



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

# ŘÍZENÍ PROCESU REAKTIVNÍHO MAGNETRONOVÉHO NAPRAŠOVÁNÍ

CONTROL OF REACTIVE MAGNETRON SPUTTERING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN DUŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Fořt, Ph.D., ÚPT AVČR,  
Brno

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Mikroelektronika a technologie**

**Student:** Jan Dušek

**ID:** 146814

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2013/2014

## NÁZEV TÉMATU:

**Řízení procesu reaktivního magnetronového naprašování**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a vytvořte ovládací program pro řízení depozice tenkých vrstev reaktivním magnetronovým naprašováním. Program musí umožnit maximální míru automatizace depozičního procesu a musí zajistit jeho velmi dobrou reprodukovatelnost. Využijte již provedených mechanických úprav depozičního zařízení a v případě potřeby navrhněte a realizujte jeho další úpravy. Navržený program včetně automatizovaných funkcí ověřte při depozičních testech.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce

**Termín zadání:** 10.2.2014

**Termín odevzdání:** 5.6.2014

**Vedoucí práce:** Ing. Tomáš Fořt, Ph.D., ÚPT AVČR, Brno

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.**

*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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce stručně popisuje technologii reaktivního magnetronového naprašování a zabývá se návrhem a realizací programu k jeho ovládání. K tomuto účelu byl vytvořen ovládací program pro řízení jednotlivých komponent aparatury PLS160 v programovacím prostředí LabView. Na základě znalostí technologického procesu a postupu reaktivního magnetronového naprašování byl vytvořen automatický program. Tento automatický program je možné modifikovat pomocí receptů. Vedle programové skladby byly provedeny mechanické a elektrické změny aparatury. Celý automatizovaný proces byl testován.

## **Klíčová slova**

LabView, regulátory průtoku, vakuometr Baratron, převodník PR 4000B-F, COM porty, RF generátor Cesar 136, pulzní generátor Pinnacle Plus, modul Quido USB 8/8

## **Abstract**

Bachelor's thesis concisely describes technology of reactive magnetron sputtering and deals with the design and realization of controlling program. For this purpose it was created the control program for steering of individual components of apparatus PLS 160 in programming environment Labview. On basis of the knowledge of technological process and procedures of reactive magnetron sputtering the automatic program was created. This program can be modified using recipes. Besides program structures mechanical and electrical changes of apparatus were made. The entire automated process was tested.

## **Key words**

LabView, flow regulators, vacuum gauge Baratron, converter PR 4000B-F, COM ports, RF generator Cesar 136, pulse generator Pinnacle Plus, module Quido USB 8/8

## **Bibliografická citace díla**

DUŠEK, J. *Řízení procesu reaktivního magnetronového naprašování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 71 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Fořt, Ph.D., ÚPT AVČR, Brno.

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Řízení procesu reaktivního magnetronového naprašování“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne .....

.....

podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Fořtovi, Ph. D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

