedře ATŘ vyvíjen zcela nový program umožňující ovládat TVM modely, avšak dosud není navržen pro komunikaci také s USB rozhraním počítače.



*Obr. 30 USB-4711 od firmy Advantech [Havle 2007]*

## 6 REALIZACE ÚPRAVY ÚLOHY KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY

Po konzultaci s vedoucím práce jsem se rozhodl pro náhradu jednotky CTRL za jednotku USB-4711A a zprovoznění laboratorní úlohy za podpory programu WinGap-CTRL. Program WinGap - CTRL s USB vstupy počítače nekomunikoval, tudíž nastávala nutnost zásahu do jeho zdrojového kódu. Popis jednotky a mnou provedené změny jsou popsány níže.

### 6.1 Popis řídicí jednotky USB-4711A

V/V jednotky připojené přes sběrnici USB patří do skupiny prostředků centralizovaného měření. Slouží pro distribuované měření, které využívá komunikačních rozhraní PC ke stažení dat z nezávislých měřících modulů. USB rozhraní není možné používat k přenosu dat na velké vzdálenosti, zvláště v prostředí s vysokou úrovní elektromagnetického rušení. V/V jednotky je tedy nutné umístit poblíž počítače, ale přitom je možné se vyhnout nevýhodám měření s V/V počítačovými kartami. Jednotka není ovlivňována rušením vznikajícím uvnitř PC, instaluje se snadno pouhým zasunutím kabelu.

#### USB-4711 má tyto měřicí a řídicí funkce:

- 16 oddělených analogových vstupů
- vstupní rozsahy: +/-10, +/-5, +/-2.5, +/-1.25, +/-0.625
- 12-bitový A / Č převodník s vzorkovací frekvencí až 150 kHz
- 8 digitálních vstupů a 8 digitálních výstupních kanálů (TTL logika)
- 2 analogové výstupy
- výstupní rozsahy (V): 0~5, 0~10, +/-5, +/-10
- 16-bitový programovatelný čítač / časovač
- programovatelné zesílení pro každý kanál analogového vstupu
- automatický kanál snímání
- integrovaná FIFO ochrana 1K vzorků pro kanály AI
- není potřeba externí napájení
- LED indikátor stavu zařízení
- odnímatelný přístrojový kabel

- podpora vysokorychlostního USB 2.0
- automatické kalibrační funkce
- rychlou propojitelnost [Advantech]

Maximální odebíraný elektrický proud z USB portu je 500 mA, zatímco USB-4711A vyžaduje 360 mA (obvykle). To znamená, že pokud je použit rozbočovač USB, bude potřeba externí napájení pro podporu více než jednoho zařízení USB-4711A. Maximální vzorkovací frekvence pro USB 1.1 je 25kHz [Advantech].

### **Programovatelná schopnost analogových vstupů a automatický kanál skenování**

USB-4711A obsahuje automatický kanál / snímání obvodu. Tato kruhová konstrukce ovládání multiplexeru umožňuje přepínání kanálů při odběru vzorků. Podle svých potřeb můžete nastavit přírůstek různých hodnot pro nastavení rozsahu vstupního napětí pro každý kanál zvlášť. Nastavení zesílení zvolené hodnoty se uloží na SRAM. Toto řešení umožňuje flexibilní multikanálové a vysokorychlostní vzorkování [Advantech].

### **Integrovaná FIFO (First-In-First-Out) Paměť**

USB-4711A poskytuje integrované FIFO vyrovnávací paměti s kapacitou až 1K vzorků. Tato užitečná funkce umožňuje nepřetržitý vysokorychlostní převod dat s pružnějším a předvídatelným nárokem na operační systémy [Advantech].

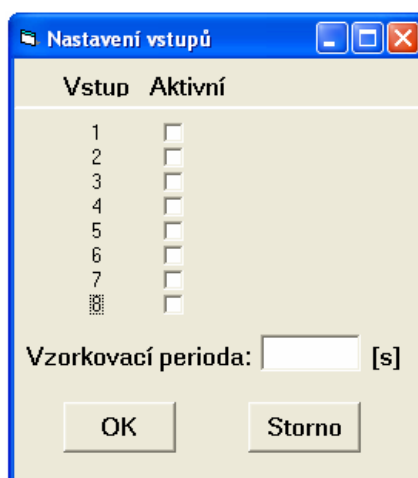
### **Možné použití jednotky**

- snímání a analýza
- procesní řízení a monitorování
- vibrace a přechodové jevy



## 6.2 Ověření aplikace USB jednotky v prostředí Visual Basic 6.0

Nejprve jsem se seznámil s funkcionalitou jednotky USB-4711A a s možností náhrady staré jednotky CTRL vzhledem k počtu vstupů a výstupů. Dále jsem si přečetl manuál dodávaný k této jednotce a nainstaloval příslušné ovladače. Abych se naučil ovládat analogové vstupy a analogové a diskrétní výstupy jednotky pomocí programovacího jazyka Visual Basic 6.0, vytvořil jsem si jednoduché aplikace, které se zaměřily vždy na jednu problematiku ovládání jednotky. Velice mi byly nápomocny již vytvořené aplikace firmou Advantech v tom prostředí dodávané na příbalovém CD k USB jednotce. Mnou vytvořené aplikace jsem posléze importoval do zdrojového kódu programu WinGap-CTRL. Jedním z úkolů mé bakalářské práce bylo vytvoření krátkého programu, který měl umět číst napětí ze zvolených analogových vstupů, zobrazovat toto napětí a posléze hodnoty měření uložit do souboru. Po spuštění programu se objeví formulář pro výběr analogových vstupů, které budou měřeny a pro zadání vzorkovací periody s jakou z nich bude čteno napětí (obr. 31).



Obr. 31 Úvodní formulář pro nastavení vstupů a vzorkovací periody

Po stisknutí tlačítka „OK“ se objeví druhý formulář, ve kterém se zdává čas měření (obr. 32). Po stisknutí tlačítka „Start“ se začne provádět čtení zvolených vstupů. Aktuální hodnoty na jednotlivých vstupech se zobrazují v levé části formuláře a historie naměřených hodnot v pravém okně. Aplikaci můžeme přerušit tlačítkem „Stop“ a dále pokračovat v měření po opětovném zmáčknutí tlačítka „Start“. Aktuální čas měření, který uběhl od zahájení měření lze sledovat v levém dolním rohu. Po uplynutí doby měření můžeme záznam z měření buď uložit do textového dokumentu, kdy se s naměřenými hodnotami uloží i

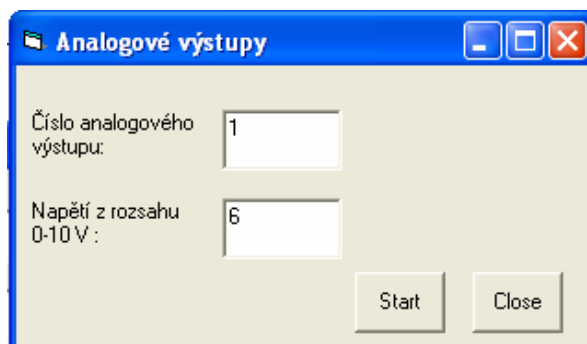
hlavička s údaji o počtu měřených vstupů a času měření, nebo můžeme záznam vymazat a spustit nové měření (obr. 33).

Vstupy:	Naměřené hodnoty:
1 1.67 V	AI 0 2.66 AI 1 1.96 AI 2 2.28 AI 3 2.01 AI 4 1.82 AI 6 1.67 AI 7 1.52 22:21:32
2 1.95 V	AI 0 1.98 AI 1 1.89 AI 2 1.98 AI 3 2.06 AI 4 1.77 AI 6 1.70 AI 7 1.63 22:21:33
3 2.06 V	AI 0 1.75 AI 1 2.06 AI 2 2.09 AI 3 2.04 AI 4 1.70 AI 6 1.70 AI 7 1.66 22:21:34
4 2.09 V	AI 0 1.89 AI 1 1.93 AI 2 1.97 AI 3 2.08 AI 4 1.73 AI 6 1.71 AI 7 1.66 22:21:35
5 1.67 V	AI 0 1.68 AI 1 1.98 AI 2 2.09 AI 3 2.09 AI 4 1.68 AI 6 1.68 AI 7 1.65 22:21:36
	AI 0 1.90 AI 1 1.93 AI 2 1.96 AI 3 2.09 AI 4 1.73 AI 6 1.70 AI 7 1.67 22:21:37
7 1.65 V	AI 0 1.67 AI 1 1.96 AI 2 2.07 AI 3 2.09 AI 4 1.67 AI 6 1.67 AI 7 1.65 22:21:38
8 1.63 V	AI 0 1.78 AI 1 1.99 AI 2 1.94 AI 3 1.99 AI 4 1.65 AI 6 1.65 AI 7 1.64 22:21:39

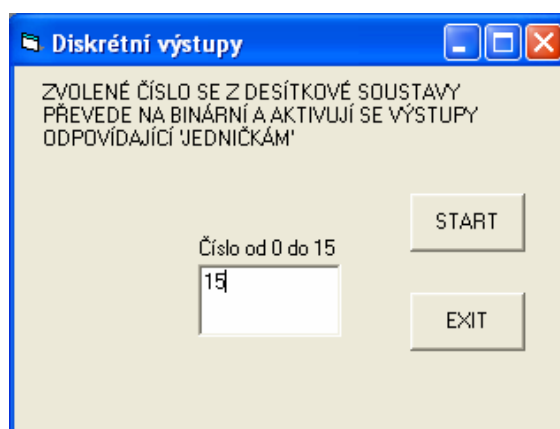
Obr. 32 Formulář pro měření

Obr. 33 Uložení naměřených hodnot

Pro ovládání analogových a diskrétních výstupů USB jednotky jsem napsal taktéž několik krátkých programků, které mohou sloužit dalším studentům k rychlejšímu osvojení práce s USB jednotkou z prostředí Visual Basic 6.0. Na ukázkou jsou na obr. 34 a 35 znázorněny úvodní obrazovky dvou takovýchto jednoduchých programů.



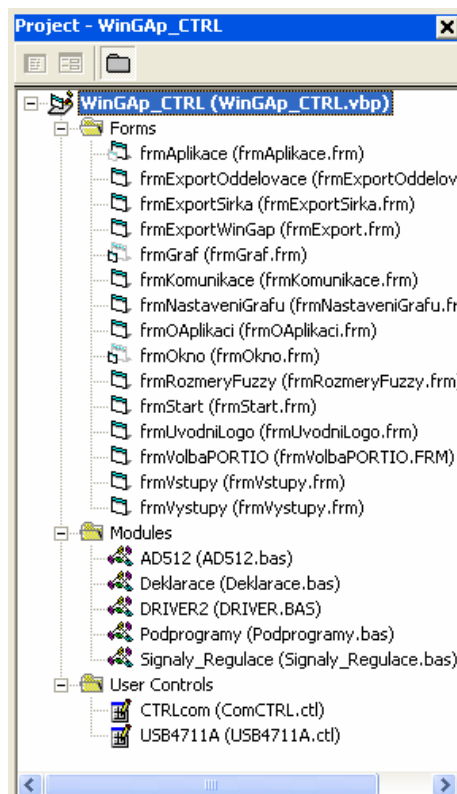
Obr. 34 Program pro vládání analogových výstupů



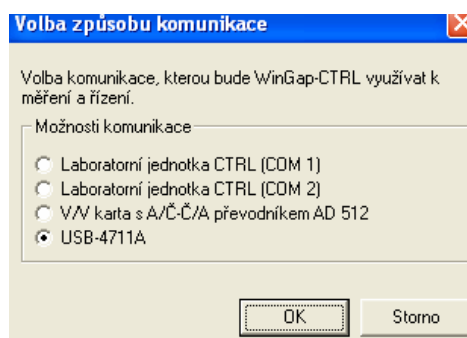
Obr. 35 Program pro vládání diskrétních výstupů

### 6.3 Inovace programu WinGap-CTRL

Jelikož mou používaný měřicí program WinGap-CTRL neumožňoval komunikace s měřicí jednotkou přes rozhraní USB, musel jsem provést několik změn v jeho zdrojovém kódu a to konkrétně ve formulářích frmAplikace, frmKomunikace, frmStart a frmVstupy a vytvořit novou komponentu s jednotlivými subrutinami pro ovládání analogových vstupů a analogových a diskrétních výstupů (obr. 36). Ukázka zdrojového kódu této nové komponenty je umístěna v příloze C. Ve formuláři frmKominukace jsem musel vytvořit novou volbu komunikačního rozhraní s názvem USB-4711A a ve zbylých formulářích popsanych výše, jsem musel realizovat odkazování na tento způsob komunikace (obr. 37). Dále jsem aktualizoval modul Driver.bas, který obsahuje definování příkazů pro práci s jednotkou a modul Deklarace.bas, kde jsem si definoval dvě nové globální proměnné.

