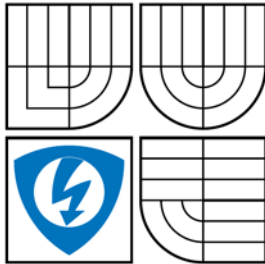


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

MĚŘICÍ SYSTÉM LABORATOŘE
EXPERIMENTÁLNÍ BIOLOGIE MU BRNO
MEASURING SYSTEM LABORATORIES EXPERIMENTAL BIOLOGY MU BRNO

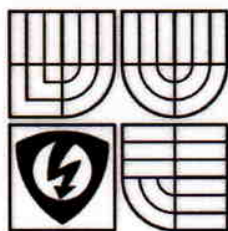
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MAREK ZÁLEŠÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILOSLAV ČEJKA, CSc.



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Zálešák Marek

Ročník: 3

ID: 78176

Akademický rok: 2007/08

NÁZEV TÉMATU:

Měřicí systém laboratoře experimentální biologie MU Brno

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a ověřte měřicí systém laboratoře, řízený PC a SW LabVIEW 8.2. Jedná se o měření a řízení tlaku, měření průtoku a hmotnosti vážením.

- 1/ Nastudujte problematiku experimentů v laboratoři biologie
- 2/ Navrhněte potřebné vybavení snímači a uveďte jejich vlastnosti
- 3/ Navrhněte potřebné HW a SW prostředky pro měřicí systém
- 4/ Ověřte možnosti Vámi navrženého systému a zhodnoťte jej.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Firemní literatura NI LabVIEW 8, další dle pokynů konzultanta

Termín zadání: 1.2.2008

Termín odevzdání: 2.6.2008

Vedoucí projektu: Ing. Miloslav Čejka, CSc.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Anotace

V následujícím textu je krátce popsán program LabVIEW od společnosti National Instruments. Dále je popsáno připojení měřících karet přes různé typy sběrnic k PC. Nachází se zde také informace o vodním režimu rostliny a o pokusech, které budou realizovány na zařízení vzniklého během této práce. V dalších částech tohoto textu je rozebírána realizace měření a regulace tlaku v rostlině a měření průtoku vážením pomocí programu LabVIEW 8.2.

Klíčová slova: LabVIEW, měření tlaku, měření průtoku, řízení tlaku

Abstract

There is a brief description of the Lab VIEW from National Instruments in the following text. It also describes the connection measuring cards through different types of buses on the PC. There is also information about the aquatic condition of plants as well as arrangements which will be implemented on the equipment generated during this work. In other parts of the text there is analysed the implementation of measurement and control pressure in the plant and flow measurement weighing using the LabVIEW 8.2.

Keywords: LabVIEW, measuring pressure, flow measurement, control pressure

Bibliografická citace

ZÁLEŠÁK, Marek. *Měřicí systém laboratoře experimentální biologie MU Brno*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. s 55., 4 přílohy. Vedoucí práce Ing. Miloslav Čejka, CSc.

P r o h l á š e n í

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma "Měřicí systém laboratoře experimentální biologie MU Brno" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne : 29.5.2008

Podpis: *Lobkovič*

P o d ě k o v á n í

Děkuji tímto panu Ing. Miloslavu Čejkovi, CSc a panu Doc. RNDr. Vítu Gloserovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

V Brně dne : 29.5.2008

Podpis: *Lobkovič*

OBSAH

1. VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ LABVIEW	4
1.1 Úvod.....	4
1.2 Hardwarové prostředky.....	4
2. EXPERIMENTY V LABORATOŘI BIOLOGIE	8
2.1 Vodní režim rostliny	8
2.2 Využití tlakové komory ve výzkumu fyziologie rostlin	10
2.2.1 Využití tlakové komory z pohledu fyziologa	11
2.2.2 Vzorkování xylémové šťávy.....	11
2.2.3 Výzkum regulačních mechanismů.....	12
3. MĚŘICÍ SYSTÉM	13
3.1 Požadavky na měřicí systém.....	13
3.2 Použité zařízení.....	14
3.2.1 Snímače tlaku	15
3.2.2 Solenoidové ventily	16
3.2.3 Váha.....	16
3.2.4 Měřicí karta.....	17
3.3 Kompletní zařízení.....	17
3.3.1 Umístění rostliny do komory	18
3.3.2 Připojení snímače tlaku k rostlině	20
4. REALIZACE PROGRAMU	21
4.1 Napájení snímačů.....	21
4.2 Převod do tlakových jednotek a porovnání s žádaným tlakem.....	22
4.3 Manuální řízení tlaku	26
4.3.1 Úvod	27
4.3.2 Konstantní šířka pulsů	28
4.3.3 Exponenciálně se měnící šířka pulsů.....	29
4.4 Automatické řízení tlaku	33
4.5 Dávkování dusíku a kyslíku.....	37
4.6 Měření hmotnosti	40
4.7 Ukládání naměřených dat.....	41

5. ZÁVĚR	42
6. LITERATURA	44
PŘÍLOHA 1	48
Kompletní zdrojový kód programu	48
PŘÍLOHA 2	49
Katalogové listy – Snímač tlaku	49
PŘÍLOHA 3	51
Katalogové listy – Měřicí karta	51
PŘÍLOHA 4	53

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek 1.1** Připojení SE-G vstupu měřicí karty
- Obrázek 1.2** Připojení SE vstupu měřicí karty
- Obrázek 1.3** Připojení DIFF vstupu měřicí karty
- Obrázek 3.1** Zjednodušené schéma měřicího systému
- Obrázek 3.2** Schéma možného zapojení snímače tlaku
- Obrázek 3.3** Kompletní zařízení
- Obrázek 3.4** Umístění rostliny v komoře
- Obrázek 3.5** Připojení snímače tlaku k rostlině
- Obrázek 4.1** Napájení snímače tlaku v rostlině
- Obrázek 4.2** Převod napětí snímačů do tlakových jednotek
- Obrázek 4.3** Porovnání s žádaným tlakem v komoře a signalizace
- Obrázek 4.4** Porovnání s žádaným tlakem v rostlině a signalizace
- Obrázek 4.5** Realizace konstantní šířky pulsů pro řízení ventilů a přepínání
- Obrázek 4.6** Generování exponenciálního signálu
- Obrázek 4.7** Realizace minimální šířky pulsů
- Obrázek 4.8** Nastavování a zobrazování konstant regulátoru
- Obrázek 4.9** Automatické nastavování regulátoru
- Obrázek 4.10** Zapojení regulátoru
- Obrázek 4.11** Výpočet množství vpouštěného vzduchu
- Obrázek 4.12** Ukládání dat do souboru
- Obrázek 5.1** Čelní panel

SEZNAM TABULEK

- Tabulka 3.1** Technické údaje snímače tlaku Cressto, série Z
- Tabulka 4.1** Vzorce pro výpočet parametrů regulátoru metodou Ziegler-Nichols
- Tabulka 4.2** Množství vzduchu v tlakové komoře pro různé tlaky

1. VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ LABVIEW

1.1 ÚVOD

LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) je obecným vývojovým prostředím pro vytváření aplikací zaměřených do oblasti sběru, analýzy a prezentace dat. Při programování aplikací se využívá programovací jazyk v grafické podobě G (Graphical language). Jde o plnohodnotný programovací jazyk se všemi odpovídajícími datovými a programovými strukturami. Z toho plyne, že LabVIEW je programovacím prostředím na úrovni např. jazyka C. Rozdílem je pouze to, že není orientován textově, ale graficky. Výsledkem programování pomocí tohoto prostředí je tedy virtuální přístroj, protože svým projevem a činností připomíná klasický přístroj ve své fyzické podobě.

Virtuální přístroj obsahuje interaktivní grafické rozhraní, tzv. čelní panel, určené koncovému uživateli. Tento panel simuluje čelní panel fyzického přístroje. Obsahuje prvky určené k ovládání běhu programu a k indikaci (tlačítka, grafy, LED indikátory...). Činnost virtuálního přístroje je dána blokovým schématem. Blokové schéma je tvořeno ikonami reprezentující přístroje z čelního panelu. Dále je tvořeno bloky zpracovávající procházející data. Blokový diagram je zdrojovým kódem každé aplikace.

1.2 HARDWAROVÉ PROSTŘEDKY

Pro měření pomocí PC je nutné použít hardwarové prostředky, které toto měření umožní. Rozdělujeme je na : karty připojené přímo ke sběrnici PC

VXI

GPIB

PXI

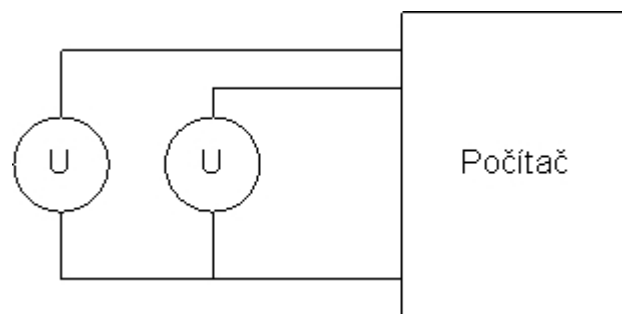
Standart VXI je stavebnice pro tvorbu měřících systémů. Stavebnice specifikuje elektrické propojení, rozměry zásuvných modulů, které fungují jako měřící přístroje. Zásuvné moduly se vkládají do speciálního rámu, který zajišťuje propojení, napájení i chlazení. Řízení systému obstarává řídicí jednotka, která obsahuje vestavěný počítač. Ovládání systému je možné i z externího počítače pomocí GP-IB, MXI, nebo sériového kanálu. Výhodou je kompaktnost a vysoký výkon. Nevýhodou je vysoká cena.

Systém GPIB je v současnosti nejrozšířenějším systémem pro automatizaci měřících procesů. Systém se skládá z autonomních přístrojů, které je často možné použít samostatně i mimo měřící systém. Každý přístroj je vybaven stykovou jednotkou. K řízení slouží systém přenášení zpráv. V určitém okamžiku je vždy jen jeden zdroj zpráv, ale příjemců může být několik. Zprávy jsou určeny k řízení činnosti stykového systému, nebo pro komunikaci s jednotlivými přístroji.

Standart PXI je stavebnice se zásuvnými moduly, které se vkládají do speciálních rámu. Má zaručenou spolehlivost, metrologické vlastnosti, EMC.

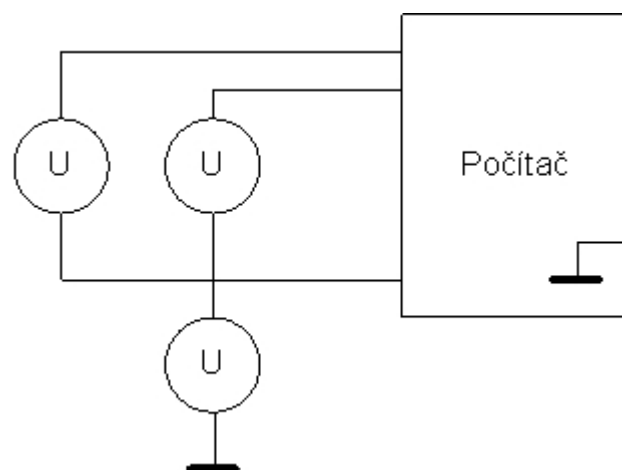
Často používaným hardwarovým prostředkem jsou zásuvné karty připojované přímo na sběrnici PC. Jde o tzv. měřící karty. Jsou to vlastně periferie přímo připojené ke sběrnici PC. Měřící karta má několik napět'ových a digitálních vstupů a někdy také analogové výstupy. Měřící karta má na svých vstupech ochranné obvody, které ji chrání před poškozením. Většinou ale karty nemají galvanicky oddělené vstupy, takže při překročení úrovně signálu nad 50V může být zničena karta i počítač. Karta dále obsahuje přepínač napět'ových vstupů, který umožňuje pomocí jednoho A/D převodníku měřit více napětí. V tomto případě ale nelze napětí měřit současně. Pro případ, kdy je třeba současné vzorkování více signálů, je třeba použít kartu, která má více A/D převodníků. Vstupy měřících karet lze rozdělit do následujících typů:

SE-G - Jedna svorka je pro všechny kanály společná a je spojena se zemí počítače. Toto připojení je vhodné pro připojení ke zdrojům napětí, které sami nemají spojení se zemí.