# Obsah

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Úvod .....</b>                                                         | <b>10</b> |
| <b>2. Teoretický úvod.....</b>                                            | <b>11</b> |
| 2.1.    Reaktivní magnetronové naprašování .....                          | 11        |
| 2.1.1.    Technologie .....                                               | 11        |
| 2.1.2.    Hystereze .....                                                 | 11        |
| 2.1.3.    Proces mizení katody a vznik mikrooblouků.....                  | 12        |
| 2.1.4.    Pulzní naprašování.....                                         | 12        |
| 2.2.    Aktuální stav aparatury.....                                      | 13        |
| <b>3. Praktická část.....</b>                                             | <b>15</b> |
| 3.1.    Návrh ovládacího programu .....                                   | 15        |
| 3.1.1.    Návrh ovládání pro regulátory průtoku Alicat.....               | 16        |
| 3.1.2.    Návrh ovládání pro MKS Baratron Typ 627D a převodník PR 4000B-F | 17        |
| 3.1.3.    Návrh pro generátory Cesar 136 a Pinnacle Plus .....            | 18        |
| 3.1.4.    Návrh pro ovládací modul Quido USB8/8 .....                     | 19        |
| 3.1.5.    Návrh mechanických změn aparatury PLS 160.....                  | 20        |
| 3.2.    Realizace programu .....                                          | 21        |
| 3.2.1.    Regulátory průtoku Alicat .....                                 | 21        |
| 3.2.2.    MKS Baratron Typ 627D a převodník PR 4000B-F .....              | 26        |
| 3.2.3.    Generátor Cesar 136 .....                                       | 29        |
| 3.2.4.    Pulzní generátor Pinnacle Plus .....                            | 33        |
| 3.2.5.    Ovládací modul Quido USB 8/8.....                               | 36        |
| 3.2.6.    Program pro tvorbu receptů .....                                | 38        |
| 3.2.7.    Automatická funkce receptu .....                                | 40        |
| 3.3.    Uživatelské rozhraní .....                                        | 43        |
| 3.4.    Změny aparatury PLS 160.....                                      | 45        |
| 3.4.1.    Mechanické změny .....                                          | 45        |
| 3.4.2.    Úpravy elektrického zapojení .....                              | 47        |
| <b>4. Testování.....</b>                                                  | <b>50</b> |
| 4.1.    Testování ovládacího programu regulátorů průtoku .....            | 50        |
| 4.2.    Testování ovládacího programu vakuometru Baratron .....           | 50        |

|                            |                                                           |           |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.                       | Testování ovládacího programu generátoru Cesar 136 .....  | 50        |
| 4.4.                       | Ovládací program pro pulzní generátor Pinnacle plus ..... | 51        |
| 4.5.                       | Ovládací program pro Quido USB 8/8 .....                  | 51        |
| 4.6.                       | Testování automatické funkce a receptů .....              | 51        |
| <b>5.</b>                  | <b>Parametry použitých přístrojů .....</b>                | <b>53</b> |
| 5.1.                       | Regulátory průtoku Alicat .....                           | 53        |
| 5.2.                       | MKS Baratron Typ 627D .....                               | 53        |
| 5.3.                       | Převodník PR 4000B-F .....                                | 53        |
| 5.4.                       | Generátor Cesar 136 .....                                 | 54        |
| 5.5.                       | Generátor Pinnacle Plus .....                             | 54        |
| 5.6.                       | Quido USB8/8 .....                                        | 54        |
| <b>Závěr .....</b>         |                                                           | <b>55</b> |
| <b>Literatura .....</b>    |                                                           | <b>56</b> |
| <b>Seznam zkratk .....</b> |                                                           | <b>57</b> |
| <b>Seznam příloh .....</b> |                                                           | <b>58</b> |