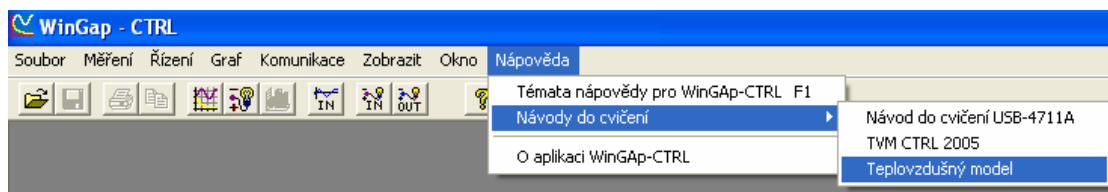


Obr. 36 Strom aplikace



Obr. 37 Formulář volby komunikace

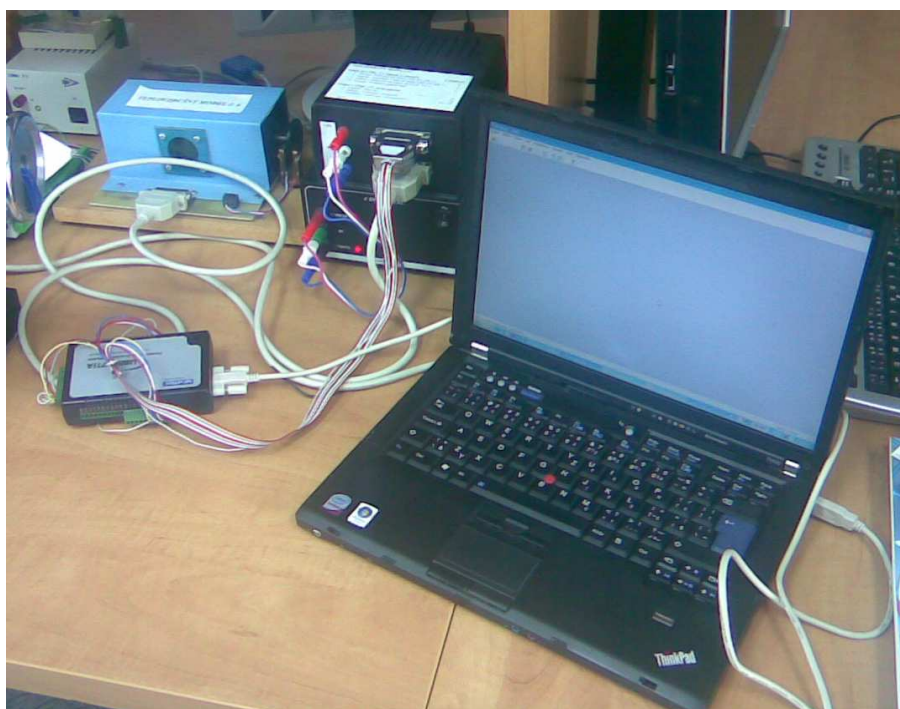
V menu nápověda v hlavním okně programu jsem připsal položku „Návody do cvičení“ a umístil do ní funkční odkazy na studijní materiály katedry 352 s podrobný popisem práce s laboratorním modelem klimatizační jednotky a programem WinGap-CTRL (obr. 38). Dále jsem vytvořil vlastní návod do cvičení, kde jsem popsal práci s USB jednotkou a uvedl postup pro realizaci regulačních úloh na TVM modelu (příloha D). Opět jsem vytvořil odkaz v položce „Návody do cvičení“.



Obr. 38 Náhled položek v menu nápověda

## 6.4 Propojení USB jednotky s teplovzdušným modelem

Laboratorní úlohu klimatizační jednotky s měřicí jednotkou USB-4711A jsem realizoval s modelem č.6 nacházejícím se v laboratoři H303. Ke vstupům a výstupům jednotky jsem připojil malé svorkovnice, z kterých jsem vyvedl jedenácti žilný kabel do konektoru Cannon 25. Ten je dále připojen do vyhodnocovací jednotky teplovzdušného modelu (obr. 39).



Obr. 39 Reálné zapojení laboratorní úlohy s jednotkou USB-4711A

Tab. 4 Zapojení jednotlivých kontaktů

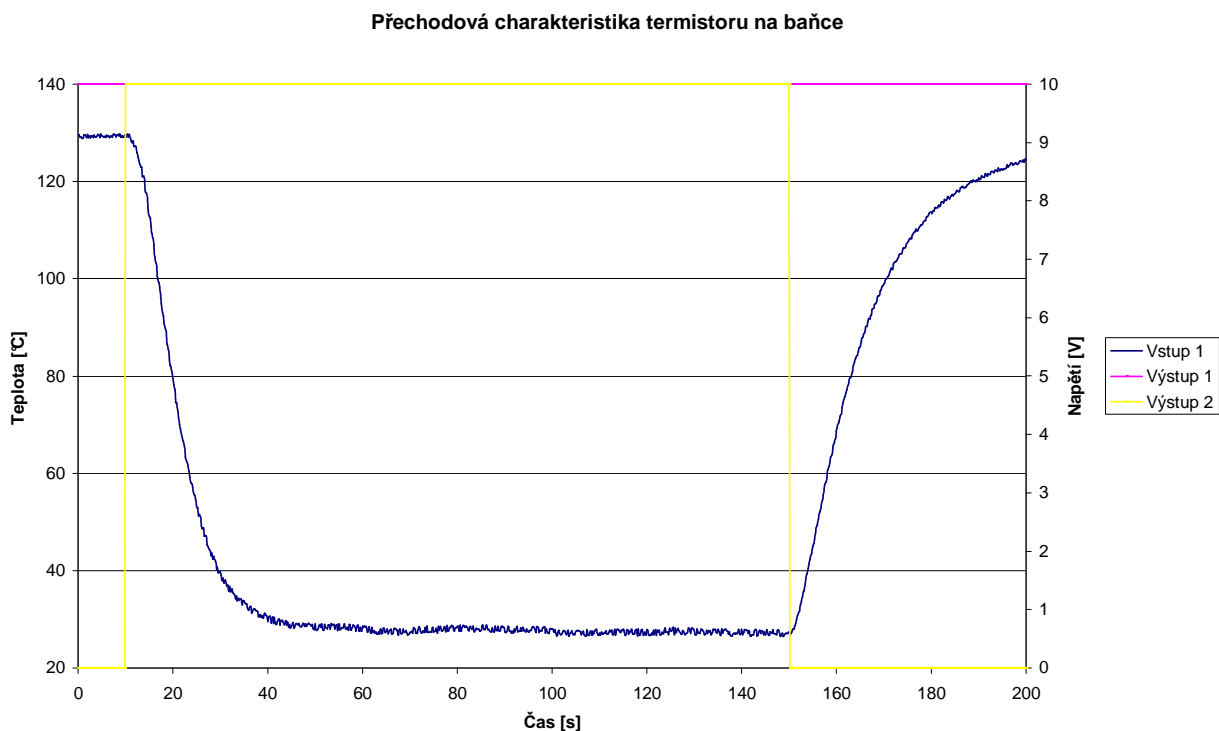
Popis	Kontakt
<b>Vstupy do USB-4711A: signály ze snímačů</b>	Cannon 25
ANALOG – Termistor na baňce (NR 354 20K U)	1
ANALOG – Termistor 5 mm od baňky (NR 354 20K U)	2
ANALOG – Termistor na baňce (KTY 81 210)	3
ANALOG – Vrtulkový průtokoměr	4
<b>Výstupy z USB-4711A: akční veličina</b>	
ANALOG – Žárovka	19
ANALOG – Ventilátor (primární)	20
DISKRÉTNÍ – Ventilátor (sekundární, poruchový)	15-18
<b>ZEM</b>	25

## 6.5 Ověření funkčnosti propojení TVM s USB jednotkou

Funkčnost měřící jednotky USB s teplovzdušným modelem č.6 a mnou inovovaným programem WinGap-CTRL jsem ověřil v řadě měření (viz. příloha D). Na ukázkou přikládám přechodovou charakteristiku termistoru NR 354 20K U umístěného na baňce žárovky (obr. 40) a regulační úlohu s ventilátorem jako akčním členem (obr. 44).

### 6.5.1 Regulační úloha s ventilátorem jako akčním členem

Regulátor nastavuje jako akční veličinu napětí na ventilátoru a tím jeho otáčky, tedy průtok vzduchu tunelem. Generované napětí vstupující do žárovky představuje poruchovou veličinu vyvolávající kolísání teploty, jejíž průběh je možno volit s využitím programu WinGap-CTRL prostřednictvím PC. Identifikaci jsem provedl aproximací přechodové charakteristiky a provedl simulaci v programu Matlab Simulink. Přechodovou charakteristiku jsem měřil při konstantním napětí na žárovce. Na žárovce jsem nastavil napětí 10V, provedl jsem skokovou změnu napětí na ventilátoru z 0 na 10V a ukládal napětí na snímači teploty (vstup 1). Naměřené data jsem importoval do programu Excel (obr. 40).



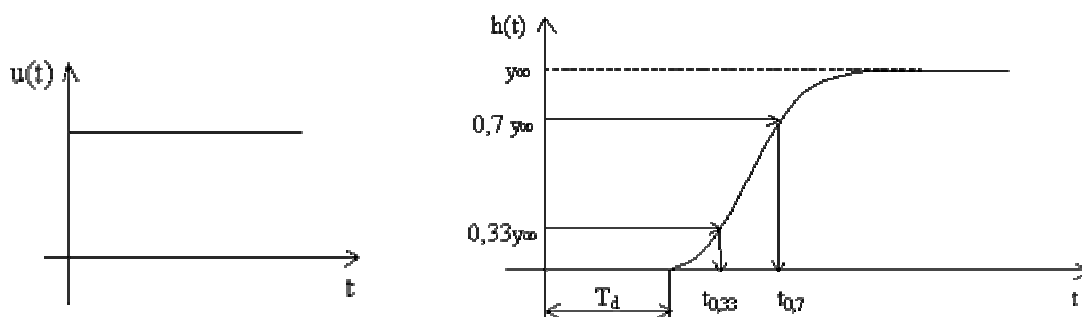
Obr. 40 Naměřená přechodová charakteristika

Podle tvaru funkce jsem se rozhodl pro aproximaci proporcionálním členem se setrvačností prvního řádu s dopravním zpožděním.

Zvolený tvar přenosu:

$$G_S(s) = \frac{k_1}{T_1 \cdot s + 1} \cdot e^{-T_d s} \quad (1)$$

kde  $k_1$  je zesílení,  $T_1$  je časová konstanta a  $T_d$  je dopravní zpoždění. Na obr. 41 je znázorněn tvar vstupního signálu, předpokládaný tvar odezvy a postup odečtu časové konstanty a dopravního zpoždění dvoubodovou metodou.



Obr. 41 Aproximace dvoubodovou metodou s dopravním zpožděním

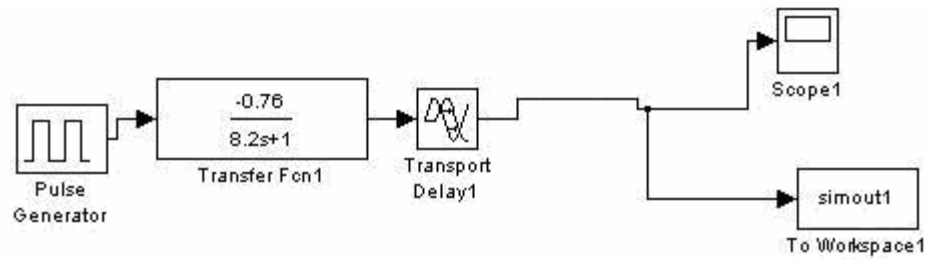
Použité vzorce:

$$T_d = 1,498 \cdot t_{0,33} - 0,498 \cdot t_{0,7} \quad (2)$$

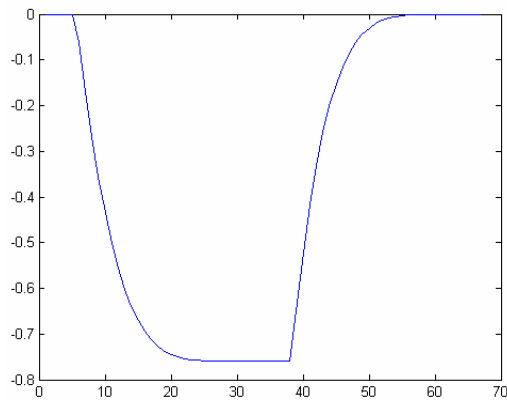
$$T_1 = 1,245 \cdot (t_{0,7} - t_{0,33}) \quad (3)$$

Vypočtená časová konstanta  $T_1 = 8,2$  s, konstanta dopravního zpoždění  $T_d = 3,7$  s a zesílení  $k_1 = 0,76$ .