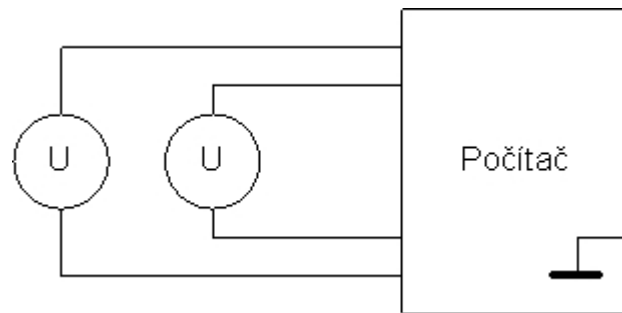
Obrázek 1.1 Připojení SE-G vstupu měřicí karty

SE - Jedna svorka je pro všechny kanály společná a může mít proti zemi malý potenciál. Připojení je vhodné ke zdrojům napětí, které mají spojení se zemí.



Obrázek 1.2 Připojení SE vstupu měřicí karty

DIFF - Každý kanál má dvě samostatné svorky a měří mezi nimi napětí. Napětí svorek proti zemi nesmí překročit několik V. Používají se tam, kde zdroje nemají společnou svorku.



Obrázek 1.3 Připojení DIFF vstupu měřicí karty

Za přepínačem následuje zesilovač se zesílením 0,5 – 500. Je třeba, aby tento zesilovač měl dobré dynamické vlastnosti, protože při přepínání sousedních kanálů dochází k rychlým změnám. Při maximálním zesílení, kdy je na vstupu karty několik mV, dochází ke snížení přesnosti a ke zhoršení frekvenční charakteristiky. Proto je vhodné malá napětí zesílit externě a teprve potom připojit na vstup měřicí karty. Měřicí karta obsahuje také paměť typu FIFO, která slouží k zachycení vzorků před jejich předáním do operační paměti PC. Řídící obvody, které jsou také v kartě použity, slouží k řízení přepínače, A/D převodníku a paměti. Analogové výstupy jsou většinou spíše statické. Jsou používány především pro nastavování podmínek měření. Použití pro generování střídavých signálů je omezeno kvůli malé vyrovnávací paměti. Rozhraní pro použití PC je většinou typu PCI, takže je možné použít vzorkování do frekvence 20 MHz.

2. EXPERIMENTY V LABORATOŘI BIOLOGIE

2.1 VODNÍ REŽIM ROSTLINY

Obsah vody v protoplazmě, neboli hydratace buňky, je nezbytný pro normální průběh životních funkcí buňky. Snížení obsahu vody má tedy za následek omezení životních dějů. Voda poskytuje dva základní makrobiogenní prvky – kyslík a vodík. Slouží k transportu látek v rostlině a je rozpouštědlem různých látek a tím pádem prostředím, kde probíhají různé biochemické reakce – naprostá většina základních životních procesů v buňce se odehrává ve vodném roztoku.

Vyšší suchozemské rostliny přijímají vodu kořenovými vlásky. Kořeny rostliny přijímají vodu převážně pasivně (asi 95% celkově přijaté vody) – v době, kdy má rostlina vyvinuté listy, ale v období, kdy je rostlina bezlistá, se musí rostliny uchýlit k příjmu aktivnímu.

Při pasivním příjmu difundují molekuly vody stěnou kořenových buněk - tuto difuzi umožňuje koncentrační spád (způsoben transpirací) směrem do vnitřku kořene. Takovýto příjem vody nespotřebovává energii. Aktivní transport je spjat se spotřebou energie. Molekuly vody proudí do buněk kořenových vlasek přes bílkovinné sodno-draselné pumpy buněčné stěny, které spotřebovávají energii. Nejsou zde totiž listy, které by umožňovaly transpiraci v tak vysoké míře, že by vytvářela koncentrační spád a tedy difuzi. Voda se v kořenových buňkách ukládá do vakuol, ty se zvětšují a výsledkem je vysoký tlak v buňkách (turgor). Tento tlak (tzv. kořenový vztlak) vtlačuje vodu do výše položených pletiv.

Příjem vody kořene ovlivňuje teplota půdy a obsah kyslíku v půdě. V teplejší a kyslíkem dostatečně zásobené půdě buňky intenzivněji dýchají a mohou přijímat více vody. Dále závisí na koncentraci půdního roztoku a velikosti půdních částic – při vysokých koncentracích solí v půdě trpí rostlina nedostatkem vody kvůli

osmotickým jevům mezi buňkou a prostředím a pokud je půdní suspenze složena z malých částic, mají tyto částice relativně velký povrch, na který se přilnavostí (adhezí) vážou molekuly vody, takže se nedostávají do rostliny.

Malou část vody přijímají rostliny i mimokořenově, listy. Ty ale zabezpečují hlavně výdej vody rostlinou, tedy transpiraci. Ta umožňuje rozvod vody po těle rostliny. Vlastní rozvod vody zprostředkovávají cévy a cévice. V listech se voda vypařuje do mezibuněčných (intercelulárních) prostor houbového parenchymu, které jsou prostřednictvím průduchů spojeny s atmosférou. Protože atmosféra je nasycena vodními parami mnohem méně než mezibuněčné prostory listu (intercelulární vzduch považujeme za zcela nasycený vodními parami), unikají molekuly vody do okolního prostředí. Tím způsobují podtlak, který se vyrovnává „sáním“ molekul vody z cév. Takto vzniká souvislé transpirační proudění, které je zabezpečováno kohezními vlastnostmi vody.

Transpirace probíhá z malé části celým povrchem těla rostliny – transpirace kutikulární (asi 10% výdeje), jinak přes průduchy listu (stomata) – transpirace stomatární.

Stomatární transpirace je regulována otevíráním a zavíráním průduchů – speciálních zařízení na spodní straně listu, skládajících se ze dvou buněk fazolovitého tvaru citlivých na obsah vody v prostředí. Pokud je vody v intercelulárách dostatek, přijmou stomatární buňky osmoticky vodu do sebe, jejich vnitřní napětí (turgor) se zvýší a buňky se prohnou, čímž se otevře skulinka mezi nimi a molekuly vody mohou uniknout do okolního ovzduší. Pokud je vody v rostlině málo, stomatární buňky naopak vydají samy opět na základě osmotického potenciálu vodu do mezibuněčných prostor, čímž se jejich turgor zmenší a nebudou tak napjaté. Tvar fazole už nebude udržován a skulinka mezi nimi se uzavře – dojde k uzavření stomata.

Transpiraci ovlivňují vnitřní faktory jako velikost a počet průduchů, stavba listu nebo vlastnosti pokožky listu, ale také vnější faktory – teplota a vlhkost vzduchu, pohyb vzduchu nebo i vlhkost půdy. Míra transpirace je ale vždy vysoká: Většina vody přijatá rostlinou je totiž opět vrácena do atmosféry (98 až 99%). Důležitým ukazatelem je transpirační koeficient, tj. hmotnost vody v gramech potřebné na vytvoření jednoho gramu sušiny biomasy, a dále intenzita transpirace, tedy množství vydané vody jednotkou listové plochy za jednotku času. Ta se mění během vegetačního období i během dne – v noci převládá příjem vody, ve dne výdej.

Transpirace je biologicky velmi významná. Umožňuje zásobování všech částí rostliny vodou a živinami. Zabraňuje přehřívání listů. Při vysoké transpiraci proniká otevřenými průduchy do listů CO_2 , nutný pro fotosyntézu, a kyslík, nutný pro respiraci (dýchání). Záleží na ní intenzita fotosyntézy a tedy tvorby energie – je-li v půdě málo vody, zavírají se stomata a tím do pletiv proniká méně CO_2 . Transpirací dokáže rostlina také vyrovnávat velké teplotní rozdíly mezi dnem a nocí – v pouštích, které jsou bez jakékoliv vegetace, jsou tyto rozdíly patrné.

2.2 VYUŽITÍ TLAKOVÉ KOMORY VE VÝZKUMU FYZIOLOGIE ROSTLIN

Nejvýraznější využití má tento přístroj v oblasti fyziologie zabývající se dálkovým transportem vody a látek mezi kořeny a nadzemní částí vodivým pletivem xylémem (dřevem). Rychlost toku vody v rostlině závisí na velikosti hnací síly (rozdílu vodního potenciálu mezi půdou a vzduchem v atmosféře kam se voda z listů vypařuje) a odporu vodivých cest. Zatímco rozdíl potenciálů je relativně stálý a mění se poměrně pomalu, ke změnám v odporu vodivých cest dochází velmi často a rychle, protože je rostlina využívá k regulaci rychlosti dálkového transportu. Hlavními regulačními místy jsou průduchy na listech (průběžně optimalizují ztráty

vody při maximálním příjmu oxidu uhličitého), buňky kořenů (podle podmínek prostředí - dostupnosti vody, živin, kyslíku jsou více nebo méně propustné pro vodu), a také cévy ve vodivých pletivech mohou měnit odpor podle složení transportovaných látek a rychlosti toku.

2.2.1 Využití tlakové komory z pohledu fyziologa

Aplikace tlaku na kořeny neporušené rostliny může být využívána ke zjednodušení regulačních vztahů v rostlině tak, aby bylo možné přesněji popsat fungování regulačních mechanismů za různých podmínek. V praxi se tlaková komora využívá zejména ke dvěma hlavním typům experimentů. Jednak může sloužit k reprezentativnímu vzorkování xylémové šťávy rostliny ke zjištění jejího složení a jednak slouží ke sledování dynamických regulačních změn v rostlině na různé podněty.

2.2.2 Vzorkování xylémové šťávy

Složení xylémové šťávy poskytuje informace o množství živin i signálních molekul (např. hormonů) transportovaných z kořenů do nadzemní části. Koncentrace látek v xylému závisí jednak na aktivitě transportních proteinů, které látky do xylému přenáší, a jednak na rychlosti toku vody, která je transportována nezávisle. Pro získání správné, nezkrácené informace o koncentraci je tedy třeba odebrat xylémovou šťávu za podmínek toku vody, které jsou stejné jako v neporušené, rostoucí rostlině. Tlaková komora umožňuje nastavit přetlak na kořenech tak, aby přesně vyrovnal podtlak v xylému vytvářený listy (balanční tlak) a dlouhodobě ho udržovat. Při malém a krátkodobém zvýšení balančního tlaku působícího na kořeny lze pak například z řapíku odříznutého listu získat vzorek xylémové šťávy, který přesně odpovídá jejímu složení v neporušené rostlině.