## Seznam obrázků

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 2.1: Grafické znázornění depoziční rychlosti $a_D$ jako funkce průtoku reaktivního plynu $\Phi_{RG}$ [1][2] ..... | 11 |
| Obr. 2.2: Pracovní komora aparatury PLS160.....                                                                        | 13 |
| Obr. 2.3: USB – RS232 hub se čtyřmi konektory .....                                                                    | 14 |
| Obr. 3.1: Základní a prvotní programové schéma [1].....                                                                | 15 |
| Obr. 3.2: Grafické znázornění nastaveného a reálného průtoku[1] .....                                                  | 16 |
| Obr. 3.3: MKS Baratron Typ 627 D [1] .....                                                                             | 17 |
| Obr. 3.4: Ovládací modul QUIDO USB8/8 [1] [9] .....                                                                    | 19 |
| Obr. 3.5: Vyčkávací smyčka s deklarací souboru [1] .....                                                               | 21 |
| Obr. 3.6: Smyčka automatické inicializace z pole COM portů [1].....                                                    | 22 |
| Obr. 3.7: Vstupní bloky pro ovládání regulátorů průtoku Alicat [1].....                                                | 22 |
| Obr. 3.8: Postupný mód pro ovládání průtokoměrů Alicat [1] .....                                                       | 23 |
| Obr. 3.9: Programové schéma cyklického módu [1] .....                                                                  | 23 |
| Obr. 3.10: Výpočetní blok měřítek pro grafickou závislost průtoku na čase [1].....                                     | 24 |
| Obr. 3.11: Chybová struktura s kódem chyby a jejím popisem [1] .....                                                   | 24 |
| Obr. 3.12: Oznamovací blok s výpisem do okna a nastavením dalšího stavu [1] .....                                      | 25 |
| Obr. 3.13: Inicializační smyčka pro převodník PR4000B-F a Baratron [1] .....                                           | 26 |
| Obr. 3.14: Blok pro vynulování offsetu Baratronu [1] .....                                                             | 27 |
| Obr. 3.15: Měření a vyhodnocování získaných dat [1].....                                                               | 27 |
| Obr. 3.16: Vyčkávací smyčka a deklarace souboru pro generátor Cesar .....                                              | 29 |
| Obr. 3.17: Konverze příkazu a dat na řetězce a odeslání do generátoru.....                                             | 30 |
| Obr. 3.18: Dekódování přijatých dat z generátoru.....                                                                  | 30 |
| Obr. 3.19: Podprogram pro vyhodnocení nastavených příkazů.....                                                         | 31 |
| Obr. 3.20: Programová konstrukce pro komunikaci s generátorem Cesar .....                                              | 31 |
| Obr. 3.21: Vyčkávací smyčka s inicializací souboru generátoru Pinnacle Plus .....                                      | 33 |
| Obr. 3.22: Postupné čtení hodnot z generátoru Pinnacle Plus .....                                                      | 34 |
| Obr. 3.23: Dekódování získaných dat z generátoru Pinnacle Plus .....                                                   | 34 |
| Obr. 3.24: Kontrola změny parametrů nastavených příkazů generátoru Pinnacle .....                                      | 35 |
| Obr. 3.25: Inicializační program modulu Quido USB 8/8.....                                                             | 36 |
| Obr. 3.26: Výběr řetězce při změně nastavení výstupu .....                                                             | 37 |
| Obr. 3.27: Podprogram pro čtení receptu ze souboru .....                                                               | 38 |
| Obr. 3.28: Blok pro ukládání receptu do souboru.....                                                                   | 38 |
| Obr. 3.29: Podprogram kopírování řádku receptu .....                                                                   | 39 |
| Obr. 3.30: Nastavení komunikace generátorů .....                                                                       | 40 |
| Obr. 3.31: Načtení parametrů pro generátor Pinnacle .....                                                              | 40 |
| Obr. 3.32: Kontrola zapálení výboje, časová smyčka depozičního kroku.....                                              | 41 |
| Obr. 3.33: Nastavení generátoru na přední přístrojovou desku .....                                                     | 42 |
| Obr. 3.34: Informační část uživatelského rozhraní pro regulátory a Baratron .....                                      | 43 |
| Obr. 3.35: Informační část uživatelského prostředí generátorů.....                                                     | 43 |
| Obr. 3.36: Manuální část nastavení přístupná uživateli.....                                                            | 44 |

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 3.37: Ovládací panel tabulky receptu .....                                | 44 |
| Obr. 3.38: Návrh krabičky pro stykače z programu SolidWorks 2013 .....         | 45 |
| Obr. 3.39: Krabička pro stykače a její uchycení .....                          | 46 |
| Obr. 3.40: Ovládací mechanismus pro otevírání a zavírání clony magnetronu..... | 46 |
| Obr. 3.41: Vytvořená deska pro ovládání motorku pomocí H-můstku .....          | 47 |
| Obr. 3.42: Propojovací deska pro zapojení ventilů.....                         | 47 |
| Obr. 3.43: Blokovací filtr.....                                                | 48 |
| Obr. 3.44: Schéma zapojení stykačů pro generátory .....                        | 48 |
| Obr. 4.1: Zapálený doutnavý výboj během zkušební depozice .....                | 52 |

# Úvod

Reaktivní magnetronové naprašování patří k moderním technologiím nanášení tenkých vrstev. Díky nim jsme schopni realizovat vrstvy od desetin nanometrů do jednotek mikrometrů.