Simulace v programu Matlab Simulik:



Obr. 42 Simulační model



Obr. 43 Nasimulovaný průběh

Výpočet stavitelných hodnot regulátoru jsem provedl pomocí metody SIMC dle níže uvedených vztahů. Na základě této metody volím PI regulátor.

$$T_1 \leq 8T_d \quad (4)$$

$$kp^* = \frac{T_1}{2k_1T_d} = \frac{8,2}{2 \cdot 0,76 \cdot 3,7} = 1,458 \quad (5)$$

$$T_i^* = T_1 = 8,2 \quad (6)$$



## Údaje o měření:

Reakce RO na skok žádané veličiny z 4V na 8V.

**Čas měření/řízení:** 500 s

**Komunikace:** USB-4711A

**vstup1:** (žádaná veličina)

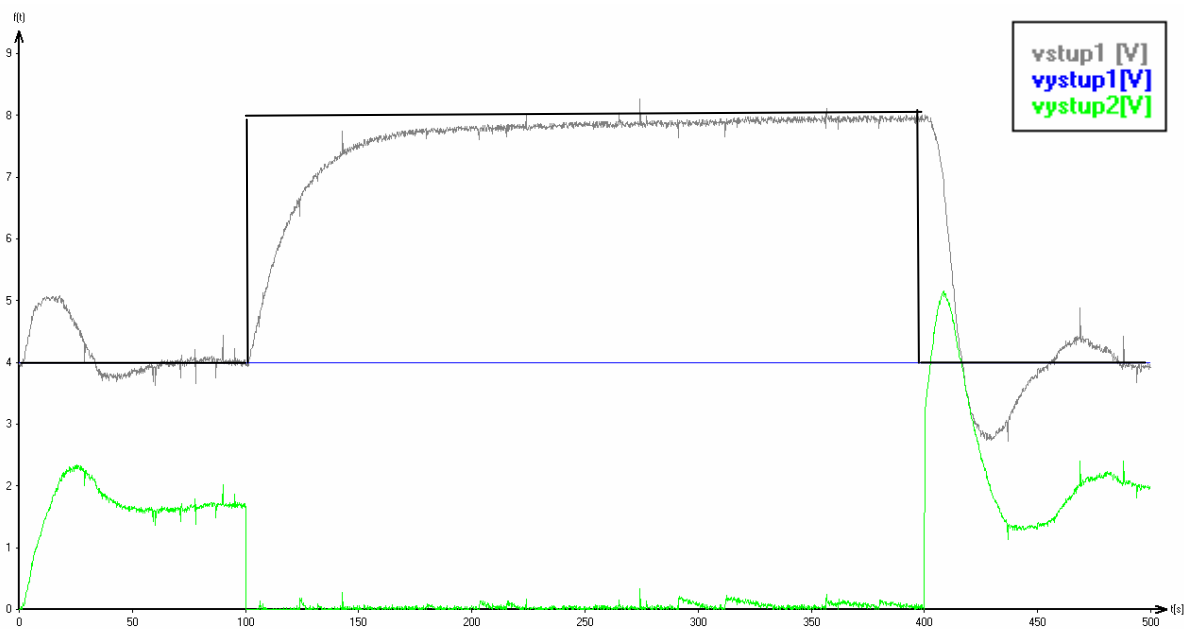
Konstanta=1    Jednotka: V    T=0,2

**výstup1:** zdroj signálu – konstanta (žárovka)

K=4    T=0,2

**výstup2:** regulační – PID (ventilátor – akční veličina)

W=4    Kr=-0,76    Ti=8,2    Td=0    Vstup=1    T=0,2



Obr. 44 Reakce na skok žádané veličiny z 4V na 8V

## 7 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo seznámení se s možnostmi komunikace počítače třídy PC s laboratorním modelem klimatizační jednotky, analýza programových produktů pro měření a zpracování dat pomocí PC a jednotky CTRL či USB, srovnání vlastností dvou teplovzdušných modelů a jejich hardwarového složení. Proměřil jsem je z hlediska obvodu teploty i obvodu průtoku vzduchu. Pro měření byl použit program WinGap - CTRL 2.0 vyvinutý na katedře ATR.

V úvodní části byla provedena analýza komunikačních schopností počítače se zaměřením na komunikaci s modelem klimatizační jednotky a popis jednotlivých částí měřených modelů. Analýza se zaměřila na parametry těchto rozhraní (rychlost komunikace, druhy signálů, časování přenosu, šířka přenosového kanálu,...). Dále jsem v programu Autodesk Inventor vytvořil 3D simulaci teplovzdušného tunelu modelu 2005.

V další části práce jsem v laboratoři odměřil dva nejnovější teplovzdušné modely realizované na katedře automatizační techniky a řízení. Naměřené údaje pomocí programu WinGap - CTRL 2.0 jsem převedl do programu MS Excel a provedl jejich analýzu. Statické charakteristiky jsem aproximoval pomocí přímých úseků. Pro obvod průtoku vzduchu jsem měřil statické charakteristiky vrtulkových průtokoměrů a termoanemometru. Pro obvod teploty jsem měřil statické charakteristiky tří termistorových snímačů teploty umístěných v různých vzdálenostech od tepelného zdroje (žárovky) a u modelu 2005 jsem si vyzkoušel i jiné typy snímačů tepla. Rozptyl koeficientů korelace v případě statických charakteristik dosahoval přijatelných hodnot. U přechodových charakteristik jsou průběhy různě „výškově“ posunuty, což je způsobeno rozdílným nastavením zesílení na modelech. Odlišné seřízení modelů se pak projevuje vznikem situace, kdy snímač ve větší vzdálenosti od žárovky vykazuje vyšší teplotu. Nejvíce mne překvapila přechodová charakteristika anemometru, která byla značně roztřesená.

V závěrečné části byly navrženy možné úpravy laboratorní úlohy klimatizační jednotky a následně byl jeden z návrhů realizován. Realizace obnášela výměnu staré jednotky CTRL za novou USB jednotku a její propojení s teplovzdušným modelem, dále pak úpravu zdrojového kódu měřicí aplikace WinGap-CTRL. Nejprve jsem se seznámil s jednotkou, její funkcionalitou a možnostmi ovládání jejich vstupů a výstupů pomocí programovacího jazyka Visual Basic 6.0. Vytvořil jsem si jednoduché aplikace, které se zaměřily vždy na jednu problematiku ovládání jednotky. Tyto aplikace jsem posléze importoval do zdrojového kódu

programu WinGap-CTRL. Další změnou v měřicím a řídicím softwaru bylo vytvoření nové položky v menu „Nápověda“ s názvem „Návody do cvičení“ v hlavním okně programu. Do této položky jsem umístil odkazy na studijní materiály katedry 352 s podrobným popisem práce s laboratorním modelem klimatizační jednotky a programem WinGap-CTRL. USB jednotku jsem s teplovzdušným modelem propojil pomocí jedenácti žilného kabelu a konektoru Cannon 25. Funkčnost inovované laboratorní úlohy klimatizační jednotky jsem ověřil na teplovzdušném modelu č. 6 umístěném v laboratoři H303. Inovace umožňuje práci s teplovzdušným modelem i prostřednictvím PC bez sériového rozhraní. Student má v současnosti na výběr ze čtyř měřicích a řídicích modulů, s kterými může provádět měření na teplovzdušném modelu. Dále jsem vytvořil návod do cvičení pro práci s USB jednotkou a teplovzdušným modelem, na který se lze jednoduše odkázat z položky v menu „Nápověda“ v hlavním okně programu WinGap-CTRL.

## 8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ADVANTECH, *USB-4711 : User Manual*. [online]., [200-?]. 50 s. Dostupný z [www: <http://support.advantech.com.tw/support/DownloadSRDetail.aspx?SR\\_ID=1-2HOQR5&Doc\\_Source=Download>](http://support.advantech.com.tw/support/DownloadSRDetail.aspx?SR_ID=1-2HOQR5&Doc_Source=Download).

HAVLE, Otto. Měřicí moduly Advantech s rozhraním USB. *Automatizace* [online]. 2007, roč. 50, č.2 [cit. 2010-01-06], s. 113-113. Dostupný z [www: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=1643>](http://www.automatizace.cz/article.php?a=1643).

DAVID, Jiří. *Monitorovací systém prostředí pro dlouhodobé sledování kancelářských prostor* [online]. Brno, 2006. 55 s. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Štětina. Dostupný z [www: <http://ottp.fme.vutbr.cz/pdf/TP06DP03.pdf>](http://ottp.fme.vutbr.cz/pdf/TP06DP03.pdf). ISBN VUT-EU-ODDI-3.

GÜRTLER, Martin; KOCICH, Pavel. *1001 tipů a triků pro Visual Basic*. Praha : Computer Press, 2000. 360 s. ISBN 8072263684.

KLÁN, Petr. Přístroj pro měření a řízení pomocí PC . *Automa* [online]. 2004, roč. 5, č. 11 [cit. 2010-01-06]. Dostupný z [www: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=32619>](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32619).

KULHÁNEK, Jiří. *Počítače a sítě* [online]. První. Ostrava : Editační středisko VŠB-TUO, 2007 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z [WWW: <http://vyuka.fs.vsb.cz/file.php/6/Skripta\\_Pocitace\\_a\\_site.pdf>](http://vyuka.fs.vsb.cz/file.php/6/Skripta_Pocitace_a_site.pdf). ISBN 978-80-248-1516-9.

LIPUS, Marek. *Programová podpora komunikace s mikropočítačovou jednotkou CTRL v prostředí MS Windows 95/98/NT*. Ostrava: katedra automatizační techniky a řízení, VŠB-TU Ostrava, 1999. 63 stran. Bakalářská práce, Vedoucí práce: Prof. RNDr. Lubomír Smutný, Dr..

MANSFIELD, Richard. *Visual Basic 2005 Express Edition For Dummies*. Hoboken: Wiley Publishing, 2006. 336 s. ISBN 0-7645-9705-1.

MOCEK, Zbyniew. *Řízení teplotovzdušného modelu číslicovým regulátorem*. Ostrava: katedra automatizační techniky a řízení, VŠB-TU Ostrava, 2001. 73 stran. Diplomová práce, Vedoucí práce: Prof. RNDr. Lubomír Smutný, Dr..

MORKES, David. *Visual Basic 6.0*. První. Praha : Computer Press, 2000. 180 s. ISBN 80-7226-312-9

NAVRÁTIL, Pavel. *S počítačem nejen k maturitě: 1.díl*. PhDr. Dagmar Procházková; Ing. Michal Jiříček, Pavel Navrátil. 5 : Computer Media s.r.o., 2004. 175 s. ISBN 80-86686-19-1.

SMUTNÝ, Lubomír. *Řízení teplotovzdušného obvodu pomocí PC a mikropočítačové jednotky CTRL – Návod k obsluze*. Ostrava: katedra automatizační techniky a řízení, VŠB-TU Ostrava, 1998. 12 s.

SMUTNÝ, Lubomír. *Počítačová podpora zpracování a prezentace experimentálních dat* [online]. Ostrava: katedra automatizační techniky a řízení, VŠB-TU Ostrava, 1999. Dostupný z www: <<http://www.fs.vsb.cz/akce/1999/ASR99/Proceedings/papers/3/3.htm>>

SMUTNÝ, Lubomír, et al. *Teplovzdušný model TVM (klimatizační jednotka)*. Ostrava: katedra automatizační techniky a řízení, VŠB-TU Ostrava, 1999., 2005. 46 s. Závěrečná zpráva projektu GAČR 102/03/0628.

SMUTNÝ, Lubomír. *Řízení teplotovzdušného modelu TVM pomocí PC a mikropočítačové jednotky CTRL*. Ostrava: katedra automatizační techniky a řízení, VŠB-TU Ostrava, 2002.

ŠARATA, Roman. *Obecné principy měření průtoků*. Zlín: Ústav aplikované informatiky, 2008. 56 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.

ŠKOLNÍK, Petr. *Teplovzdušný model: Popis laboratorní úlohy*. [online]., 2006. 7 s. Katedra řídicí techniky, Technická Univerzita v Liberci, Vedoucí práce Doc. Ing. Osvald Modrlák CSc. Dostupný z www: <<http://mono.rss.tul.cz/skola/pdf/Teplovzduch.pdf>>.

ŠKUTA, Jaromír., SMUTNÝ, Lubomír. *Popis TVM 2005* [online]. Ostrava: katedra automatizační techniky a řízení, VŠB-TU Ostrava, 2005. Dostupný z www: <<http://352lab.vsb.cz/ServerFinalVer/PodklVyuka/PopisTVM.htm>>

VÍTEČKOVÁ, Miluše., VÍTEČEK, Antonín. 2006. *Základy automatické regulace*. 1. vyd. Ostrava: katedra automatizační techniky a řízení, VŠB – TU Ostrava, 2006. 200s. ISBN 80-248-1068-9

WIKIPEDIA, *USB - Wikipedie, otevřená encyklopedie (standard)* [Online] [cit. 2010-01-06] Dostupný z www: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Usb>>.