2.2.3 Výzkum regulačních mechanismů

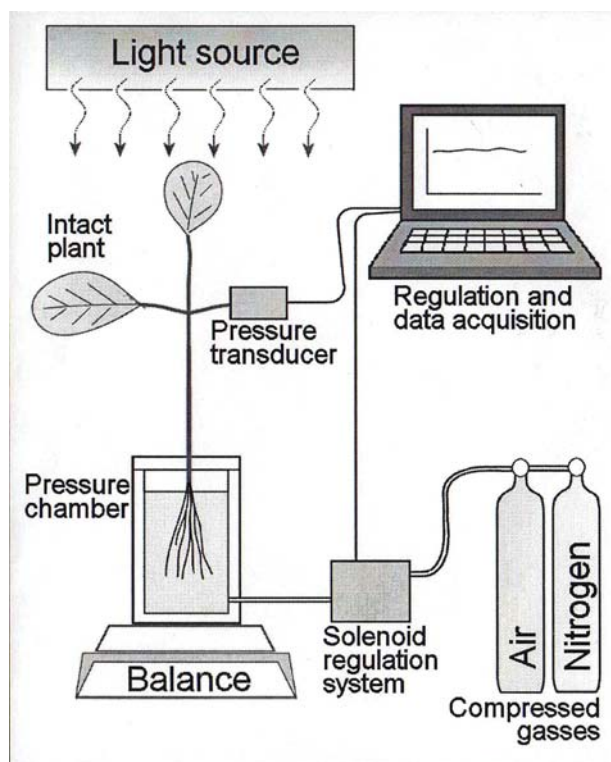
Typickým příkladem využití tlakové komory ke zkoumání regulačních mechanismů je reakce rostlin na nedostatek vody v půdě. První zjištěnou reakcí rostliny na nedostatek vody je zpomalení nebo úplné zastavení prodlužovacího růstu nadzemní části. Vysychání půdy vede k rychlému nárůstu odporů při transportu vody jak v půdě ke kořenům, tak i v rostlině, což následně vede k nedostatku vody v nadzemní části rostliny. Přístroj umožnil testovat hypotézu, že samotný nedostatek vody, která vyplňuje objem rostoucích buněk, je příčinou zpomalení prodlužování. U kořenů rostlin ve vysychající půdě byl použit balanční tlak, který „odstraní“ působení zvyšujícího se odporu transportních cest na tok vody do listů. Zkoumané rostliny však i za situace, kdy transport vody do listu nebyl omezován hydraulickým odporem, vykazovaly zpomalenou rychlost prodlužování. Na základě této informace byly potom identifikovány z xylémové šťávy chemické signály, které vznikají v kořenech rostoucích v suché půdě a prodlužovací růst buněk nadzemní části ovlivňují více než samotný nedostatečný přísun vody.

Jiným příkladem využití tlakové komory je sledování změn v odporu vodivých cest kořenů a stonku při změně dostupnosti minerálních živin nebo kyslíku v okolí kořenů. V tomto případě v měřicím systému sledujeme rychlost toku vody rostlinou (jako úbytek hmotnosti měřicí nádoby s rostlinou v čase) a změny balančního tlaku působícího na kořeny. Z těchto dvou údajů a plochy kořenového systému můžeme vypočítat velikost odporu, který kořenový systém toku vody klade. Zvýšení odporu vodivé cesty (například při nedostatku kyslíku) můžeme v systému pozorovat jako zvýšení potřebného balančního tlaku. Dynamika změn hydraulických odporů v rostlině při reakcích na různé faktory prostředí je teď předmětem intenzivního výzkumu. Experimenty mohou například pomoci při objasňování mechanismů, které umožňují rostlinám přežívat zvyšující se nedostatek vody v důsledku změn klimatu.

3. MĚŘICÍ SYSTÉM

3.1 POŽADAVKY NA MĚŘICÍ SYSTÉM

Cílem tohoto měřicího systému je regulování tlaku v cévách měřené rostliny. Tlak uvnitř rostliny by mělo být možné regulovat jak automaticky, tak ručním řízením. Žádaná hodnota tlaku přitom může být kladná, záporná nebo nulová. Kořeny rostliny budou uzavřeny ve vzduchotěsné komoře a změnou tlaku v této komoře se bude měnit také tlak uvnitř rostliny. Pro tlakování se bude používat stlačený vzduch z jedné tlakové nádoby a dusík z druhé, neboť parciální tlak kyslíku v komoře musí zůstat konstantní pro různé tlaky. Při snižování tlaku se bude přebytečný plyn pouštět do atmosféry. Dále se také bude měřit hmotnost celé rostliny, aby bylo možné zjistit, kolik vody rostlina během experimentu vypařila. Celý tento experiment by měl být řízen počítačem a softwarem LabVIEW 8.2. Naměřené hodnoty by měly být zaznamenány do PC.



Obrázek 3.1 Zjednodušené schéma měřicího systému

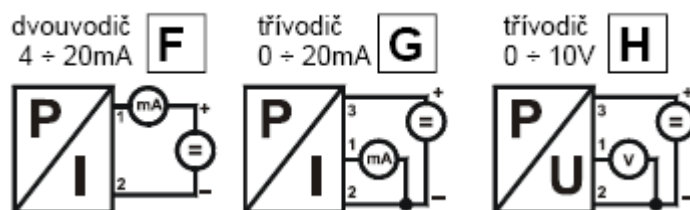
3.2 POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ

Z kapitoly 3.1 lze vyvodit, jaké zařízení je v tomto měřicím systému využíváno. Jde o dvě tlaková čidla pro kontrolu tlaku v rostlině a v tlakové komoře. Dále jsou použity čtyři ventily k dávkování vzduchu do tlakové komory a k jeho vypouštění. Použita je také elektronická váha a samozřejmě také zařízení pro napájení a ovládní uvedených prvků. Snímače a ventily budou připojeny na měřicí kartu. Získaná data budou zpracována pomocí softwaru LabVIEW od firmy National Instruments.

Výběr uvedených komponentů byl proveden již před přidělením této práce. Byly vybrány následující komponenty:

3.2.1 Snímače tlaku

Jako snímač určený pro měření tlaku v rostlině byl vybrán snímač od firmy Cressto, série Z. Konkrétně jde o snímač s rozsahem -100 až $+100$ kPa. Zapojení tohoto snímače je možné jak pomocí proudové smyčky a to v třívodičovém ($0 - 20$ mA) nebo dvouvodičovém ($4 - 20$ mA) zapojení, tak s napět'ovým výstupem. V tomto zařízení je zvolena varianta snímače s napět'ovým výstupem $0 - 10$ V.



Obrázek 3.2 Schéma možného zapojení snímače tlaku

Pro snímání tlaku v komoře byl využit také snímač Cressto, série Z. Rozsah tohoto snímače je 0 až $2,5$ MPa. Připojení k měřicí kartě, respektive ke svorkovnici, je provedeno stejně jako u snímače tlaku v rostlině a to přes napět'ový výstup $0 - 10$ V. Bližší informace o snímačích jsou uvedeny v příloze, kde se nacházejí katalogové listy.

Jmenovité tlakové rozsahy	± 2,5kPa až 6MPa
Max. přetlak do 40 kPa	100 kPa
od 60 kPa do 6MPa	200 % jmen. rozsahu
Chyba nastavení	max. 1% (0,5%)
Teplotní chyba nuly	typ. 0,1 max. 0,3 %/10°C
Teplotní chyba rozsahu	typ. 0,1 max. 0,3 %/10°C
Komp. teplotní rozsah	0 + 70°C
Provozní teplotní rozsah	-15 + +85°C
Skladovací teplota	-25 + 100°C
Napájecí napětí	12 + 36V ss
Napájecí proud – výstup H	< 4mA
Výstup	4 + 20mA dvouvodič 0 + 20mA třívodič 0 + 10 V třívodič
Pracovní poloha	libovolná
Krytí	min. IP 54
Napěťová pevnost pouzdro - elektronika	min. 1000 V ss
Hmotnost	cca 100g
Souhlasný tlak pro dife- renční provedení	max. 1MPa

Tabulka 3.1 Technické údaje snímače tlaku Cressto, série Z

3.2.2 Solenoidové ventily

Pro vpouštění a vypouštění tlaku do komory jsou použity ventily Bürkert a to typ 6013A 2,0 FKM. Jde o ventil s rozsahem pracovních tlaků 0 – 25 barů. Spotřeba je 8W a ventil je napájen síťovým napětím 230V/50Hz. Otvírání ventilu trvá 20ms, uzavírání 30ms.

3.2.3 Váha

Pro měření průtoku vážením je použita váha Radwag WPS 6000/C/1. Jde o digitální váhu s rozsahem měření do 6000g. Váha je připojena k PC pomocí RS 232.

3.2.4 Měřicí karta

Pro přijímání signálu z tlakových snímačů je použita PCI měřicí karta od firmy National Instruments, série M, typ NI 6221. Jedná se o měřicí kartu s 16 analogovými vstupy, 2 výstupy a 24 digitálními vstupy a výstupy. viz Příloha

3.3 KOMPLETNÍ ZAŘÍZENÍ

Solenoidové ventily spolu s DPS, která slouží ke spínání ventilů, jsou umístěny v přístrojové krabici. Nachází se zde také centrální vypínač spolu se dvěma ručně ovládanými škrťacími ventily, které umožňují ručně nastavit průtok plynů do komory a z komory. Pomocí hadiček jsou tyto škrťací ventily spojeny s tlakovou komorou. S tlakovou komorou je také propojen snímač tlaku v komoře, kde jsou umístěny kořeny rostliny, ponořené do živného roztoku. Snímač tlaku v rostlině je připojen k řapíku listu rostliny (viz kapitola 3.3.1). Celé toto zařízení je umístěno na váze Radwag, s jejíž pomocí se měří množství odpařené vody. Jak již bylo uvedeno, snímače jsou dále připojeny přes svorkovnici k měřicí kartě, váha je připojena pomocí rozhraní RS 232 na sériový port počítače.



Obrázek 3.3 Kompletní zařízení

3.3.1 Umístění rostliny do komory

Kořeny rostliny jsou umístěny spolu s živným roztokem do komory. Horní část komory je tvořena kruhovým dílem s otvorem uprostřed. Tento díl se skládá ze dvou stejných půlkruhových částí, které jsou k sobě sešroubovány. Při instalaci rostliny do komory se víko rozdělí, rostlina se vloží dovnitř a víko se opět sešroubuje. Aby nedocházelo k úniku vzduchu, je mezi jednotlivými polovinami drážka, v které je umístěno těsnění. Po spojení horního dílu se tento díl přišroubuje k válci tvořícímu tlakovou komoru. Do spodní strany víka je vryta drážka, která nasedá na válec. V této drážce je také umístěno těsnění. K utěsnění rostliny v otvoru víka se používá dvousložková hmota, která se běžně používá ve stomatologii k získávání otisku chrupu. Po namíchání tato hmota zasychá asi 2 minuty, do kterých je ji třeba nanést do otvoru ve víku tlakové komory, kterým rostlina prochází. Po dokonalém vytvrdnutí těsnicí hmoty se na horní část komory přišroubuje další díl, který je podobný víku komory. Také se skládá ze dvou částí a má uprostřed otvor,

kterým rostlina prochází. Tento díl ale neslouží k utěsnění komory, Pouze k přitlačení těsnící hmoty. Ta by se totiž mohla při vyšších tlacích vychýlit z původní pozice.



Obrázek 3.4 Umístění rostliny v komoře

3.3.2 Připojení snímače tlaku k rostlině

Snímač tlaku se k rostlině připojuje pomocí hadičky naplněné roztokem, která se nasune na řapík, na kterém je kvůli utěsnění namotána parafínová fólie. Aby mohlo k tomuto připojení dojít, je nutné natlakovat komoru tak, aby ze vzniklého řezu na řapíku začala vystupovat tekutina. Je to důležité proto, aby do řapíku rostliny nevníkl vzduch. Možnost stlačování vzduchu v rostlině by totiž mělo za následek nepřesné hodnoty tlaku v rostlině. Stejně tak hadička spojující snímač a rostlinu musí být zbavena vzduchu, čehož se docílí právě naplněním hadičky tekutinou. Jsou-li výše uvedené podmínky správného připojení splněny, může se hadička nasunout na řapík. V tomto okamžiku je již zařízení připraveno ke spuštění.