Technologie reaktivního magnetronového naprašování je založena na odprašování požadovaného materiálu z povrchu terče. Při tomto procesu je na stolku, kde je umístěn vzorek, obvykle plovoucí nebo nulový potenciál. Rychlost tohoto procesu je závislá na materiálu terče, dále na nastaveném výkonu, tlaku a druhu připouštěného aktivního plynu.

Cílem této práce je navržení, realizace a testování ovládacího programu a navržení a realizace některých mechanických úprav, které jsou pro takové řízení nutné. Pro vytvoření softwaru bylo zvoleno programovací prostředí od firmy National Instruments laboratorní nástroj LabView. Ze základních programů, které jsou od výrobců jednotlivých komponent k dispozici, je vytvořen multifunkční software. Díky tomu je možné ovládat jednotlivé komponenty zvlášť, zároveň však kombinovat jejich funkci. Program by měl zaručovat dostatečný záznam dat, aby se zpřesnily případná reprodukce procesu a snížila se možnost chyb. Navíc nebude nutný zásah obsluhy během celé délky procesu.

V teoretické části je popsána depoziční technologie. Dále také aktuální stav aparatury, popis jejich komponent. V praktické části se nachází návrh a realizace programu, mechanických částí a jejich detailní popis s vysvětlením.

Tento vytvořený program a provedené mechanické změny budou použity pro automatizaci procesu reaktivního magnetronového naprašování aparatury PLS160.[1]

## 2. Teoretický úvod

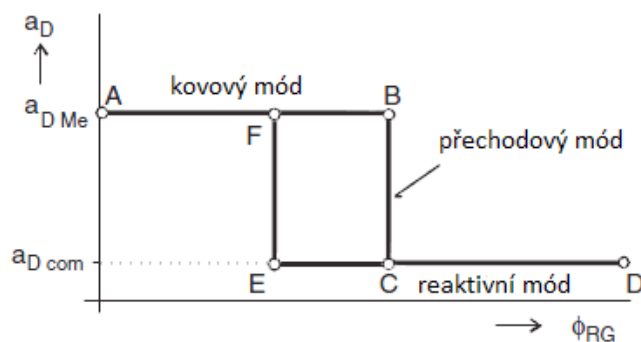
### 2.1. Reaktivní magnetronové naprašování

#### 2.1.1. Technologie

Reaktivní magnetronové naprašování je proces, při kterém se odprašuje materiál z terče (katody) za přítomnosti inertního a reaktivního plynu. Tento reaktivní plyn reaguje s rozprašovaným materiálem, tak i s terčem. Existují dva způsoby, kterými lze realizovat reaktivní depozice: diodové uspořádání a magnetronové uspořádání. Protože má diodové uspořádání pro depozice příliš pomalou rychlost depozice, využívá se především magnetronové naprašování. Důsledkem těchto reakcí je vytvoření sloučenin nitridů, oxidů nebo karbidů v závislosti na použitém reaktivním plynu. Změnou depozičních parametrů můžeme vytvářet vrstvy s různými vlastnostmi.[1] [2] [3]

#### 2.1.2. Hystereze

V závislosti na množství použitého reaktivního plynu můžeme reaktivní magnetronové naprašování rozdělit do tří částí (viz Obr. 2.1): kovový, přechodový a reaktivní mód.



Obr. 2.1: Grafické znázornění depoziční rychlosti  $a_D$  jako funkce průtoku reaktivního plynu  $\Phi_{RG}$  [1][2]

Při nízkých hodnotách průtoku reaktivního plynu není rozprašovaný terč pokryt reaktivními produkty. Rozprašování v bodech (A-B) tedy probíhá v kovovém módu. Pokud se průtok reaktivního plynu ( $\Phi_{RG}$ ) dále zvýší, bude to mít za následek snížení depoziční rychlosti ( $a_D$ ) v důsledku pokrytí rozprašovaného terče reaktivními produkty, např. u hliníku rozprašovaného v  $Ar+O_2$  atmosféře vrstvou kysličníku hliníku. Při dalším navyšování průtoku bude depoziční rychlost téměř konstantní, což je typické pro reaktivní mód naprašování.