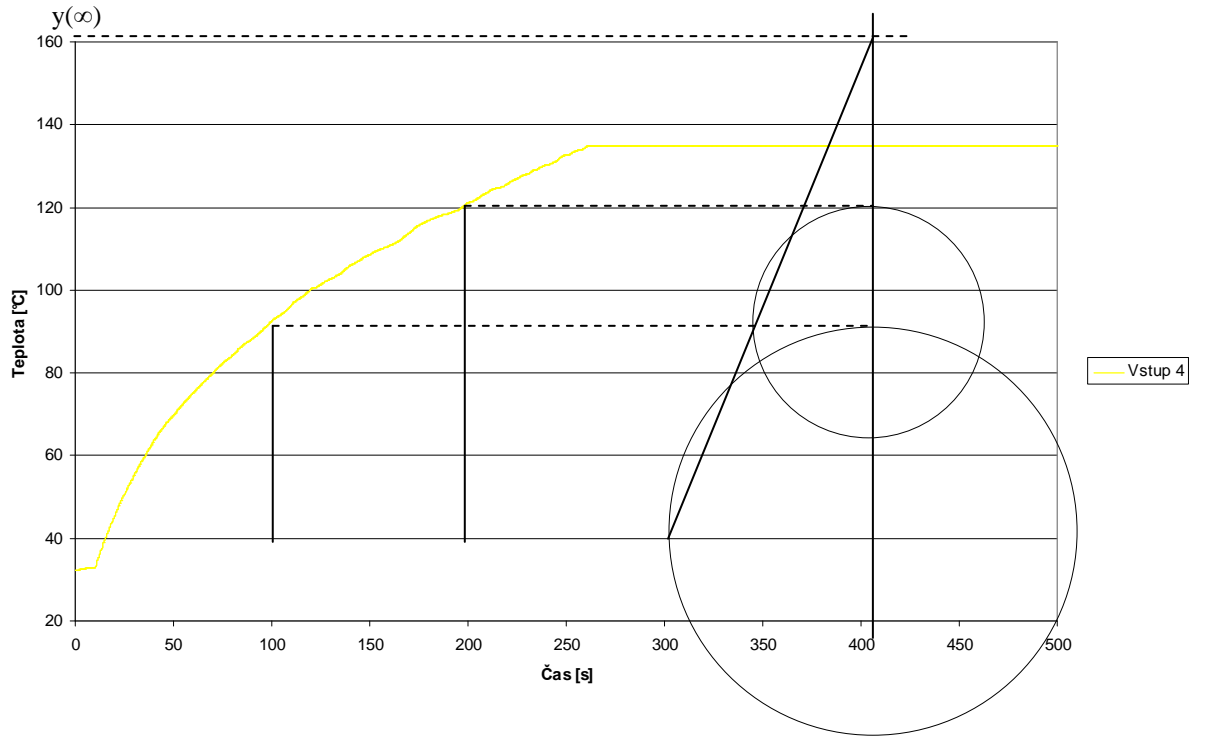
WIKIPEDIA, *Fotorezistor - Wikipedie, otevřená encyklopedie (standard)* [Online] [cit. 2010-01-06] Dostupný z www: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotorezistor>>.

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Grafická konstrukce ustálené hodnoty přechodové charakteristiky	s. 31
Příloha B Charakteristiky fotorezistorů	s. 31
Příloha C Ukázka zdrojového kódu komponenty sloužící k ovládní USB jednotky	s. 43
Příloha D Návod do cvičení	s. 46
Příloha C CD s prací v elektronické podobě	

**Příloha A GRAFICKÁ KONSTUKCE USTÁLENÉ HODNOTY  
PŘECHODOVÉ CHARAKTERISTIKY**

Přechodová charakteristika snímačů teploty model 2004/1



Obr. 1 Grafická konstrukce ustálené hodnoty přechodové charakteristiky



## **Příloha B CHARAKTERISTIKY FOTOREZISTORŮ**

## PŘECHODOVÉ CHARAKTERISTIKY SNÍMAČŮ JASU

**Čas měření/řízení:** 70 s

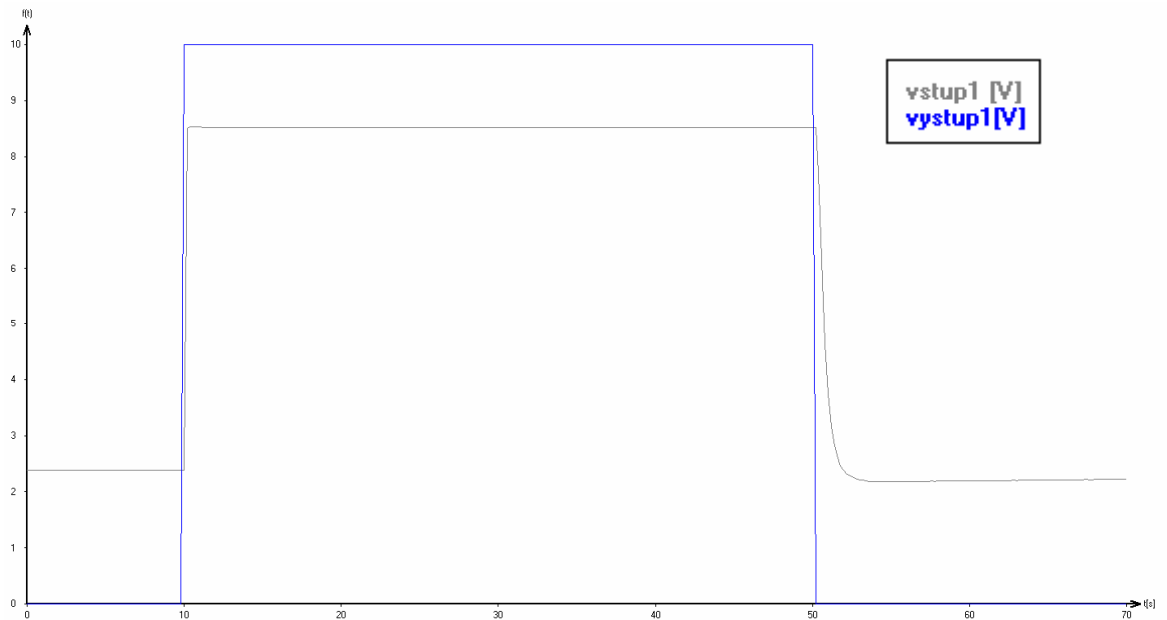
**Komunikace:** CTRL(COM1)

**vstup1:** (fotoodpor)

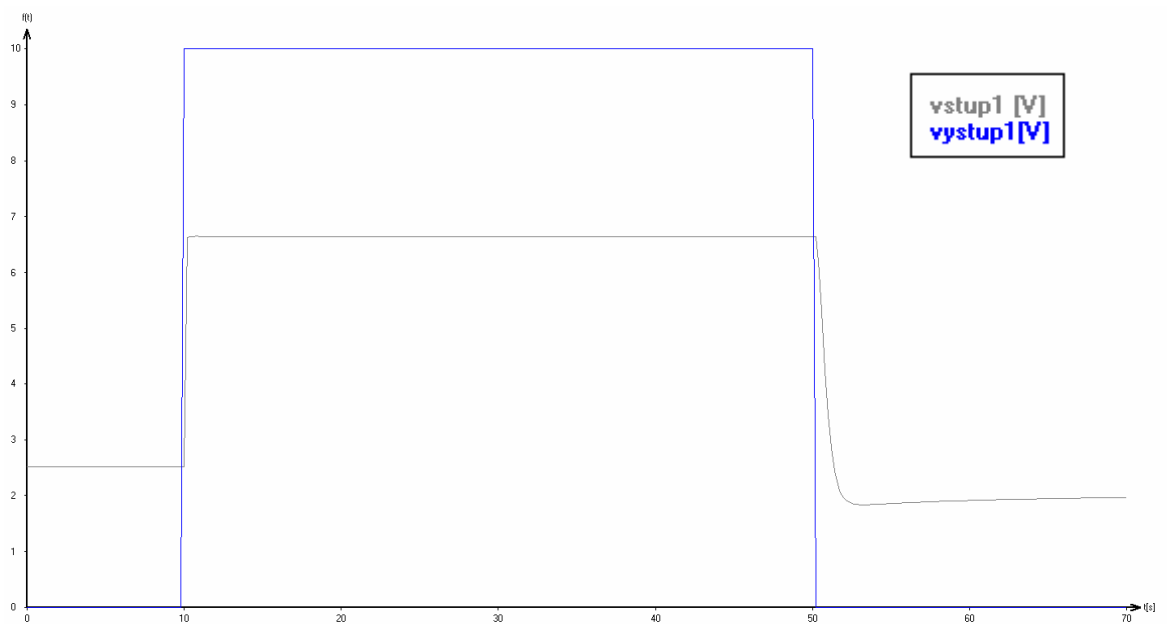
Konstanta=1    Jednotka: V    T=0,2

**výstup1:** zdroj signálu - pravoúhlý impuls

K=10    t1=10    t2=50    T=0,2



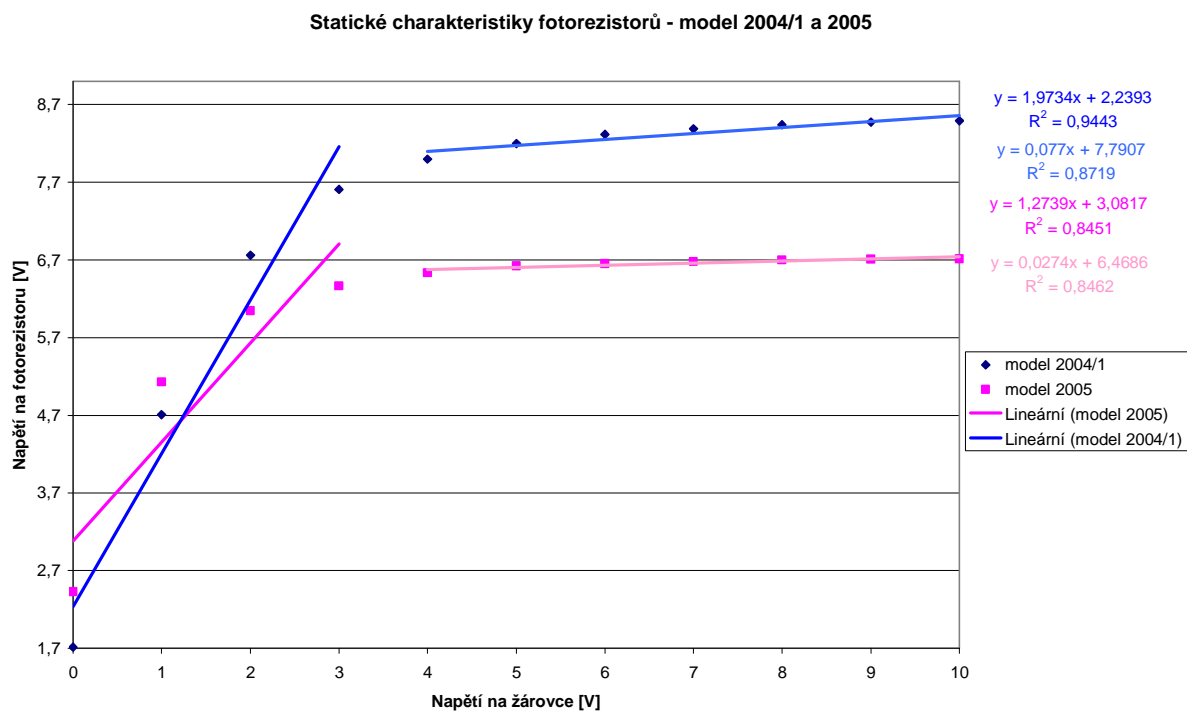
*Obr. 1 Přebodová charakteristika snímače jasů model 2004*



*Obr. 2 Přebodová charakteristika snímače jasů model 2005*

## STATICKÉ CHARAKTERISTIKY FOTOREZISTORŮ

Modrou barvou jsou znázorněny hodnoty fotorezistoru modelu 2004/1, růžovou pak fotorezistoru modelu 2005 a v odstínech těchto barev jejich regresní přímky.