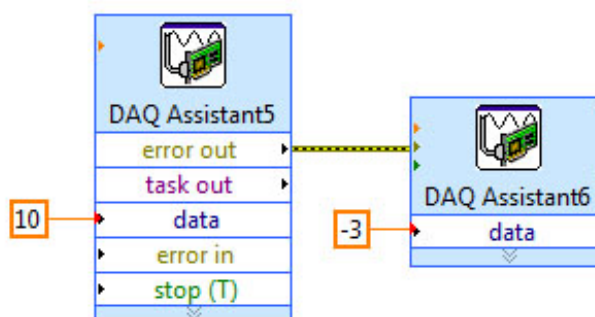
Obrázek 3.5 Připojení snímače tlaku k rostlině

4. REALIZACE PROGRAMU

Pro přehlednost a možnost ověření byl tento projekt realizován postupně, po jednotlivých funkčních částech, proto také popis realizace bude rozčleněn do několika částí.

4.1 NAPÁJENÍ SNÍMAČŮ

Základní podmínkou pro správné měření je vhodné napájení snímače. V tomto projektu jsou použity dva snímače měření tlaku, jak již bylo uvedeno v kapitole 2.2.1. Pro napájení snímače je možné použít stejnosměrné napětí v rozsahu 12 – 36V. Pro snímač tlaku v rostlině je pro napájení využít analogový výstup měřicí karty. Jde vlastně o dva analogové výstupy, protože maximální napětí jednoho výstupu je v rozmezí -10V až +10V, což pro napájení snímače nestačí. Proto jsou využity dva analogové výstupy, přičemž na jednom je nastavena hodnota napětí na +10V a na druhém je hodnota nastavena na -3V. Použitá měřicí karta má dva analogové výstupy viz. kapitola 3.2.4, takže není možné snímač tlaku v komoře napájet stejným způsobem. Pro napájení tohoto snímače je využít adaptér..., který se zapojuje přímo do zásuvky.



Obrázek 4.1 Napájení snímače tlaku v rostlině

4.2 PŘEVOD DO TLAKOVÝCH JEDNOTEK A POROVNÁNÍ S ŽÁDANÝM TLAKEM

Cílem realizace tohoto bloku je načtení signálu z čidla, převod do tlakových jednotek a zobrazení údajů.

Jak už bylo uvedeno, k měření tlaku v tlakové komoře a v rostlině jsou využity snímače od firmy Cressto, série Z. Pro získávání informací o tlaku se využívá zapojení snímače s napěťovým výstupem 0 - 10V. Pomocí DAQ Asistentu v programu LabVIEW se hodnota napětí na výstupu snímače dostává do programovacího prostředí. Protože samozřejmě potřebujeme znát tlak, který snímač naměřil, musí se změřená hodnota napětí převést do tlakových jednotek. Pro měření tlaku v rostlině je použit snímač z rozsahem měřených tlaků -100 až +100 kPa. Závislost výstupního napětí na tlaku popisuje následující rovnice:

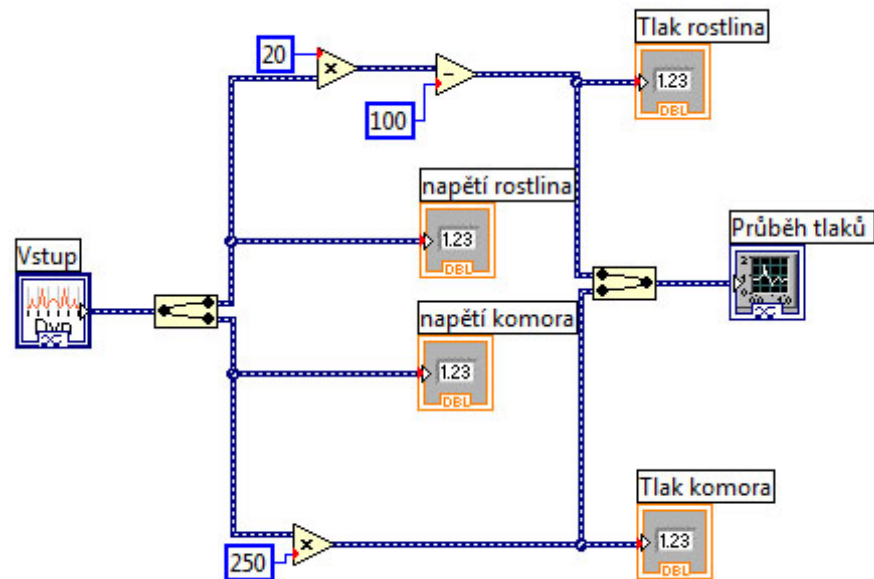
$$p = 20 \cdot U - 100 \quad [kPa] \quad (3.1)$$

Z toho plyne, že pro přepočet napětí na tlak je nutné vynásobit hodnotu napětí konstantou 20 a od takto získané hodnoty ještě odečíst konstantu 100.

Rozsah snímače tlaku v komoře je 0 - 2,5 MPa. Rovnice popisující závislost výstupního napětí snímače na tlaku má tuto podobu:

$$p = U \cdot 250 \quad [kPa]. \quad (3.2)$$

Příklad realizace převodu napětí na tlak pro tyto snímače je uveden na následujícím obrázku:

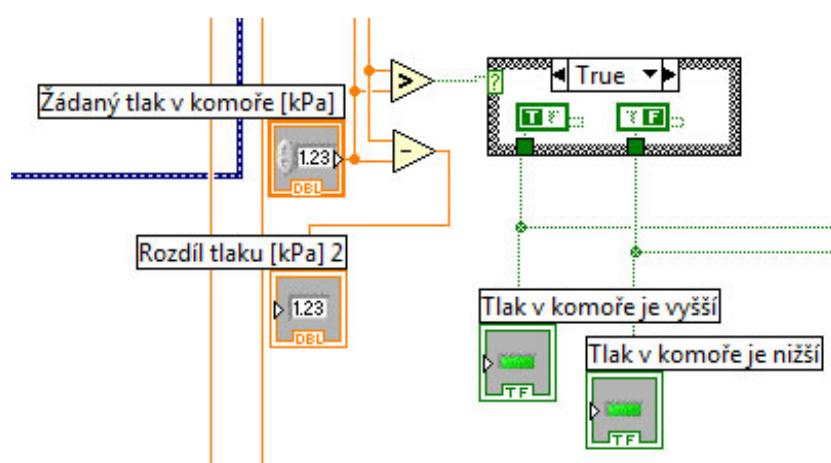


Obrázek 4.2 Převod napětí snímačů do tlakových jednotek

Na obrázku jsou uvedeny také bloky pro kontrolu napětí a tlaků. Tyto bloky nemají samozřejmě vliv na funkci, slouží pouze k ověřování správného převodu. Převod napětí na tlak je pro přehlednost proveden jako podprogram. Proto je zde uveden blok, reprezentující data vstupující do podprogramu.

Protože už jsou známy tlaky, které měří snímače, může se provést porovnání s žádaným tlakem v rostlině. Tlak, kterého chceme v komoře dosáhnout, se zadává do příslušného pole a porovnává se se skutečným tlakem v rostlině. Porovnání se dá provést velmi jednoduše pomocí jednoho bloku odčítání. Od skutečného tlaku v rostlině se odečte hodnota žádaného tlaku. Pomocí dalšího bloku, bloku pro porovnání, se porovnává žádaný tlak a skutečný tlak. Je-li skutečný tlak vyšší než žádaný, blok má na výstupu logický signál true. Je-li naopak žádaný tlak větší, blok má na výstupu hodnotu logického signálu false. Výstup tohoto bloku je přiveden do case struktury. Tato struktura provede operace uvedené v této struktuře pro log. signál true a jiné operace pro vstupní log. signál false. V tomto případě se jedná o zapínání a vypínání kontrolních diod. Je-li výstupní signál, vyhodnocený blokem

porovnání true, je na diodu *Tlak v komoře je vyšší* přiveden signál true a tato dioda se rozsvítí. Naopak na diodu *Tlak v komoře je nižší* je přiveden signál false, dioda bude zhaslá. Pro možnost, kdy bude výstup porovnání signálů false, se provede jiná část struktury. Na diodu *Tlak v komoře je vyšší* je přivedena hodnota false a na diodu *Tlak v komoře je nižší* je přivedena hodnota true. Z těchto faktů vyplývá, že pokud je tlak v komoře vyšší, svítí první dioda, pokud je nižší, svítí dioda druhá.

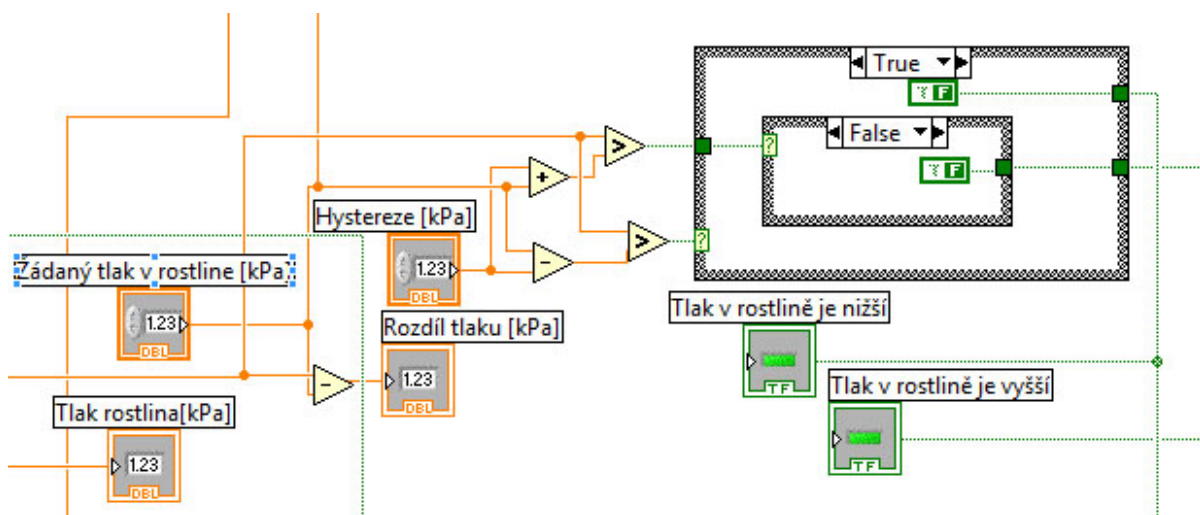


Obrázek 4.3 Porovnání s žádaným tlakem v komoře a signalizace

Toto porovnání se provádí mezi žádaným a skutečným tlakem v komoře. Systém bude ale převážně provozován ve stavu, kdy bude regulována hodnota tlaku v rostlině. Pro manuální řízení je tedy nutné určit interval žádané hodnoty, mezi kterým by se mohla hodnota tlaku v rostlině pohybovat. Jinak by totiž docházelo k neustálému připouštění a upouštění plynu. U řízení na tlak v komoře není nastavení intervalu použito, protože tohoto řízení se používá pouze k natlakování komory před připojením snímače tlaku v rostlině. Navíc při použití automatického řízení tento problém zcela odpadá.

Aby bylo možné dosáhnout správné funkce manuálního řízení (viz. kapitola 4.3), vyskytuje se zde ještě prvek hystereze, který má za úkol určit interval hodnot kolem žádané hodnoty. Tento interval určuje rozmezí tlaků, které lze akceptovat jako správnou hodnotu, a není tedy nutné v tomto intervalu hodnot provádět akční zásah.