Návrat do kovového módu není okamžitý. Určité zpoždění (C-E) je dáno nutností odprášit produkty reakce z povrchu terče. Po odprášení produktů reakce z povrchu terče dojde ke zvýšení depoziční rychlosti a skokovému přechodu do kovového módu.

Hysterezní jev je pro reaktivní magnetronové naprašování nežádoucí. Vzniklá hysterezní oblast je velmi nestabilní. Udržení pracovního bodu v této části je velmi složité. [1] [2] [3]

### **2.1.3. Proces mizení katody a vznik mikrooblouků**

Během depozice nevodivých struktur, např. kysličníku hliníku, dochází uvnitř komory k pokrývání tenkou dielektrickou vrstvou. Elektrony potom nejsou z komory odvedeny a dochází k pokrývání povrchu aparatury dielektrickou vrstvou. To může mít za následek zvýšení impedance plazmatu a nestabilitě depozičních parametrů. V nejhorších případech může dojít k nerovnoměrné depoziční rychlosti, zhasnutí plazmatického výboje nebo zhoršení vlastností naprašované vrstvy.

Pokud se při naprašování dielektrických vrstev objevují nevodivé oblasti na terči, může naprašovaná vrstva uvnitř čerpané komory vytvořit kapacitor. Tento kapacitor je potom nabíjen dopadajícími ionty z plazmatu. K průrazu dojde v tom okamžiku, jakmile je překročena hodnota elektrické pevnosti daného materiálu. Během tohoto výboje dojde k velkému nárůstu proudu, což má za následek vytvoření elektrického oblouku. Tento elektrický oblouk představuje velké riziko, neboť může dojít k částečnému odpařování terče. [1][2][3]

### **2.1.4. Pulzní naprašování**

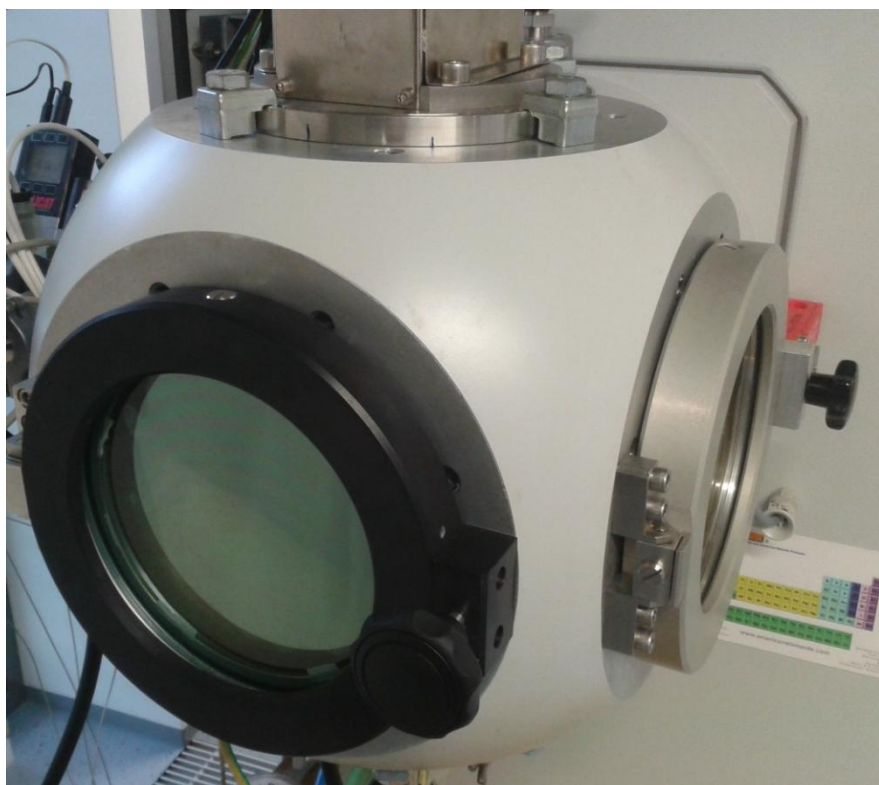
Pokud naprašujeme nevodivou vrstvu, můžeme pomocí pulzního naprašování předejít průrazu dielektrické vrstvy. Během naprašování jsou ionty plynu neustále urychlovány k terči záporným napětím na katodě. Po určité době je zde nashromážděn dostatečně velký náboj, aby mohl vzniknout elektrický oblouk. Pokud ovšem použijeme pulzní naprašování o vysoké frekvenci, pak se velikost náboje nestihne nashromáždit v takové míře, aby vznikl elektrický oblouk.