Obr. 3 Statická charakteristika 5

**Příloha C UKÁZKA ZDROJOVÉHO KÓDU KOMPONENTY  
SLOUŽÍCÍ K OVLÁDÁNÍ USB JEDNOTKY**

(čtení napětí ze vstupu 1)

```

'~~~~~Deklarace~~~~~
Public Cas As Integer
Dim ErrCde As Long ' Error code
Dim szErrMsg As String * 80 ' Error string
Dim DeviceHandle As Long
Dim AIConfig As PT_AIConfig
Dim AIVoltageIn As PT_AIVoltageIn
Dim voltage As Single
Dim lpAOConfig As PT_AOConfig
'~~~~~Konec deklarací~~~~~

'Procedura inicializující jednotku USB
Public Sub Inicializuj()

ErrCde = DRV_DeviceOpen(0, DeviceHandle) ' Make sure device number = 0;
zjišťuje, zda je připojeno jen jedna USB jednotka
  If (ErrCde <> 0) Then 'Step 1: open device; zjišťuje, zda je USB
jednotka správně zapojena
    DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
    Response = MsgBox("Zvolený ovládací prvek USB-4711A není
připraven!", vbOKOnly, "Error!!")
    init = False
    Exit Sub
  End If
  init = True 'inicializace proběhla správně

End Sub

'Funkce vracející napětí ze zadaného vstupu jednotky USB
' Dolni - dolní mez měřeného rozsahu hodnot
' Horni - horní mez měřeného rozsahu hodnot
' Kanal - číslo vstupního kanálu jednotky USB (1-16)
' Pokud dojde k chybě při čtení napětí, je generována chybová hláška

Public Function PrectiNapeti(Dolni As Single, Horni _
As Single, kanal As Byte) As Single
Dim ul As Double
  If kanal = 1 Then
    'Step 2: configure input range
    AIConfig.DasChan = 0 ' channel: 0; nastavení vstupu pro měření
    AIConfig.DasGain = 4 ' gain code: 4; nastavení rozsahu měření
    ErrCde = DRV_AIConfig(DeviceHandle, AIConfig)'nastavuje analogový _
vstup
    If (ErrCde <> 0) Then
      DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
      Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
      Exit Function
    End If
    'Step 3: read value
    AIVoltageIn.chan = AIConfig.DasChan
    AIVoltageIn.gain = AIConfig.DasGain
    AIVoltageIn.TrigMode = 0
    AIVoltageIn.voltage = DRV_GetAddress(voltage) 'čte napětí na
zvoleném analogovém vstupu
    ErrCde = DRV_AIVoltageIn(DeviceHandle, AIVoltageIn)
    If (ErrCde <> 0) Then
      DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
      Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
      Exit Function
    End If
    'Step 4: display value
    ul = Format(voltage, "###0.00000")
  End If

```

## **Příloha D NÁVOD DO CVIČENÍ**

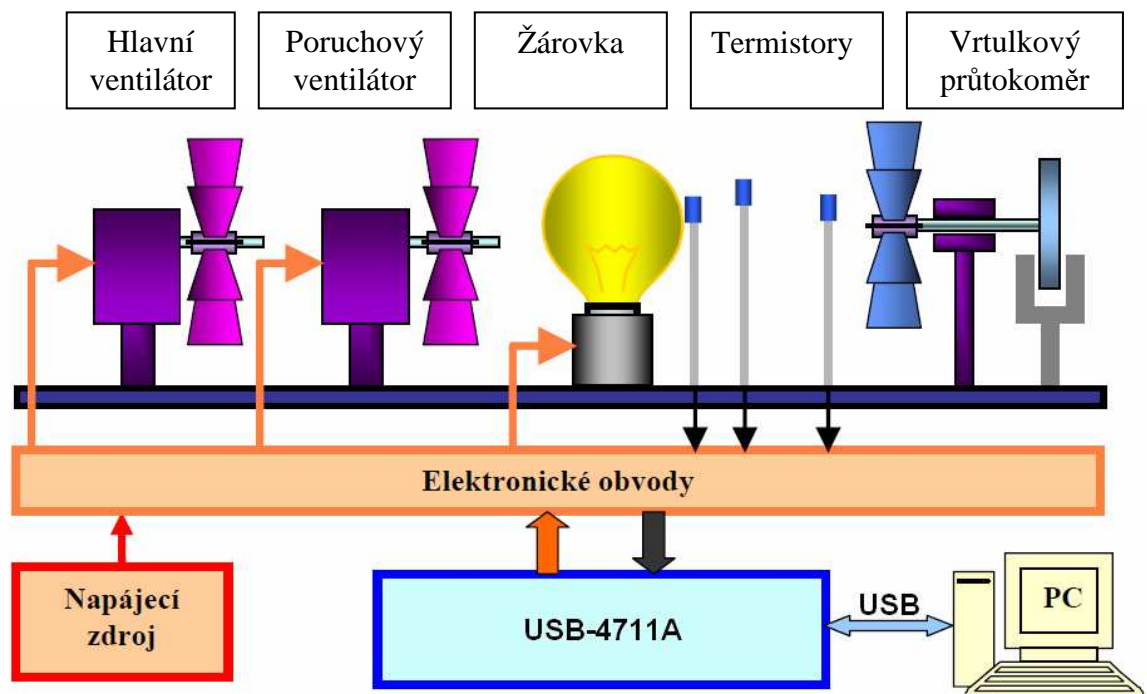
## Zadání

- 1) Seznamte se s teplovzdušným modelem (TVM) a jednotkou USB-4711A.
- 2) Seznamte se s programovým modulem WinGap-CTRL.
- 3) Změřte přechodové charakteristiky, proveďte identifikaci systému a navrhnete regulátor pro vybranou veličinu (průtok, teplota).
- 4) Vyzkoušejte si regulační úlohy s žárovkou (hlavním ventilátorem) jako akčním členem.
- 5) Ověřte vlastnosti dvoupolohové regulace.

## Technické vybavení

- Teplovzdušný model č.6 (lab. H303)
- Jednotka USB-4711A
- Počítač s USB portem
- Programový modul WinGap-CTRL komunikující s danou jednotkou
- Napájecí zdroje pro model a jednotku CTRL
- Propojovací a napájecí kabely

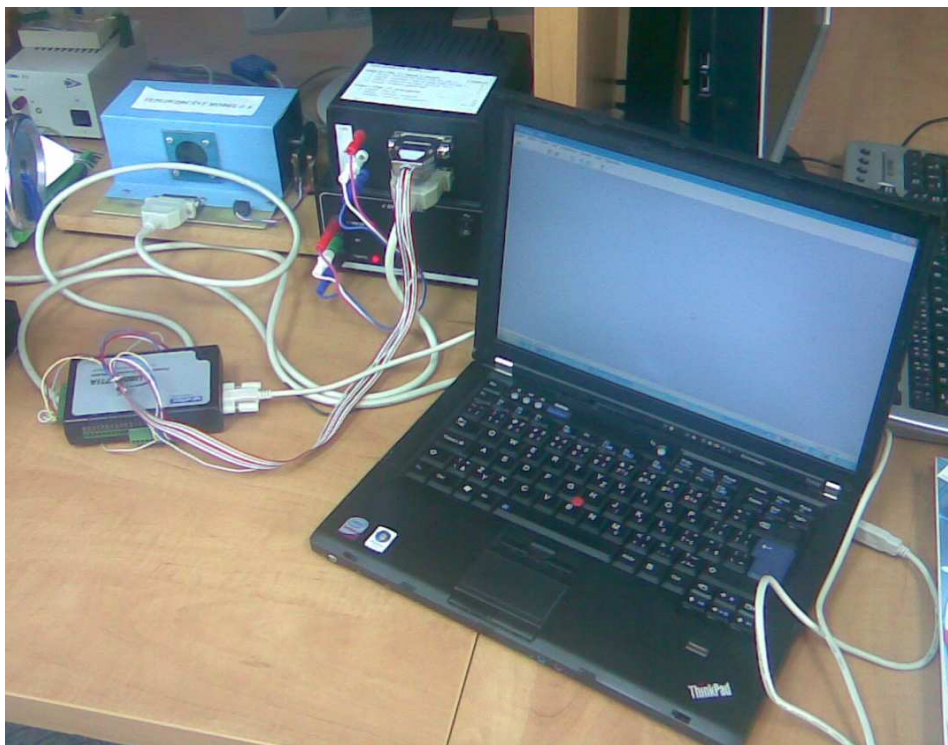
## Schéma zapojení



Obr. 45 Schéma zapojení laboratorní úlohy

## Popis modelu a zapojení

Teplovzdušný model je tvořen žárovkou napájenou z ovladatelného zdroje napětí, hlavním a poruchovým ventilátorem, třemi termistorovými snímači teploty a vrtulkovým průtokoměrem. Žárovka je tepelným i světelným zdrojem a je umístěná v krytém tunelu, kterým je nasáván či vytlačován vzduch pomocí hlavního a případně poruchového (vedlejšího) ventilátoru (ten je rovněž napájen pomocí říditelného zdroje napětí). Model teplovzdušného obvodu můžeme ovládat dvěma akčními členy tj. zdroj tepla – žárovka a hlavní ventilátor. Programátor má možnost volby výstupní (měřené) veličiny, kterou může být teplota měřená snímači umístěnými v různých vzdálenostech od zdroje tepla – žárovka, nebo průtok vzduchu v tunelu měřený vrtulkovým průtokoměrem. Jednotlivé členy jsou přes unifikací modul připojeny k jednotce USB-4711A a ta je připojena k počítači prostřednictvím rozhraní USB (obr. 2).



*Obr. 46 Reálné zapojení laboratorní úlohy s jednotkou USB-4711A*



## Vstupy a výstupy teplovzdušného modelu

Tab.1 Zapojení jednotlivých kontaktů

Popis	Kontakt
<b>Vstupy do USB-4711A: signály ze snímačů</b>	Cannon 25
ANALOG – Termistor na baňce (NR 354 20K U)	1
ANALOG – Termistor 5 mm od baňky (NR 354 20K U)	2
ANALOG – Termistor na baňce (KTY 81 210)	3
ANALOG – Vrtulkový průtokoměr	4
<b>Výstupy z USB-4711A: akční veličina</b>	
ANALOG – Žárovka	19
ANALOG – Ventilátor (primární)	20
DISKRÉTNÍ – Ventilátor (sekundární, poruchový)	15-18
<b>ZEM</b>	25

Pozn. Před prací s jednotkou USB-4711A je nutná instalace ovladačů z příbalového CD od firmy Advantech.

### Program WinGap-CTRL

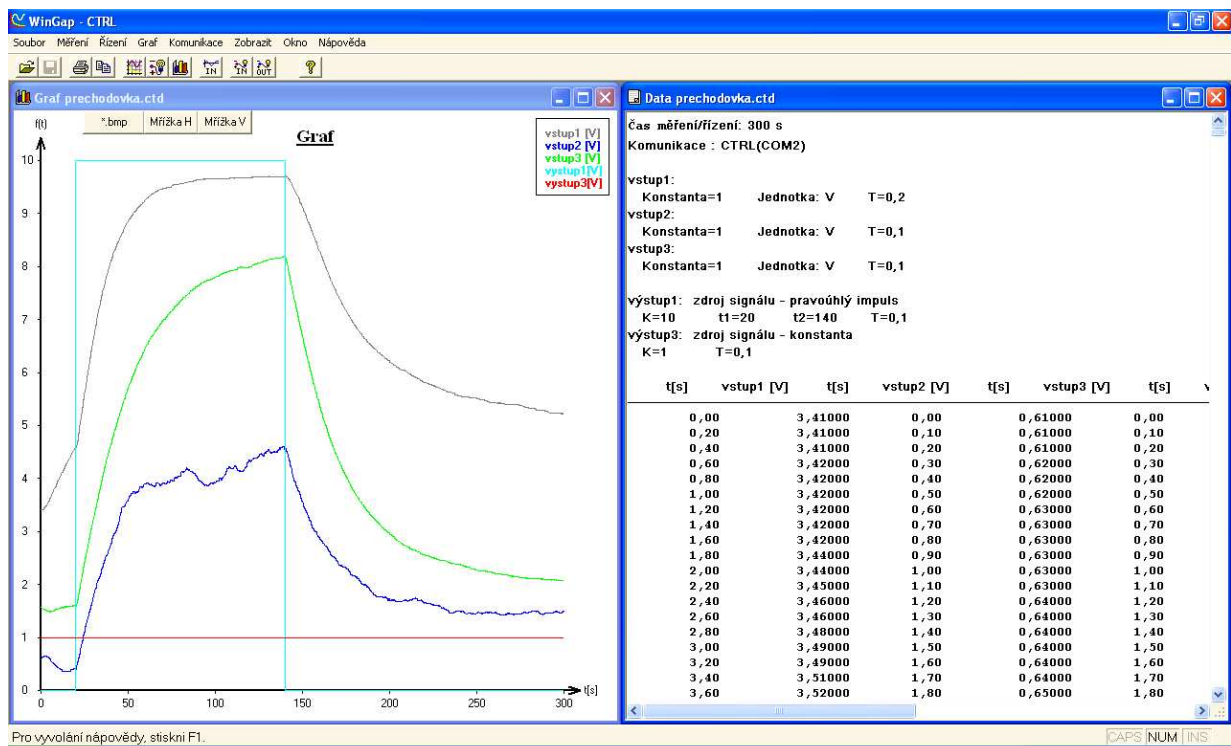
Slouží jako podpora komunikace mezi počítačem třídy PC a mikropočítačovou jednotkou CTRL nebo USB-4711A. S využitím této komunikační podpory pak program dále umožňuje provozování měřicích a řídicích úloh s využitím PC jako řídicího a monitorovacího členu. Jeho zásadní význam je ten, že dokáže simulovat určitý typ regulátoru s nastavitelnými parametry pro řízení vlastního modelu TVM. Naměřená data je možno ukládat do ASCII souboru \*.cdt, automaticky je vytvořen i soubor \*.cti, jenž obsahuje informace o aktivních vstupech, výstupech a použitých vzorkovacích periodách. Není tedy problém data importovat do jiných programů [LIPUS 1999].