Vlastní porovnání tlaků je tedy realizováno tak, že se nejprve pomocí jednoho bloku k žádané hodnotě přičte hodnota hystereze, a pomocí druhého bloku se od žádané hodnoty hystereze odečte. Tím tedy vzniknou dva krajní body intervalu. Každý z těchto krajních bodů je následně porovnán s aktuální hodnotou tlaku. Je-li aktuální tlak vyšší než je spodní hranice intervalu, blok porovnání má na svém výstupu hodnotu true. V opačném případě má na výstupu hodnotu false. Výstup tohoto bloku porovnání je přiveden na vstup case struktury. Tato struktura provede operace uvedené v této struktuře pro log. signál true a jiné operace pro vstupní log. signál false. V tomto případě se jedná o zapínání a vypínání kontrolních diod. Je-li do case struktury přiveden signál true, je ve struktuře generován signál false a ten je dále přiveden na diodu *Tlak v rostlině je nižší*. Dioda nesvítí. V této struktuře se za vstupní podmínky true nachází další case struktura, na jejíž vstup je přiveden signál z porovnání mezi aktuální hodnotou tlaku a horní hranicí intervalu žádaného tlaku. Pokud je tento signál true, je ve struktuře generován signál true, který je přiveden na diodu *Tlak v rostlině vyšší*. Dioda svítí. Tlak v rostlině překročil horní hranici intervalu žádané hodnoty. Je-li na vstup vnitřní struktury přiveden z bloku porovnání signál false, je generován signál false a ten je opět přiveden na diodu *Tlak v rostlině vyšší*. Dioda nesvítí, protože se tlak v rostlině nachází v intervalu žádané hodnoty. Jestliže je na vstup první case struktury přiveden signál false, znamená to, že tlak v rostlině je nižší než je spodní hranice intervalu a je tedy generován signál true, který je přiveden na diodu *Tlak v rostlině nižší*. Dioda se rozsvítí.



Obrázek 4.4 Porovnání s žádaným tlakem v rostlině a signalizace

4.3 MANUÁLNÍ ŘÍZENÍ TLAKU

Manuální řízení tlaku znamená, že obsluha nastaví, jestli chce řídit tlak v komoře, nebo v rostlině. Tuto možnost má samozřejmě i u řízení automatického. Následně nastaví žádaný tlak a dále má možnost nastavovat dobu, po kterou budou sepnuty ventily. Tento režim ovládání tlaku v komoře se využívá hlavně k natlakování komory, když na rostlině není připojen snímač tlaku. Ten se připojuje, když je v rostlině přetlak, kterého se dosáhne právě natlakováním komory. Obsluha zařízení si může vybrat buď z konstantní doby sepnutí ventilů, nebo z exponenciálně klesající doby sepnutí ventilů. Po nastavení žádané hodnoty tlaku v rostlině tedy uživatel vybere průběh doby sepínání ventilů a nastaví hodnotu periody pulsů, která značí, jak dlouhý bude cyklus jednoho sepnutí. Následně nastaví v případě konstantní šířky pulsů dobu, po kterou má být během zvolené periody ventil otevřený. Zbývající část nastavené periody je ventil zavřený. V případě zvolení možnosti exponenciálně se měnící šířky pulsu nastaví uživatel minimální dobu, po kterou má být ventil otevřen, a dále může také nastavit rychlost změny exponenciálního průběhu. Samotná regulace tlaku v rostlině je prováděna prostým porovnáním žádaného tlaku

v rostlině s tlakem aktuálním. Je-li tlak v rostlině nižší než žádaný, otevírají se ventily pro vypouštění plynů, je-li tlak v rostlině naopak vyšší než žádaný, otevírá se ventil pro vypouštění. Bližší popis jednotlivých částí je uveden v následujících podkapitolách.

4.3.1 Úvod

Jak již bylo uvedeno, tlak v rostlině se řídí změnou tlaku působící na kořeny rostliny, které jsou uloženy v tlakové komoře. K řízení tlaku v komoře jsou použity celkem 4 solenoidové ventily. Dva ventily slouží pro zvyšování tlaku v komoře, jeden slouží k vypouštění vzduchu z komory. Dále je také použit ventil pro rychlé tlakování komory. Tento ventil je řízen samostatně. Používá se například při ručním předtlakování komory. Pro tlakování komory jsou použity dva ventily, protože je potřeba zajistit konstantní hodnotu parciálního tlaku kyslíku v komoře. Konstantní parciální tlak kyslíku v komoře ale nebude možné přesně dodržet, protože při upouštění vzduchu nelze rozlišit mezi kyslíkem a dusíkem. Také nebude k dispozici žádná informace o aktuálním množství, resp. tlaku kyslíku. Na průběh experimentu by ale takto vzniklá nepřesnost neměla mít zásadnější vliv. V budoucnu bude možná tento systém dodatečně vybaven potřebným zařízením pro zjišťování množství kyslíku v komoře.

Pokud je třeba změny tlaku v komoře, ventily na určitou dobu otevírají. Protože změna tlaku v komoře se neprojeví na tlak v rostlině okamžitě, je ventil otevřen jen na určitou dobu a následně zařízení čeká, jak se změna tlaku v komoře projeví na tlak v rostlině. Pokud tlak v rostlině nenabývá žádané hodnoty, ventil se znovu na určitou dobu otevře. Dobu, na jakou se má ventil otevírá a frekvenci otevírání nelze dopředu určit, protože se dá očekávat, že u různých druhů rostlin se bude změna tlaku v komoře na tlak v rostlině projevovat různě. Proto má obsluha zařízení možnost nastavit dobu otevření ventilů a frekvenci, po jaké má k otevření dojít. Tlak v tlakové komoře se tedy mění po skocích s nastavitelnou délkou. Je možné, aby se tlak v komoře měnil exponenciálně, tedy tak, že se s rostoucím časem

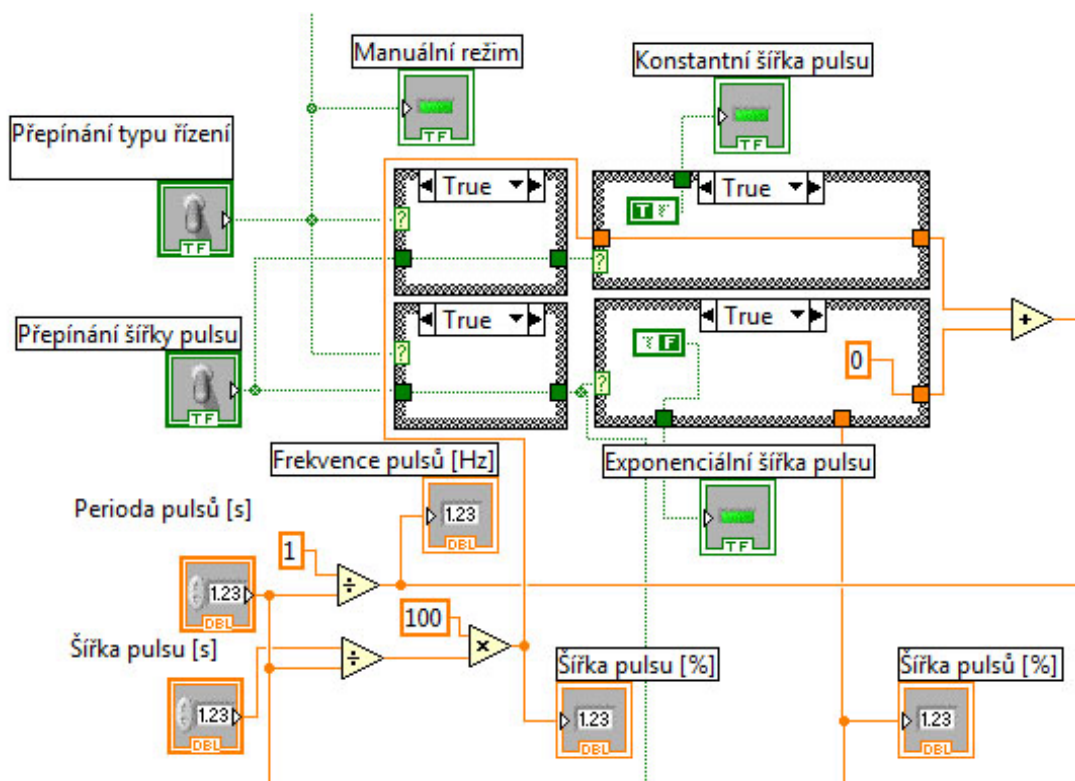
bude šířka pulsu a tedy i doba otevření ventilu zmenšovat. Také v tomto případě bude možné nastavit šířky výstupních pulsů.

Při realizaci této části měřicího systému jsem jako zdroj pulsů použil blok pro simulování signálů. V nastavení tohoto bloku jsem určil, že se má generovat obdélníkový signál. Výstupní signál bloku pro simulování signálů je přiveden na digitální výstup měřicí karty. Výstupy měřicí karty jsou připojeny přes svorkovnici na tranzistorové spínače, které zajišťují spínání samotných solenoidových ventilů. Dále je pro přesné řízení tlaku v rostlině použit PID regulátor. Podrobnosti budou uvedeny v další podkapitole.

4.3.2 Konstantní šířka pulsů

Pro konstantní šířku pulsu se přepínač Přepínání řízení šířky pulsu nastaví do polohy true. Signál z tohoto přepínače je veden do podmínky case struktury. Pokud je tedy signál true, provedou se operace uvnitř struktury, které se mají za této podmínky provést. To znamená, že blok pro nastavení šířky bude přes tuto strukturu propojen. Výstupní signál, který nese informaci o délce pulsu pro konstantní nastavení, se bude počítat se signálem, který nese stejný druh informace pro šířku pulsu exponenciálně se měnící. V tomto případě je ale signál pro exponenciální změnu pulsu nulový, takže signál pro konstantní změnu je teoreticky přímo spojen s blokem pro nastavování hodnoty tohoto signálu a s blokem pro generování impulsů, respektive se vstupem pro řízení šířky tohoto impulsu. Pokud je splněna podmínka této struktury, ještě se provede rozsvícení kontrolní diody *Konstantní šířka pulsu*. Tato operace je provedena přivedením logické hodnoty true na zmíněnou diodu. V případě, že signál vstupující do podmínky struktury je false, neprovede se propojení mezi nastavováním šířky pulsu a blokem pro generování signálu. Místo toho je do bloku součtu přivedena konstantní hodnota 0. Zároveň je také na vstup patřičné indikační diody přiveden signál false, takže dioda zhasne.

Uživatel tedy nastaví periodu pulsů vycházejících z Generátoru pulsů. Zároveň se nastavená perioda přečte na frekvenci. V dalším kroku uživatel nastaví, kolik sekund ze zvolené periody bude ventil sepnut. Tato hodnota se ještě přečte do procentuálního vyjádření poměru celé periody a doby sepnutí ventilu.



Obrázek 4.5 Realizace konstantní šířky pulsů pro řízení ventilů a přepínání šířky pulsů

4.3.3 Exponenciálně se měnící šířka pulsů

Pro exponenciálně se měnící šířku pulsu je nutné generovat nějaký exponenciálně se měnící signál a ten následně upravit tak, aby s ním bylo možné šířku generovaného pulsu nastavovat.