Způsob, kterým lze eliminovat naakumulovaný náboj, je závislý na polaritě terče v okamžiku, kdy není rozprašován. Napětí bývá v tomto okamžiku buď nulové, nebo kladné. Existují dva režimy pulzního naprašování: unipolární (nulové) a bipolární (kladné). [1][2][3]

## 2.2. Aktuální stav aparatury

Depoziční aparatura PLS 160 se skládá z několika základních částí. Jedná se o čtyři průtokoměry od výrobce Alicat, dále o generátor Cesar 136, MKS Baratron Typ 627D s převodníkem PR4000B-F. Aparatura má dále na bočním panelu umístěné přepínače pro spínání ventilů k jednotlivým plynům. Boční panel dále také obsahuje orientační měрку tlaku v komoře, spínač pro zapínání čerpacího zařízení. Tento panel dále obsahuje indikaci o připojení chladicí kapaliny (v našem případě vody). Celá aparatura je připojena na vodní okruh z důvodu chlazení magnetronu a čerpací turbíny.

Pokud chceme jakkoliv pracovat s aparaturou je nejprve nutné zapnout vodní okruh. Po té je zapotřebí vyčkat, dokud se pracovní komora (viz Obr. 2.2) nevyčerpá na námi požadovaný tlak. Tento tlak se obvykle pohybuje okolo 0,2mPa. Jakmile je aparatura PLS 160 dostatečně vyčerpaná, můžeme přejít k procesu naprašování. Nejprve je nutné zapnout ventily od plynů, které budeme používat. Jakmile tlak v komoře klesne pod 13Pa, můžeme otevřít ventil od Baratronu. Pokud bychom otevřeli ventil dříve, mohlo by dojít k poškození Baratronu. Na displeji převodníku PR4000B-F potom můžeme pozorovat pomocí Baratronu velmi přesně tlak v komoře.



Obr. 2.2: Pracovní komora aparatury PLS160

Před započítím depozice je nutné programově nastavit sériovou komunikaci přes COM porty, přičemž na každém COM portu je připojena jedna komponenta aparatury. Programové vybavení aparatury nyní obsahuje především ovládání regulátorů průtoku,

kde je možné nastavovat nezávisle na sobě libovolný průtokoměr k danému plynu. Tyto čtyři průtokoměry jsou připojeny k počítači přes RS232 rozhraní, které je pomocí převodníku a RS232 hubu připojeno USB konektorem viz Obr. 2.3. Přes tento RS232 hub je dále také připojen generátor Cesar a také převodník PR4000B-F. Z generátoru Cesar je možné v programu pozorovat výstupní veličiny, jako jsou napětí, výkon reálný, výkon odražený zpět. Výstupní data z převodníku PR4000B-F můžeme v programu graficky pozorovat a pomocí nich určovat, ve kterém módu deponování se nacházíme (oxidy, metalický mód). Dále můžeme pomocí Baratronu a přijatých dat kontrolovat průběh tlaku, který se mění podle připouštění plynu z regulátorů průtoku.



Obr. 2.3: USB – RS232 hub se čtyřmi konektory

Během depozice se dají počítačově ovládat regulátory průtoku. Ovšem generátor Cesar je nutné ovládat ručně, včetně nastavení výkonu, vyrovnávacích kapacit. Baratron je možné nulovat přes speciální podprogram, ale ten není během chodu ovládacího programu možné spustit. Během procesu depozice je dále ještě nutné přepínat propojení stolku, magnetronu ke generátoru pomocí přepínače. Dále je nutné, během samotného procesu naprašování, včas ručně otevřít clonu pod magnetronem pomocí ovládací tyče.