### Základní způsoby regulace:

- **Dvoupolohová regulace** - realizace dvoupolohového regulátoru s nastavením žádané hodnoty  $W$ , hystereze  $H$ , vzorkovací periody  $T$ , výstupního napětí pro „zap“  $Z$  a „vyp“  $V$ , a čísla vstupu pro měření skutečné hodnoty.
- **Spojité PID regulace** - realizace pseudospojitého PID regulátoru s nastavením žádané hodnoty  $W$ , zesílení regulátoru  $K_R$ , integrační  $T_I$  a derivační  $T_D$  časové konstanty, vzorkovací periody  $T$  a čísla vstupu pro měření skutečné hodnoty.
- **Fuzzy – PI regulátor** - realizace fuzzy PI regulátoru s nastavením žádané hodnoty  $W$ , vzorkovací periody  $T$ , čísla vstupu pro měření skutečné hodnoty a rozměrů fuzzy množin  $a$ ,  $b$ ,  $c$ .
- **Dvoupolohová s penalizací** - realizace dvoupolohové regulace s penalizací, jejím principem je postupné omezení akčního zásahu u regulátoru tak, aby jeho velikost zajišťovala ustálení regulované veličiny  $y$  na žádané hodnotě, čehož lze docílit jen při znalosti statické charakteristiky soustavy. Nenastavujeme hysterezi, ale pásmo penalizace  $PPP$  a navíc parametry statické charakteristiky  $a$ ,  $b$ .

### Zdroje signálů:

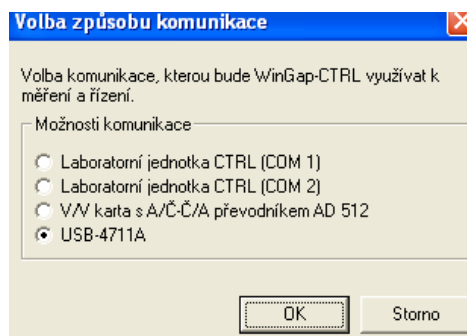
- Sinus
- Obdélník
- Trojúhelník
- Šum
- Pravoúhlý impuls
- Konstanta



Obr. 47 Výstupní obrazovka programu WinGap-CTRL

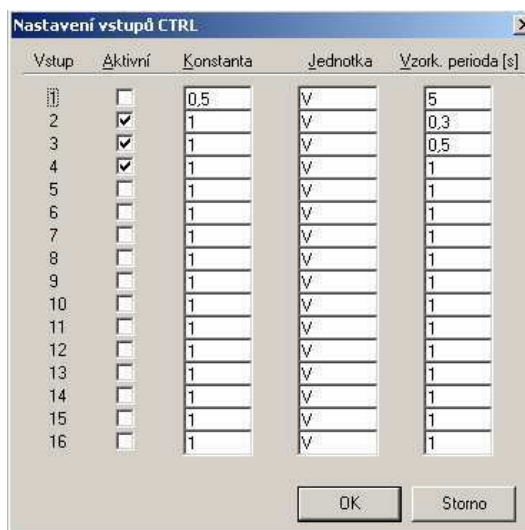
## Práce s programem WinGap-CTRL

- 1) Zapojíme teplovzdušný model dle obr. 2.
- 2) Zapneme počítač a teplovzdušný model.
- 3) Spustíme program WinGap-CTRL.
- 4) V menu Komunikace / Volba způsobu komunikace nastavíme komunikační port na USB-4711A (obr. 4).



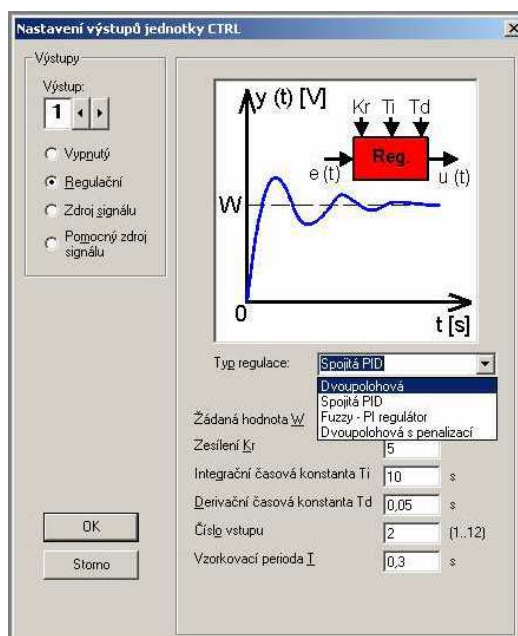
Obr. 48 Volba způsobu komunikace

- 5) V menu Řízení / Nastavení vstupů aktivujeme požadované vstupy a nastavíme jejich parametry (Obr. 5).



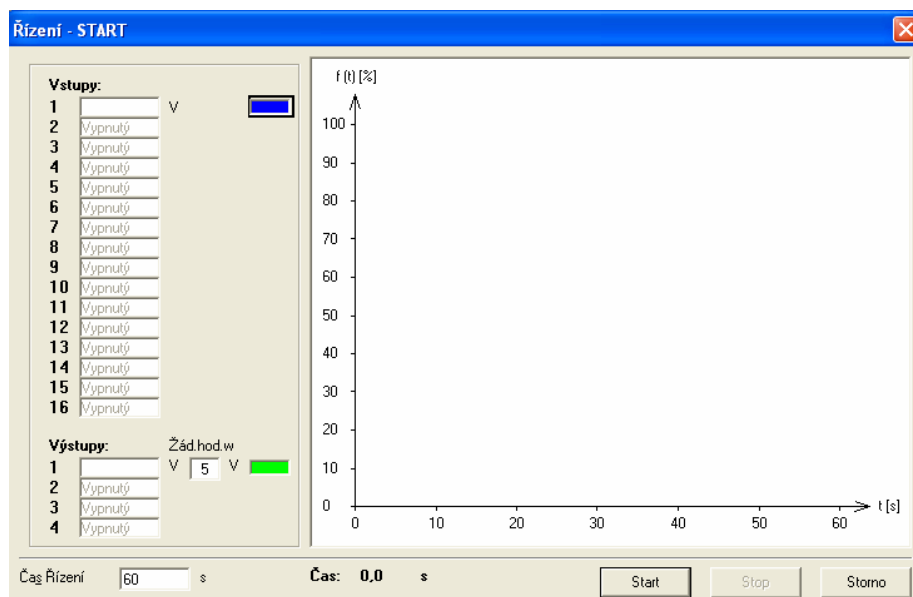
Obr. 49 Nastavení vstupů

- 6) V menu Řízení / Nastavení / Výstupní kanály nastavíme požadované výstupy. Zde také můžeme nastavit typ regulace a její parametry (obr. 6).



Obr. 50 Nastavení výstupů

- 7) Z menu Řízení / Start spustíme obrazovku pro řízení TVM modelu.
- 8) Zadáme dobu řízení (měření) a spustíme úlohu (obr.7).

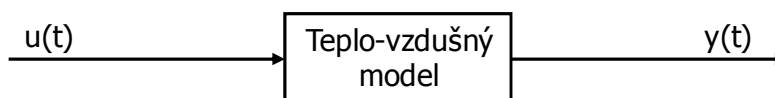


Obr. 51 Hlavní obrazovka řízení (měření)

- 9) Po ukončení měření můžete uložit tabulku naměřených vstupních hodnot (Obrázek) pro další zpracování nebo vykreslit naměřené hodnoty do grafu (obr. 3).

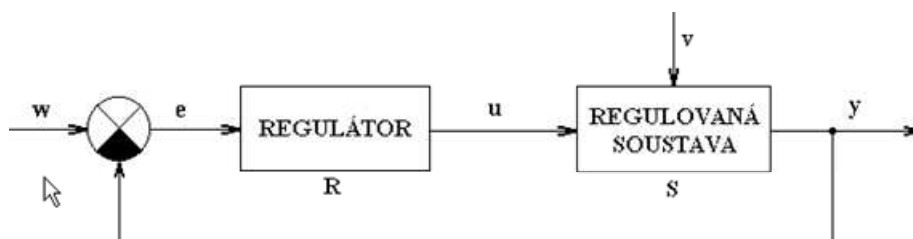
## Teoretický rozbor k regulačním úlohám

- **Experimentální identifikace** - získáním odezvy systému působením vhodných testovacích signálů na reálný systém stanovení matematického modelu.



Obr. 52 Neidentifikovaná soustava

- **Syntézou regulačních obvodů rozumíme** - návrh struktury regulačního obvodu, tj. regulátoru a jeho parametrů tak, aby obvod splňoval požadavky kladené na regulační pochod.



Obr. 53 Schéma RO

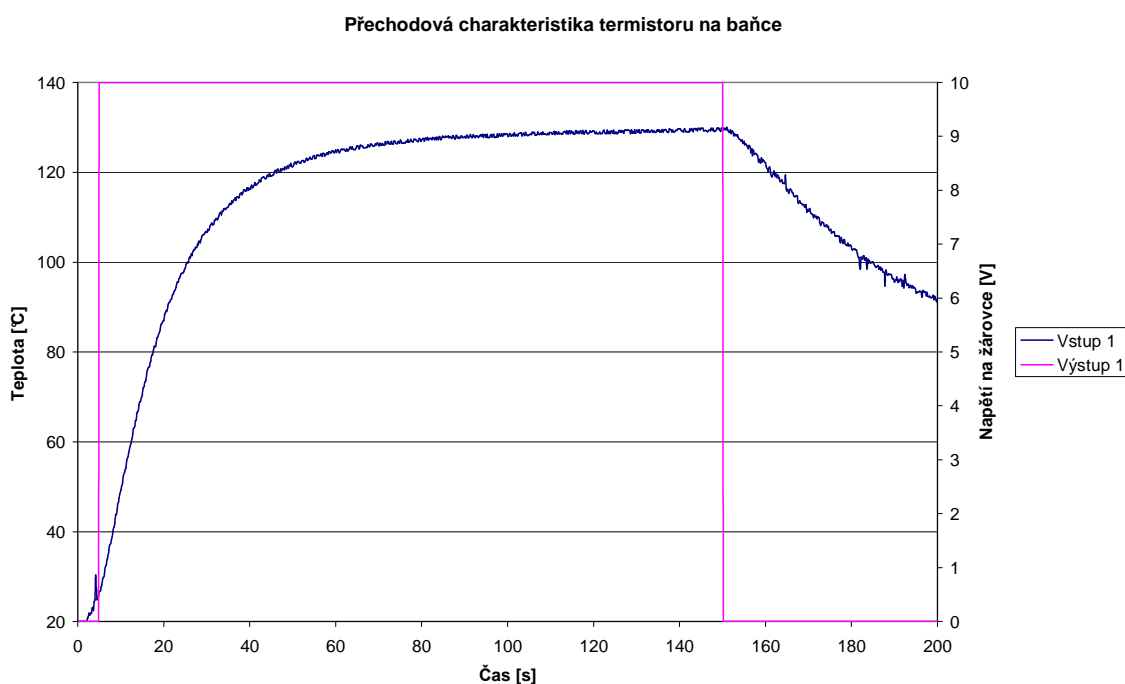
## Postup vypracování úlohy:

- 1) Změřte přechodové charakteristiky.
- 2) Proveďte identifikaci systému z přechodové charakteristiky  
(viz. [http://www.352.vsb.cz/uc\\_texty/Identifikace/str/metody.htm#ma1#ma1](http://www.352.vsb.cz/uc_texty/Identifikace/str/metody.htm#ma1#ma1)).
- 3) Proveďte simulaci soustavy v simulačním programu Matlab Simulink
- 4) Libovolnou metodou navrhnete regulátor pro vybranou veličinu (průtok, teplota).
- 5) Realizujte regulační úlohy.

### 1) Regulační úloha s žárovkou jako akčním členem

Regulátor nastavuje jako akční veličinu napětí na žárovce. Změna průtoku vzduchu generovaná ventilátorem tvoří poruchovou veličinu. Řídíme tedy žárovku, ta v závislosti na přiváděném napětí vyzařuje určité množství tepla. Poruchou jsou otáčky ventilátoru, tedy množství chladného vzduchu proudící modelem. Průběh poruchy lze nastavit prostřednictvím programu WinGap\_CTRL. Identifikaci jsem provedl aproximací přechodové charakteristiky. Přechodovou charakteristiku jsem měřil pro skokovou změnu napětí na žárovce z 0 na 10V a ukládal průběh teploty snímače teploty (vstup 1). Naměřené data jsem importoval do programu Excel (obr. 10).