Generování exponenciálního signálu jsem navrhl následovně: ke konstantě, tvořící první hodnotu, která bude zlogaritmována a následně převedena do vhodného tvaru

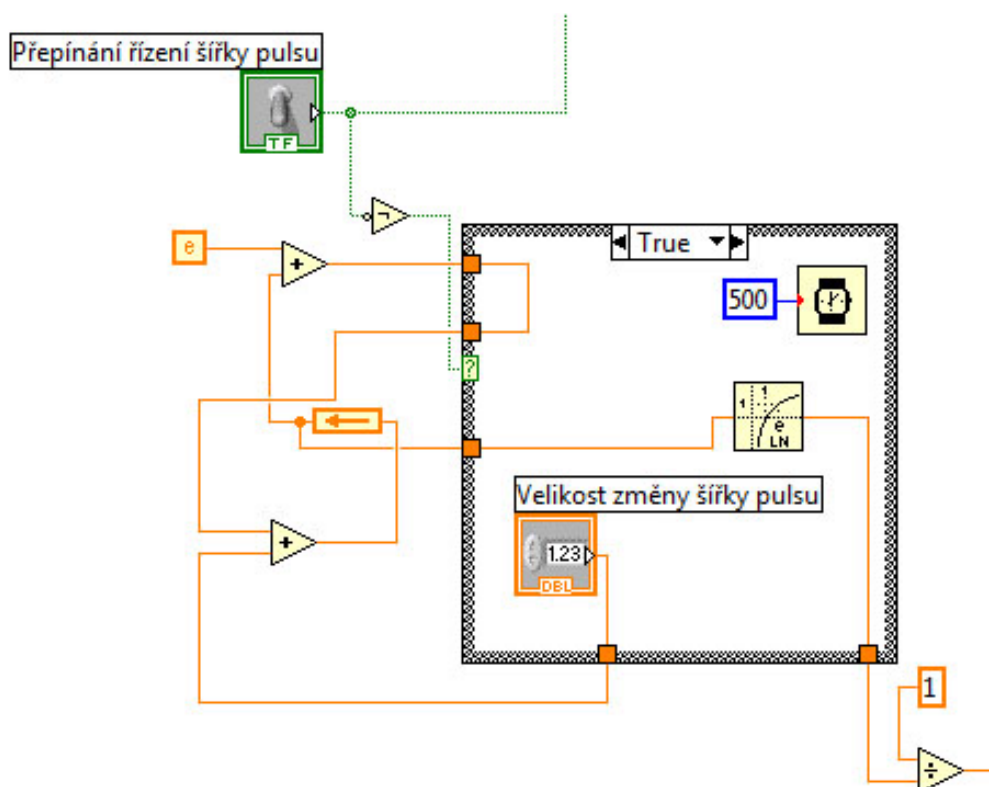
pro řízení šířky pulsu, se bude postupně přičítat další hodnota. Tuto hodnotu bude možné nastavovat a ovlivňovat tím velikost změny logaritmického průběhu. Po zlogaritmování je výsledná hodnota přepočtena tak, aby s rostoucím časem velikost zlogaritmovaného průběhu klesala.

Konstanta, která tvoří první hodnotu určenou ke zlogaritmování, je tvořena Eulerovým číslem. Tím po zlogaritmování dostaneme hodnotu 1, kterou budeme brát jako největší možný signál. Signál vedoucí z konstanty e je přiveden do součtového bloku. Výsledek součtu je veden do case struktury. Při stavu struktury true signál strukturou projde a je přiveden na vstup dalšího součtového bloku. Druhým vstupem druhého bloku je hodnota nastavená v bloku *Velikost změny šířky pulsu*. Protože tento blok je také umístěn ve struktuře, bude nastavená hodnota přivedena na vstup bloku součtu jen pokud bude stav struktury true. Výsledek součtu těchto signálů je přiveden zpět na vstup prvního součtového členu. Tím vznikne jednoduchý generátor, který zaručuje, že první generovanou hodnotou bude Eulerovo číslo a následně se k němu bude přičítat hodnota nastavená v bloku *Velikost změny šířky pulsu*. Výstupem tohoto generátoru je výstup druhého součtového bloku. Tento výstup je přiveden do struktury, kde za stavu true proběhne jeho zlogaritmování. Výsledek logaritmu vystupuje ze struktury a je přiveden na vstup podílového členu. Tento člen provede vydělení konstanty 1 zlogaritmovaným signálem. Tímto dostaneme průběh, který bude od hodnoty 1 exponenciálně klesat.

Tyto operace proběhnou, jak bylo uvedeno, za podmínky, že struktura se nachází ve stavu true. Když je naopak struktura ve stavu false, nedojde k propojení výstupu prvního součtového členu se vstupem druhého součtového členu. Místo toho je na vstup součtového bloku přivedena hodnota 0. Stejná hodnota je na druhý vstup tohoto bloku připojena namísto bloku pro nastavení *Velikost změny šířky pulsu*. Zlogaritmovaný signál není přiveden do podílového členu. Do tohoto členu je také přivedena hodnota 0. Protože dělíme nulou, výstupem bloku je chybový signál. To ale v tomto případě nevádí, tento signál se nebude dále využívat. Do vstupu podmínky case struktury je přiveden negovaný signál z přepínače *Přepínání řízení*

šířky pulsu. To znamená, že je-li přepínač ve stavu false, dojde k negaci a provede se struktura pro podmínku true.

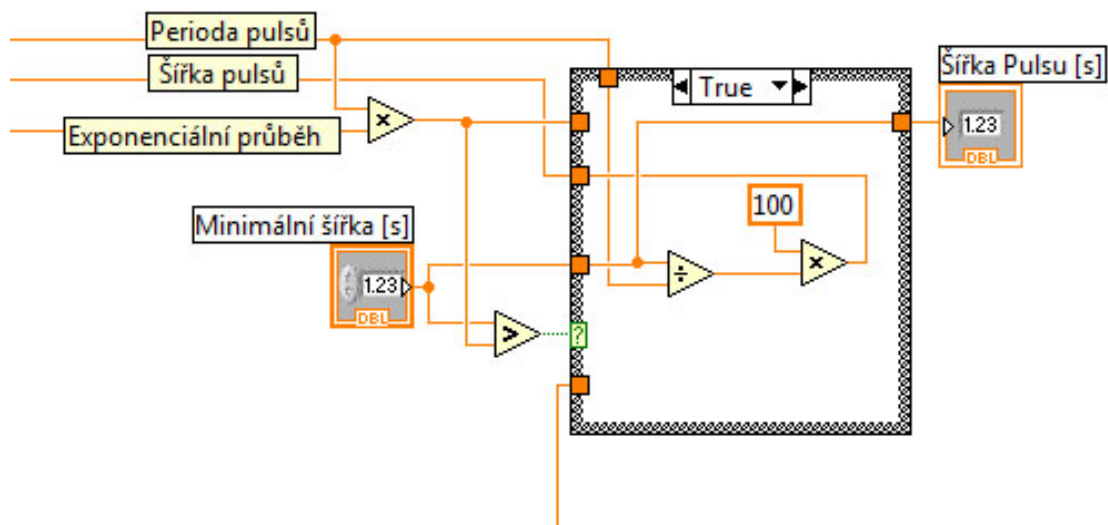
Aby se signál reprezentující šířku pulsu neměnil exponenciálně až do hodnot, kdy by nebyl systém schopen takto krátké pulsy generovat nebo by pulsy nebyly schopny dosáhnout adekvátní odezvy tlaku, je možné nastavit minimální šířku pulsu. Toto omezení šířky pulsů je provedeno tak, že se nejprve vynásobí vytvořený exponenciálně klesající signál se signálem nesoucí informaci o periodě pulsů. Tento signál je následně porovnán s hodnotou nastavenou v bloku *Minimální šířka*. Výsledek tohoto porovnání je přiveden jako podmínka do case struktury. Je-li podmínka vyhodnocena jako true, znamená to, že hodnota nastavená jako minimální šířka pulsu je větší než hodnota aktuálně generovaná. V tom případě se v case struktuře podělí hodnota periody pulsů s hodnotou minimální šířky pulsů. Tím vznikne poměr těchto hodnot a vynásobením konstantou 100 je tento poměr vyjádřen procentuálně a takovýto signál už lze přivést na vstup nastavování šířky pulsů generátoru pulsů. Je-li naopak vstupní podmínka case struktury vyhodnocena jako false, znamená to, že exponenciální generovaná hodnota šířky pulsu je větší než nastavená minimální hodnota. Exponenciální signál vynásobený konstantou 100 projde touto strukturou přímo na patřičný vstup generátoru pulsů.



Obrázek 4.6 Generování exponenciálního signálu

V tomto okamžiku již tedy máme signál, který od hodnoty 1 exponenciálně klesá. Tento signál ovšem ještě není možné přímo přivést na vstup pro nastavování šířky pulsu. Protože největší hodnota, jakou může signál nabývat, je hodnota 1, stačí tento signál vynásobit konstantou 100 a tím dostaneme signál, jehož velikost bude od hodnoty 100 exponenciálně klesat. Tento signál je už možné přivést na vstup nastavování délky pulsů generátoru pulsů pro řízení ventilů. Vlastní realizace přepočtu signálu je jednoduchá. Je použit blok pro součin, na jehož vstupy je přiveden exponenciální signál a signál konstanty 100. Pro zobrazení šířky pulsu na čelním panelu je k výstupu tohoto bloku připojen indikátor. Signál ještě prochází case strukturou, která zajišťuje, že pokud je vstupní podmínka false, signál přes tuto strukturu projde a je přiveden do součtového bloku, kde se sčítá se signálem při konstantním nastavení šířky pulsů. V takovémto případě je výsledek tohoto součtu roven vstupu exponenciálního signálu, který je připojen na patřičný vstup generátoru pulsů pro řízení ventilů. Zároveň se také přivedením signálu true na diodu

Exponenciální šířka pulsů tato dioda rozsvítí. Je-li vstupní podmínka true, exponenciální signál přes strukturu neprojde a na vstup součtového bloku je přivedena hodnota 0. Dioda *Exponenciální šířka pulsů* je zhaslá. Vstupní podmínka pro tuto case strukturu je opět brána z nastavení přepínače *Přepínání řízení šířky pulsu*.



Obrázek 4.7 Realizace minimální šířky pulsů

4.4 AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ TLAKU

Automatickým řízením tlaku v rostlině se rozumí řízení, při kterém uživatel pouze nastavuje žádaný tlak v rostlině. O regulaci tlaku se postará zvolený regulátor. Jako regulátor se využívá PID regulátor, který je obsažen v LabVIEW PID Toolkitu. Název tohoto regulátoru není zcela přesný, protože se samozřejmě nejedná o regulátor spojité. Navíc je možné mimo PID regulátor zvolit regulátor P a regulátor PI. Problém ale vzniká při nastavování regulátoru, protože není znám popis regulované soustavy. Proto pro zjištění jednotlivých konstant regulátoru lze použít například metodu Ziegler-Nicholsovu. Jde o jednoduchou metodu, která nevyžaduje mít znalosti o regulované soustavě. Je ale nutné provádět měření na reálném objektu,

případně modelu soustavy. V našem případě model soustavy není znám, takže se měření bude muset provádět přímo na reálné soustavě. Zjištění konstant regulátoru se provádí následovně: Nejprve se vyřadí integrační a derivační složka regulátoru ($T_D = 0$ a $T_I = \infty$). Poté se zvyšuje zesílení proporcionální složky K_R , dokud nedosáhneme meze stability. Hodnota K_R , při které v obvodu vznikaly netlumené kmity, se nazývá kritické zesílení (K_{krit}). Perioda netlumených kmitů se nazývá kritická perioda (T_{krit}). V okamžiku, kdy jsou známy hodnoty kritického zesílení a kritické periody, se můžou dopočítat jednotlivé parametry regulátoru. Výpočet probíhá podle vzorců uvedených v následující tabulce.

Typ regulátoru	K_R	T_I	T_D
P	$K_R = 0.5K_{krit}$	-	-
PI	$K_R = 0.45K_{krit}$	$T_I = 0.85T_{krit}$	-
PD	doladíme na optimální hodnotu	-	$T_D = 0.12T_{krit}$
PID	$K_R = 0.6K_{krit}$	$T_I = 0.5T_{krit}$	$T_D = 0.125T_{krit}$

Tabulka 4.1 Vzorce pro výpočet parametrů regulátoru metodou Ziegler-Nichols

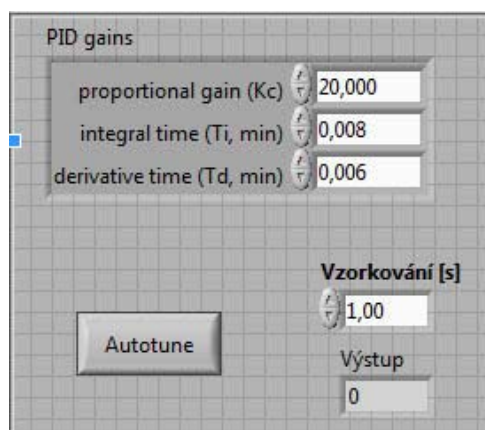
Jednou z hlavních nevýhod této metody pro nastavování regulátorů je, že se musí regulační obvod přivést na mez stability, a soustava pak kmitá netlumenými kmity. Z technologických a bezpečnostních důvodů ale není možné tento experiment pro všechny soustavy použít. Pro takové soustavy lze

- použít model soustavy a kritické parametry určit z výsledků simulace
- použít model soustavy a kritické parametry určit výpočtem
- určit kritické parametry z přechodové charakteristiky
- použít relé bez hystereze

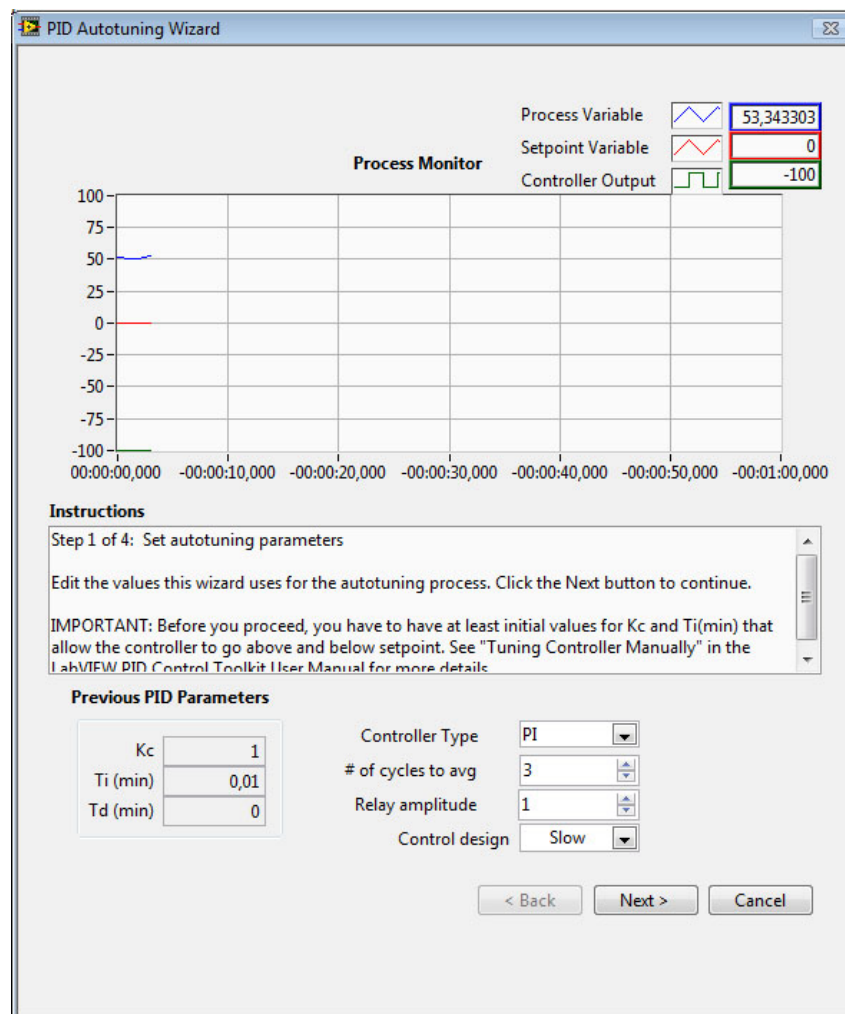
Protože v našem případě není znám model soustavy, přichází v úvahu použití metody rozkmitávání pomocí relé bez hystereze. Relé bez hystereze se používá místo proporcionálního regulátoru. Výhodou je, že kmity jsou řízené, protože amplituda

kmitů závisí na amplitudě relé. Proto nehrozí, že by se systém nekontrolovatelně rozkmital.

Regulátor PID, obsažený v LabVIEW PID Toolkitu, se nastavuje právě pomocí metody Ziegler-Nicholsovy. Pro zjištění kritických parametrů využívá relé bez hystereze. Tento regulátor umožňuje nastavit jak samotný typ regulátoru, tak amplitudu relé. Samozřejmě je možné i ruční nastavení jednotlivých konstant regulátoru, pokud jsou známy.

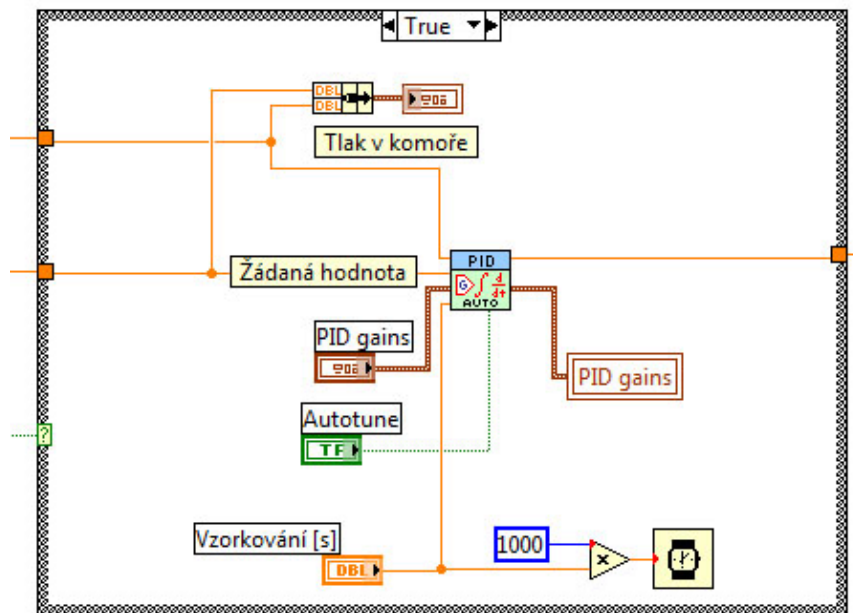


Obrázek 4.8 Nastavování a zobrazování konstant regulátoru



Obrázek 4.9 Automatické nastavování regulátoru

V samotném programu tvoří regulátor samostatný blok. Na jeho vstupy jsou připojeny další bloky pro nastavování regulátoru. Na vstup je samozřejmě také přivedena žádaná hodnota tlaku v rostlině a hodnota skutečného tlaku.



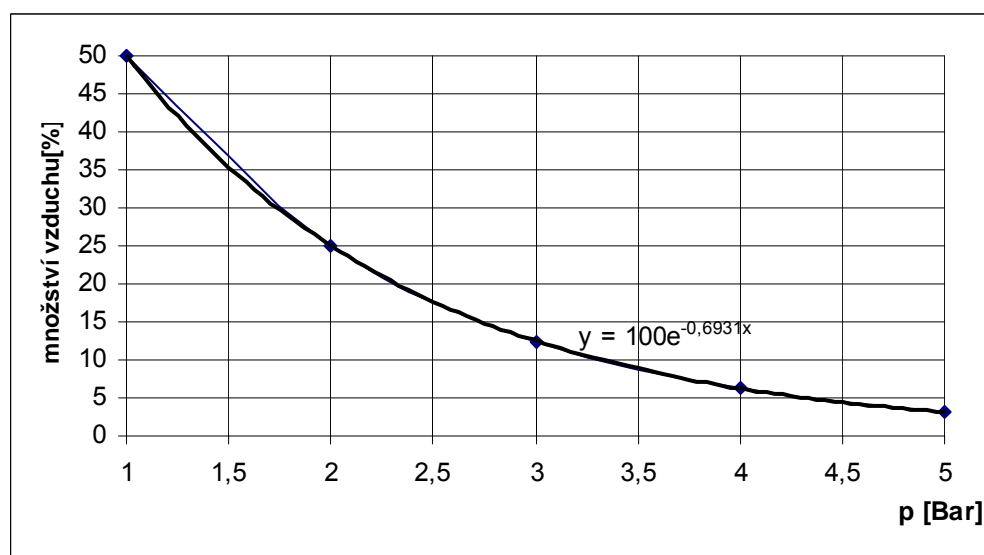
Obrázek 4.10 Zapojení regulátoru

4.5 DÁVKOVÁNÍ DUSÍKU A KYSLÍKU

Jak vyplývá z výše uvedeného textu, je nutné zachovávat parciální tlak kyslíku v tlakové komoře. Proto je třeba při připouštění plynu do komory brát tuto skutečnost v úvahu. S rostoucím tlakem v komoře by se mělo snižovat množství připouštěného kyslíku. Myšlenka ovládání množství kyslíku je založena na faktu, že se ventily otvírají na určitou dobu, podle nastavené délky pulsu. Tento puls by bylo v tomto případě vhodné rozdělit tak, aby adekvátní část tohoto pulsu byla využita pro otevření ventilu vpouštějícího do komory vzduch a zbylá část pulsu by byla použita pro otevření ventilu vpouštějícího do komory dusík. Je ale nutné vypočítat, jak velká část pulsu bude pro pouštění vzduchu využita. Množství vzduchu pro jednotlivé tlaky je zobrazeno v následující tabulce.

Přetlak v komoře [bar]	Množství vzduchu [%]
1	50
2	25
3	12,5
4	6,25
5	3,125

Tabulka 4.2 Množství vzduchu v tlakové komoře pro různé tlaky

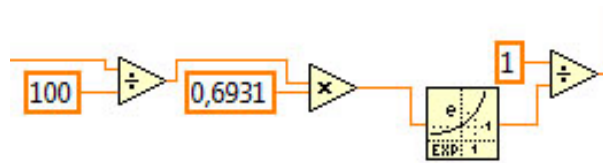


Graf 4.1 Průběh množství vzduchu v závislosti na tlaku

Z uvedené tabulky a grafu je patrné, že množství vzduchu obsaženého v tlakové komoře pro jednotlivé tlaky se mění exponenciálně a to podle rovnice

$$m = 100e^{-0,6931x} \quad [\%] \quad (4.1)$$

Když je známa závislost množství vpouštěného vzduchu na tlaku v tlakové komoře, je možné tuto část programu realizovat. Do podílového bloku vstupuje hodnota aktuálního tlaku v tlakové komoře a je vydělena konstantou 100, čímž je realizován převod mezi tlakem v kPa a tlakem v barech. Z tohoto bloku je signál veden do bloku součinu, kde je vstupující hodnota vynásobena konstantou 0,6931. Následně je signál přiveden do dalšího bloku, který tento vstupní signál bere jako mocninu exponentu. Protože je ale třeba, aby signál exponenciálně klesal, je výstupní hodnota tohoto bloku přivedena do podílového bloku, kde je použita jako dělitel konstanty 1.