- **Měření přechodové charakteristiky**



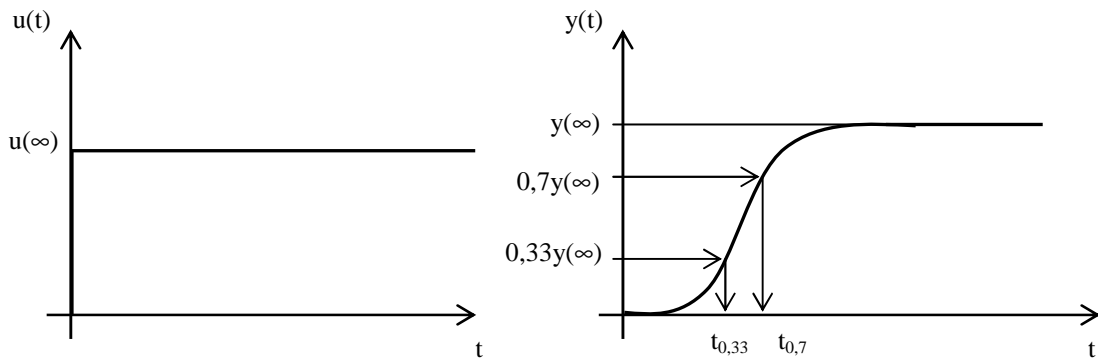
Obr. 54 Přechodová charakteristika

- **Identifikace systému**

Zvolený tvar přenosu:

$$G(s) = \frac{k_1}{T_1 \cdot s + 1} \quad (1)$$

kde  $k_1$  je zesílení,  $T_1$  je časová konstanta a  $T_d$  je dopravní zpoždění. Na obrázku je znázorněn tvar vstupního signálu, předpokládaný tvar odezvy a postup odečtu časové konstanty a dopravního zpoždění dvoubodovou metodou.



Obr. 55 Aproximace dvoubodovou metodou bez dopravního zpoždění

Parametry přenosu určíme takto:

- 1) Stanovíme hodnoty  $y_{0,7} = 0,7 \cdot y(\infty)$ ,  $y_{0,33} = 0,33 \cdot y(\infty)$  a jim odpovídající časové okamžiky  $t_{0,7}$  a  $t_{0,33}$ .
- 2) Z hodnot  $t_{0,7}$  a  $t_{0,33}$  vypočteme parametry přenosu podle vztahů:

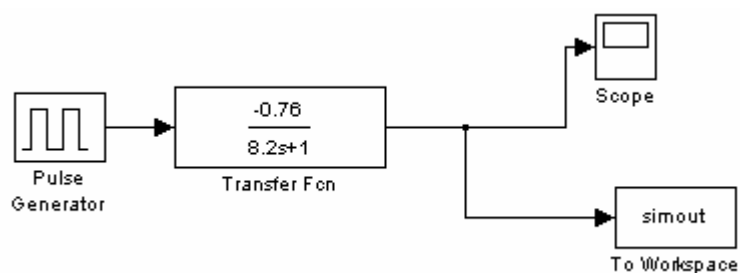
$$T_1 = 1,245 \cdot (t_{0,7} - t_{0,33}) \quad (2)$$

- 3) Zesílení  $k_1$  se vypočte podle vztahu:

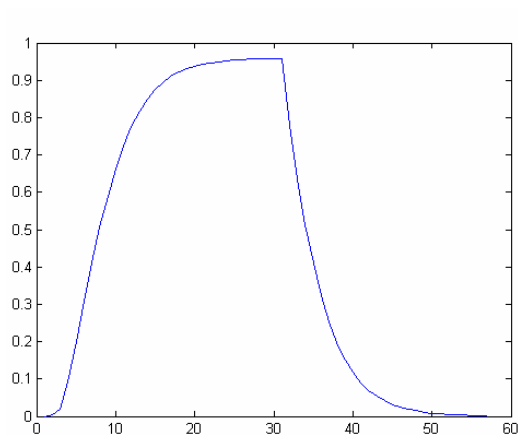
$$k_1 = \frac{y(\infty)}{u(\infty)} \quad (3)$$

Vypočtená časová konstanta  $T_1 = 15,4$  s a zesílení  $k_1 = 0,96$ .

- **Simulace soustavy**



Obr. 56 Simulační model



Obr. 57 Nasimulovaný průběh

- **Syntéza regulátoru**

Výpočet stavitelných hodnot regulátoru jsem provedl pomocí metody optimálního modulu dle níže uvedeného vztahu. Na základě této metody volím I regulátor.

$$T_I^* = 2k_1T_1 = 2 \cdot 0,96 \cdot 15,4 = 29,568 \quad (4)$$



- **Realizace regulační úlohy**

Reakce RO na skok žádané veličiny z 3 na 5V.

**Čas měření/řízení:** 500 s

**Komunikace:** USB-4711A

**vstup1:** (žádaná veličina)

Konstanta=1    Jednotka: V    T=0,2

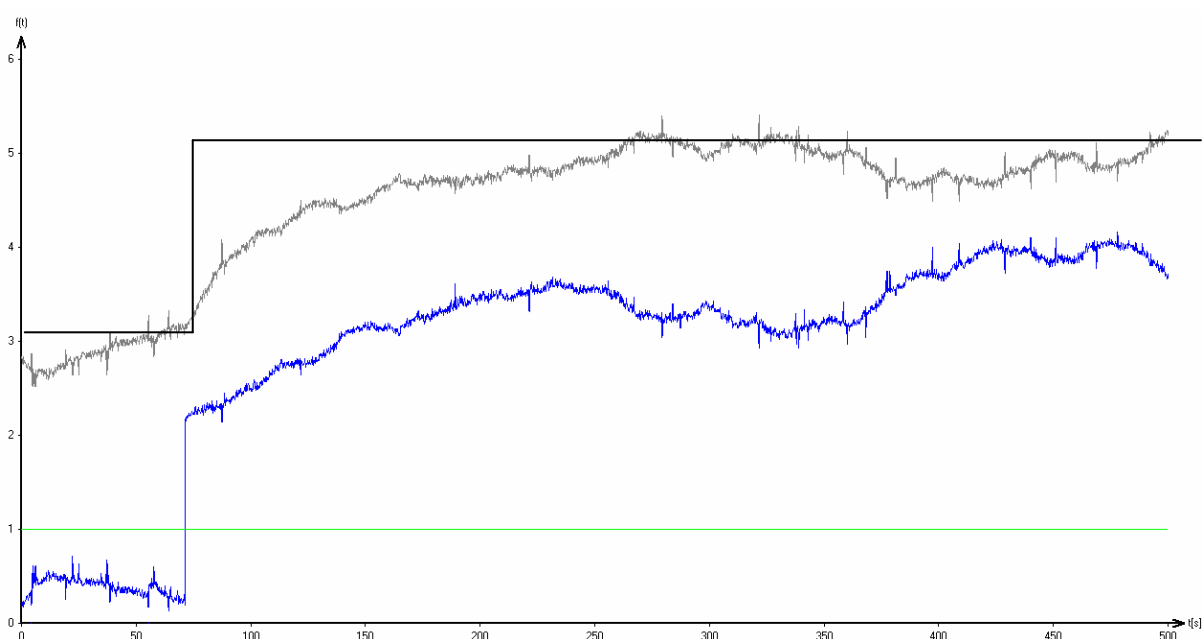
vstup1 [V]  
vystup1 [V]  
vystup2 [V]

**výstup1:** regulační – PID (žárovka – akční veličina)

W=5    Kr=0,96    Ti=29,57    Td=0    Vstup=1    T=0,2

**výstup2:** zdroj signálu – konstanta (ventilátor)

K=1    T=0,2

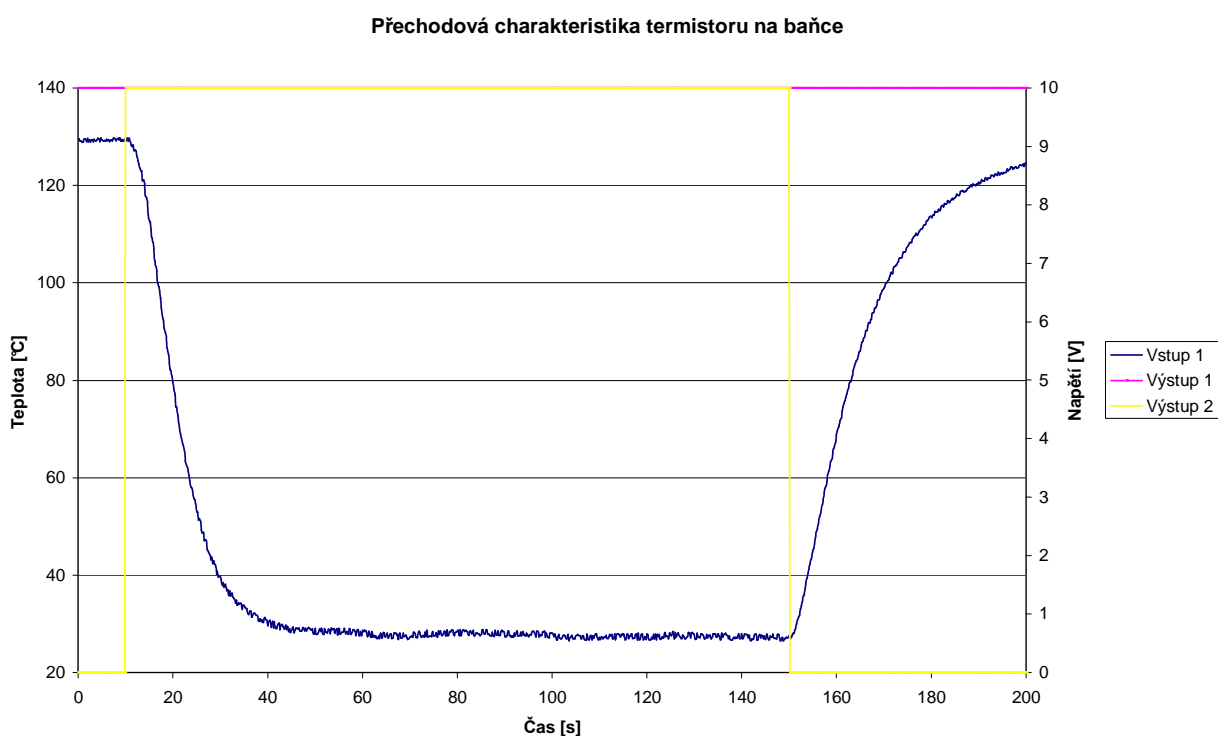


Obr. 58 Regulační úloha 1

## 2) Regulační úloha s ventilátorem jako akčním členem

Regulátor nastavuje jako akční veličinu napětí na ventilátoru a tím jeho otáčky, tedy průtok vzduchu tunelem. Generované napětí vstupující do žárovky představuje poruchovou veličinu vyvolávající kolísání teploty, jejíž průběh je možno volit s využitím programu WinGap-CTRL prostřednictvím PC. V tomto případě je třeba nastavit inverzní výstup regulátoru tj. zápornou hodnotu zesílení, jelikož ze zvyšující se teplotou (vstup 1) musí otáčky regulátoru růst (výstup 2). Identifikaci jsem provedl aproximací přechodové charakteristiky. Přechodovou charakteristiku jsem měřil při konstantním napětí na žárovce. Na žárovce jsem nastavil napětí 10V, provedl jsem skokovou změnu napětí na ventilátoru z 0 na 10V a ukládal napětí na snímači teploty (vstup 1). Naměřené data jsem importoval do programu Excel (obr. 12).

- **Měření přechodové charakteristiky**



Obr. 59 Příklad přechodové charakteristiky

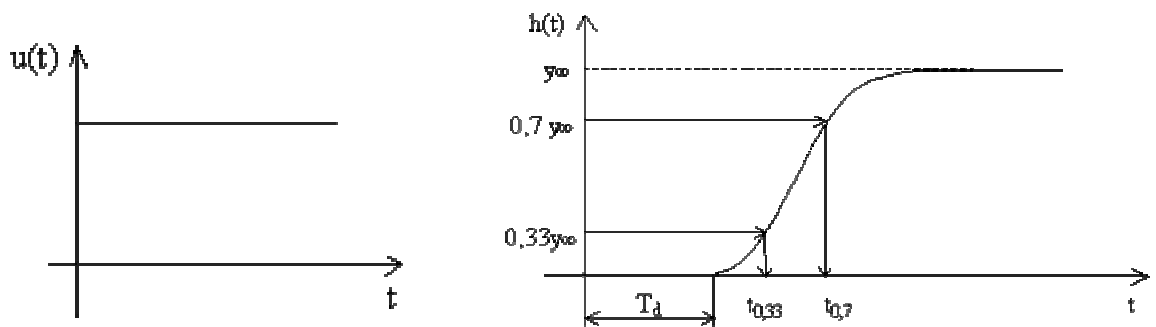
- **Identifikace systému**

Podle tvaru funkce jsem se rozhodl pro aproximaci proporcionálním členem se setrvačností prvního řádu s dopravním zpožděním.

Zvolený tvar přenosu:

$$G_s(s) = \frac{k_1}{T_1 \cdot s + 1} \cdot e^{-T_d s} \quad (5)$$

kde  $k_1$  je zesílení,  $T_1$  je časová konstanta a  $T_d$  je dopravní zpoždění. Na obr. 14 je znázorněn tvar vstupního signálu, předpokládaný tvar odezvy a postup odečtu časové konstanty a dopravního zpoždění dvoubodovou metodou.



Obr. 60 Aproximace dvoubodovou metodou s dopravním zpožděním

Parametry přenosu určíme takto:

- 4) Stanovíme hodnoty  $y_{0,7} = 0,7 \cdot y(\infty)$ ,  $y_{0,33} = 0,33 \cdot y(\infty)$  a jim odpovídající časové okamžiky  $t_{0,7}$  a  $t_{0,33}$ .
- 5) Z hodnot  $t_{0,7}$  a  $t_{0,33}$  vypočteme parametry přenosu podle vztahů:

$$T_d = 1,498 \cdot t_{0,33} - 0,498 \cdot t_{0,7} \quad (6)$$

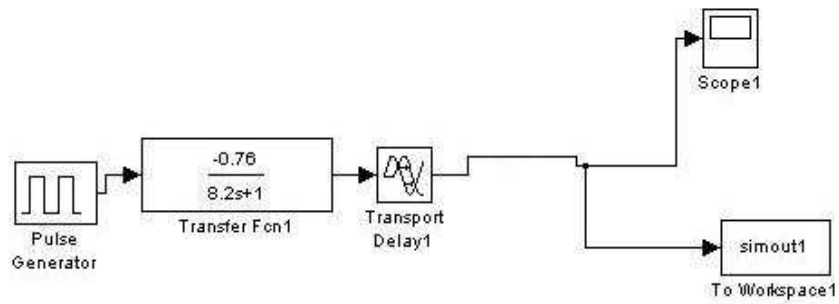
$$T_1 = 1,245 \cdot (t_{0,7} - t_{0,33}) \quad (2)$$

- 6) Zesílení  $k_1$  se vypočte podle vztahu:

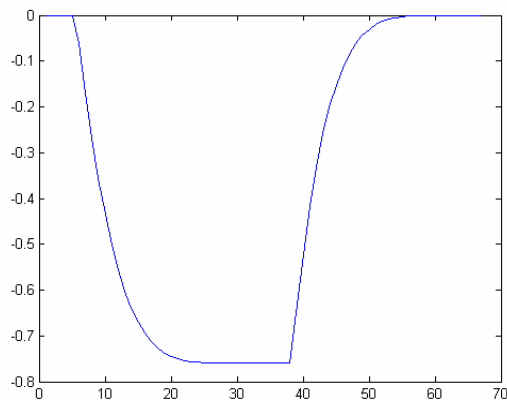
$$k_1 = \frac{y(\infty)}{u(\infty)} \quad (3)$$

Vypočtená časová konstanta  $T_1 = 8,2$  s, konstanta dopravního zpoždění  $T_d = 3,7$  s a zesílení  $k_1 = 0,76$ .

- **Simulace soustavy**



Obr. 61 Simulační model



Obr. 62 Nasimulovaný průběh

- **Syntéza regulátoru**

Výpočet stavitelných hodnot regulátoru jsem provedl pomocí metody SIMC dle níže uvedených vztahů. Na základě této metody volím PI regulátor.

$$T_1 \leq 8T_d \quad (7)$$

$$k_p^* = \frac{T_1}{2k_1T_d} = \frac{8,2}{2 \cdot 0,76 \cdot 3,7} = 1,458 \quad (8)$$

$$T_i^* = T_1 = 8,2 \quad (9)$$

- **Realizace regulační úlohy**

Reakce RO na skok žádané veličiny z 4V na 8V.

**Čas měření/řízení:** 500 s

**Komunikace:** USB-4711A

**vstup1:** (žádaná veličina)

Konstanta=1    Jednotka: V    T=0,2

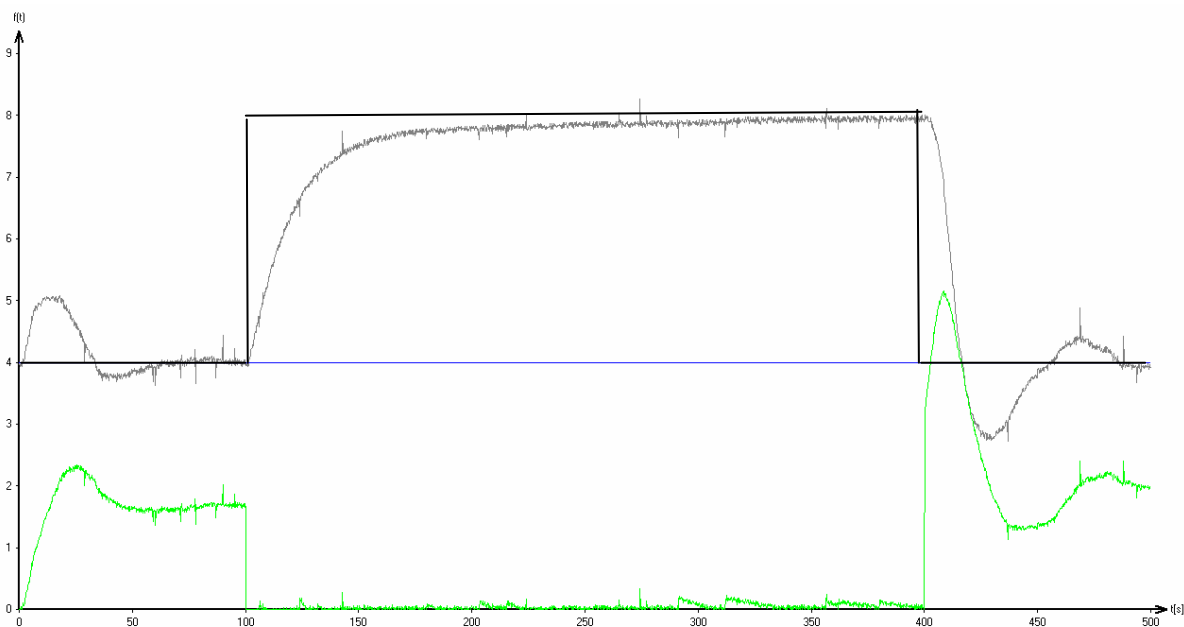
vstup1 [V]  
vystup1 [V]  
vystup2 [V]

**výstup1:** zdroj signálu – konstanta (žárovka)

K=4    T=0,2

**výstup2:** regulační – PID (ventilátor – akční veličina)

W=4    Kr=-0,76    Ti=8,2    Td=0    Vstup=1    T=0,2



Obr. 63 Regulační úloha 2

## Dvoupolohová regulace

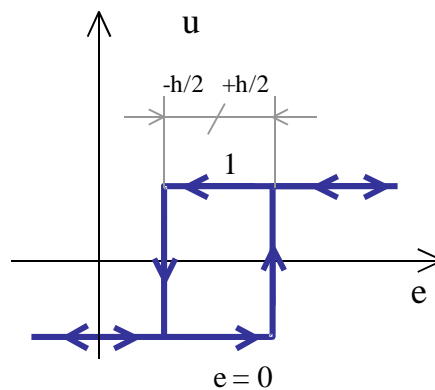
### Výhody:

- malé nároky na regulátor
- jednoduchá obsluha

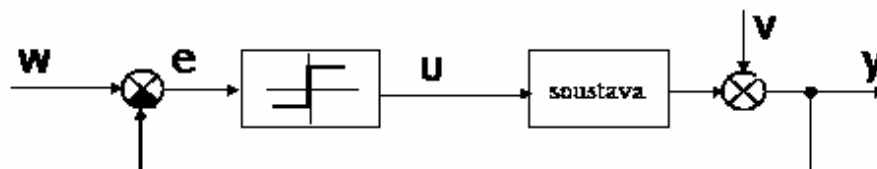
### Nevýhody:

- nízká kvalita regulace (kmitání regulované veličiny)

**princip:** 
$$u = \begin{cases} u_{\max} & \text{pro } e > 0 \\ u_{\min} & \text{pro } e < 0 \end{cases} \quad (10)$$



Obr. 64 Charakteristika dvoupolohového regulátoru



Obr. 65 Schéma RO

Ve vzorové úloze jsem realizoval současně dvoupolohovou regulaci teploty s akčním členem - žárovka a dvoupolohovou regulaci teploty s akčním členem - hlavní ventilátor pro žádanou hodnotu 5V a hysterezi 2V na termistoru NR 354 20K U umístěného na baňce žárovky. Jeden regulátor nastavuje jako akční veličinu napětí na ventilátoru a tím jeho otáčky, tedy průtok vzduchu tunelem a druhý napětí na žárovce. V případě regulace pomocí hlavního ventilátoru je třeba nastavit inverzní výstup regulátoru tj. nižší hodnotu napětí pro stav zapnuto než pro stav vypnuto. V úloze je patrné, že pokud napětí na termistoru klesne pod dolní dovolenou mez, provede se akční zásah v podobě zvýšení napětí na žárovce a napětí na ventilátoru klesne na minimum. V případě překročení horní dovolené meze napětí na termistoru je proces obrácený. Tyto skutečnosti názorně ukazují rozdílný princip regulace těchto dvou akčních členů.

**Čas měření/řízení:** 150 s

**Komunikace:** USB-4711A

**vstup1:** (žádaná veličina)

Konstanta=1    Jednotka: V    T=0,2

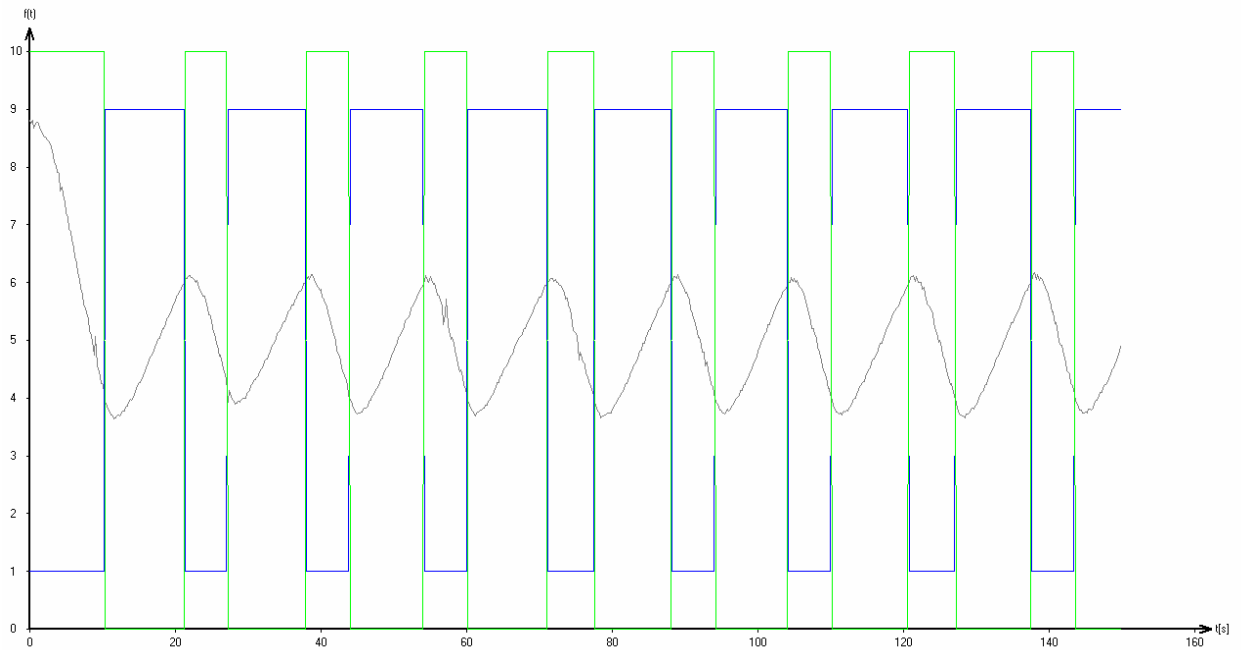
**výstup1:** regulační – dvoupolohový (žárovka – akční veličina 1)

W=5    Z=9    V=1    H=2    Vstup=1    T=0,2

**výstup2:** regulační – dvoupolohový (ventilátor – akční veličina 2)

W=5    Z=0    V=10    H=2    Vstup=1    T=0,2

vstup1 [V]  
výstup1 [V]  
výstup2 [V]



*Obr. 66 Dvoupolohová regulace*