Obrázek 4.11 Výpočet množství vpouštěného vzduchu

Posléze je signál násoben se signálem nesoucím informaci o délce pulsu, která přichází buď z regulátoru, nebo z bloků spadajících pod manuální řízení. Výsledný signál je přiveden na vstup *Generátoru pulsů pro řízení ventilů 2*, nastavující poměr délky kladného a záporného pulsu. Signál jdoucí z regulátoru nebo z bloků manuálního řízení je přiveden na stejný vstup, ale u *Generátoru pulsů pro řízení ventilů 1*. V obou těchto generátorech je nastavena výstupní amplituda na hodnotu 1 a offset také na hodnotu 1. Tím pádem vzniká obdélníkový průběh s amplitudou 0V a 2V. Nyní existují dva obdélníkové průběhy, které nesou informaci o délce celkového pulsu ovládajícího ventilu a o délce pulsu, která má být přivedena na ventil ovládající přívod vzduchu do komory. Oba dva tyto signály vstupují do case struktury, na jejíž podmínkový vstup je přiveden signál nesoucí informaci, jestli je tlak v komoře, případně v rostlině nižší. Je-li nižší, provede se ta část struktury, která odpovídá splnění vstupní podmínky. Signály pulsů přes strukturu projdou a

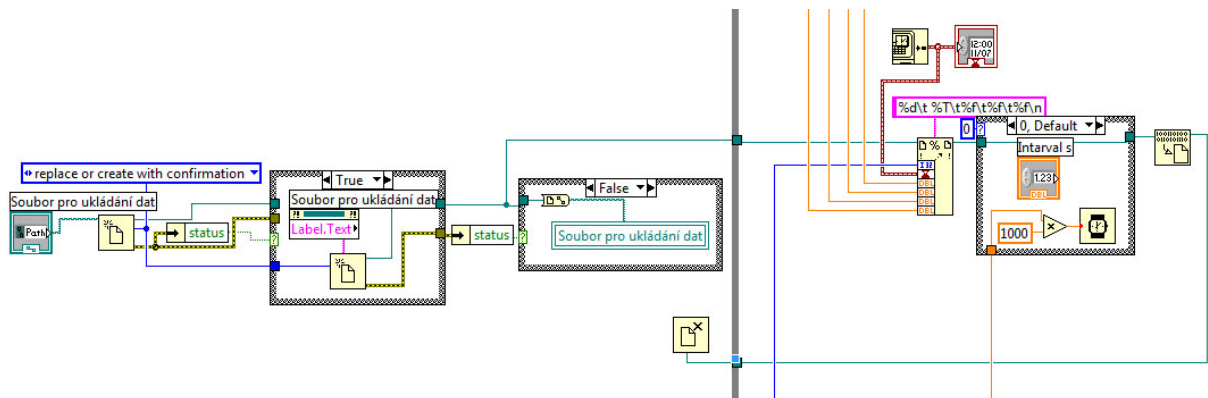
jsou přivedeny na rozdílový blok, kde se od signálu celkového pulsu odečte signál nesoucí puls určený pro řízení ventilu vzduchu. Výsledný signál je porovnán s konstantou 0 a je přiveden jako podmínka do case struktury. Za předpokladu, že porovnávaný signál je větší než 0, se provede část struktury true. V ní se generuje logický signál a ten je následně veden na vstup data bloku *DAQ Assistant-dusík*. Signál pulsu pro řízení ventilu vzduchu je přímo přiveden kromě již uvedeného rozdílového bloku na blok porovnání, kde se stejně jako v předchozím případě provede porovnání, jestli je daný signál větší než 0. Výsledek tohoto porovnání je přiveden na vstup case struktury. Je-li větší než 0, je ve struktuře generován signál true, je-li menší, je generován signál false. Tyto signály jsou následně přivedeny na vstup data bloku *DAQ Assistant-vzduch*.

4.6 MĚŘENÍ HMOTNOSTI

Další velmi důležitou částí zařízení je váha, která měří hmotnost komory s rostlinou. Porovnáním naměřených hmotností lze pak následně určit, kolik vody rostlina během experimentu vypařila. Jde o takzvanou gravimetrickou metodu. Důležitý je také průběh hmotnosti, který říká, jak se mění míra vypařování vody (transpirace) v čase. Transpirace se mění s teplotou, ale i s denní dobou nebo se stresem rostliny. Váha komunikuje s řídicím počítačem pomocí rozhraní RS232. Část programu, která realizuje tuto komunikaci, je převzata z programu uvedeného jako příklad komunikace v záložce Help programu LabVIEW. Tento program umožňoval vysílání a příjem zpráv mezi PC a připojeným zařízením. Pro oddělení naměřené hodnoty a jednotky je využita část programu realizovaná Ing. Miloslavem Čejkou.CSc. pro jiné experimenty v laboratoři biologie.

4.7 UKLÁDÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Ukládání naměřených dat je prováděno tak, že je nejprve otevřen soubor pro zápis dat, následně je proveden zápis a na závěr je soubor uzavřen. Při spuštění programu se zobrazí okno do kterého je třeba zadat cestu a název souboru, do kterého se mají naměřená data ukládat. Pokud je použit již existující soubor, je uživateli položen dotaz, jestli chce daný soubor nahradit. Pokud uživatel nechce stávající soubor měnit, znovu se objeví okno s možností výběru cesty a názvu souboru pro ukládání. Protože tuto část programu již realizoval pro tuto laboratoř Ing. Čejka, CSc. využil jsem ji i v tomto programu. Do souboru typu lvm se ukládají hodnoty tlaku v komoře a v rostlině, dále se ukládá žádaný tlak v komoře a hmotnost.



Obrázek 4.12 Ukládání dat do souboru

5. ZÁVĚR

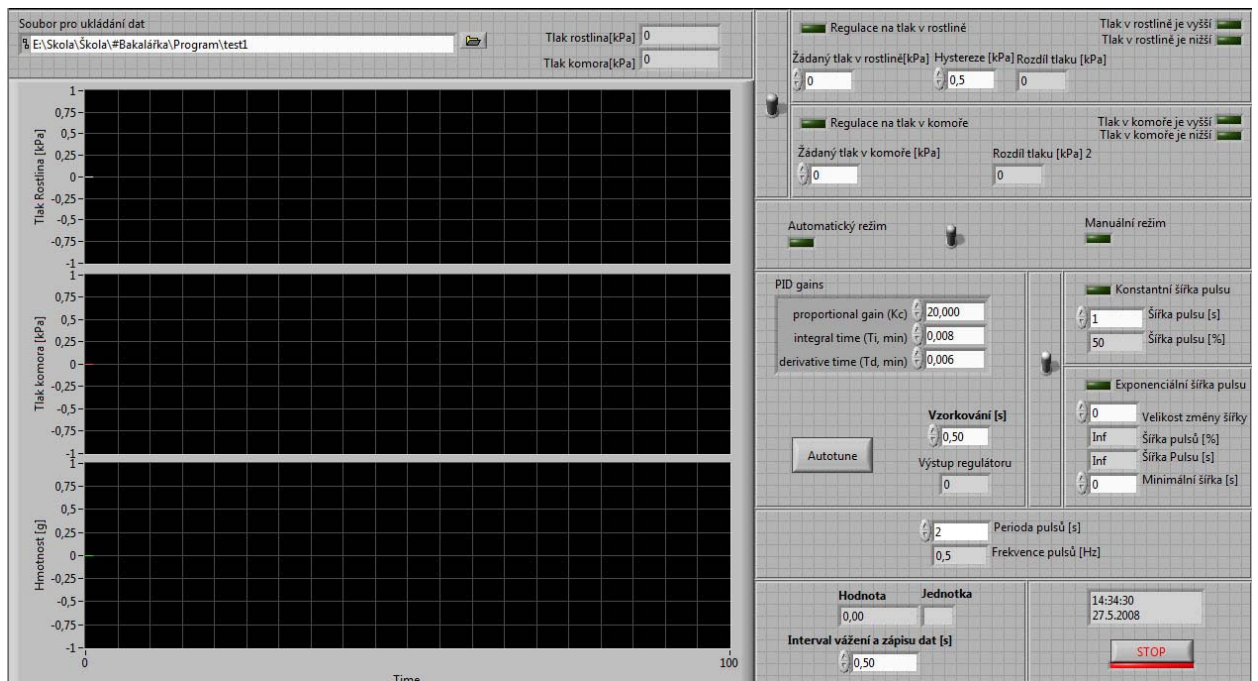
Během realizace této práce vzniklo zařízení, které je schopné regulovat tlak v rostlině a gravimetricky měřit průtok rostlinou. Toto zařízení bude využíváno v laboratoři Ústav fyziologie a anatomie rostlin Přírodovědecké fakulty Masarykovi univerzity v Brně. Na výrobě hardwaru se podílelo několik institucí a to Ústav automatizace a měřicí techniky Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, Akademie věd ČR, kompletace byla provedena na již zmíněném ústavu Přírodovědecké fakulty MU.

Kompletní zařízení bylo k dispozici asi od 5. května 2008, takže na ověření funkčnosti jak hardwaru, tak softwaru nezbývalo již mnoho času. Po odladění několika problémů se zařízení ukázalo jako plně funkční. Samozřejmě se při realizaci objevilo několik komplikací. Nejprve bylo nutné vyměnit měřicí kartu, která je použita v tomto projektu ze zařízení realizovaného ve stejné laboratoři, a nahradit ji externí kartou připojenou přes USB. Stávající zařízení je ale součástí nepřetržitého pokusu. Odstávka byla možná pouze na krátký čas v ranních hodinách. Po několika testech se ukázalo, že nový napájecí zdroj napájející snímač nefunguje, jak by měl. Po vyřešení tohoto problému mohlo konečně dojít k výměně měřicích karet a k sestavování hardwaru. Z nového hardwaru se ukázala nefunkční váha, která byla obratem zaslána k reklamaci. Ostatní zařízení se podařilo připojit bez zásadnějších potíží, takže další komplikace byly způsobeny spíše dlouhou dodací lhůtou jednotlivých částí.

Jak již bylo uvedeno, vzniklé zařízení se jeví jako funkční. Zatím sice z časových důvodů nebylo podrobeno dlouhodobějšímu testování, ale dosavadní výsledky regulace jsou dobré. Podobné zařízení již existuje, a to například na Harvard University, kde se s ním setkal vedoucí tohoto projektu doc. RNDr. Vít Gloser, PhD. Proto jsou k dispozici výsledky tamních měření. Po porovnání získaných výsledků jsme došli k závěru, že námi sestrojené zařízení vykazuje lepší

úroveň regulace tlaku. V našem případě se rozdíl žádané a skutečné hodnoty pohyboval v rozmezí do asi 0,4 kPa, kdežto maximální rozdíl hodnot na zařízení provozovaném v USA činil asi 1 kPa. Zařízení není ještě zcela odzkoušeno, dá se ale předpokládat, že se s postupem času získají další zkušenosti s nastavováním regulátoru a dalších parametrů a zařízení bude regulovat ještě přesněji.

Postup realizace řídicího programu, popis použitých zařízení a další náležitosti vyžadované zadáním této práce jsou uvedeny v předchozích kapitolách.



Obrázek 5.1 Čelní panel

6. LITERATURA

- [1] Blaha, P. Vavřín, P.: Řízení a regulace 1. VUT Brno, 2001
- [2] Čejka, M.: Použití PC v měřicí technice. VUT Brno, 2002
- [3] Jelínek, J. Ticháček, V.: Biologie pro gymnázia. Olomouc, 2003
- [4] Žídek, J.: Grafické programování ve vývojovém prostředí LabVIEW. VŠB-TU Ostrava, 2002