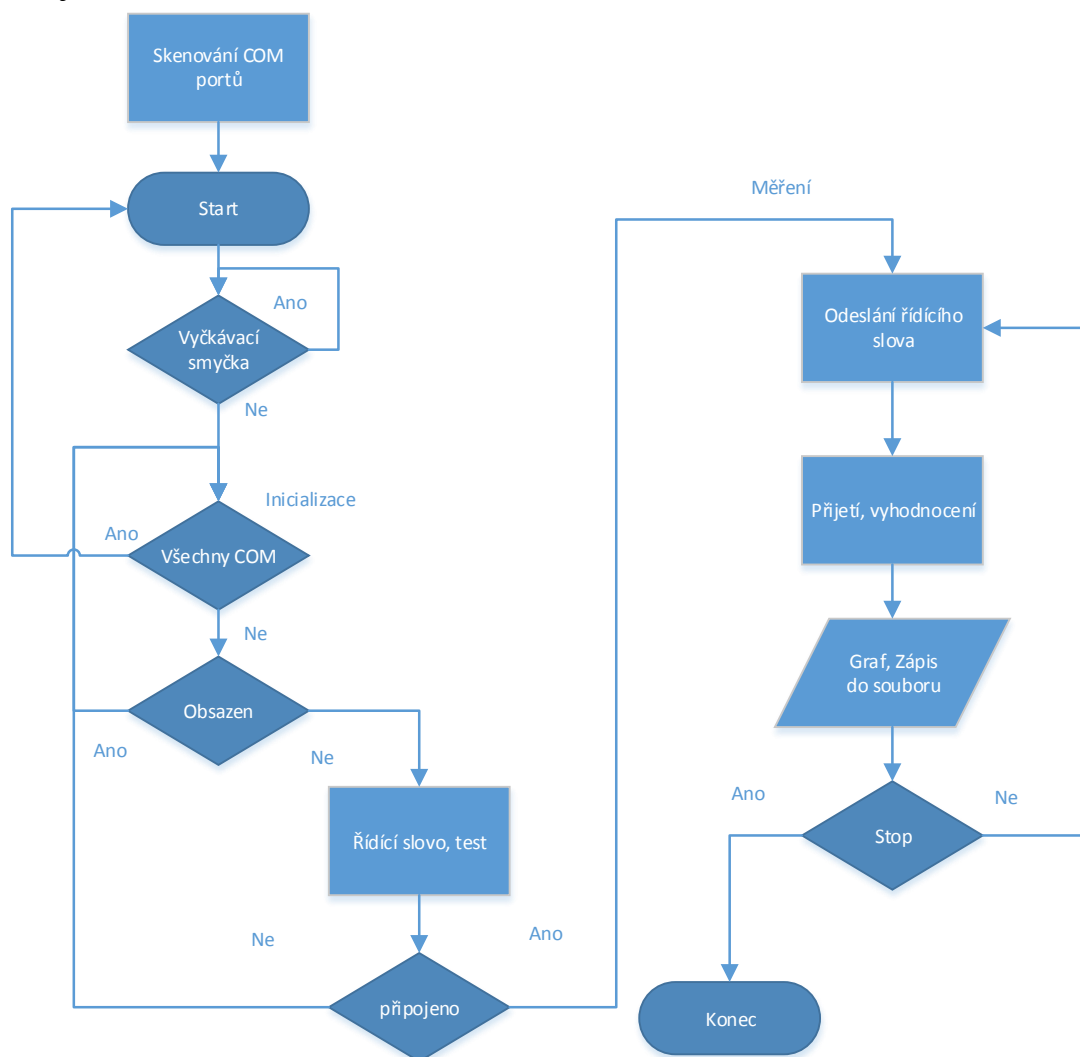
Samotná depozice je tedy sama o sobě časově náročná. Obsluha musí velmi často kontrolovat chod, případně dostavovat hodnoty jednotlivých komponent. Ustálení jednoho stavu při depozici trvá obvykle několik minut.[1]

## 3. Praktická část

### 3.1. Návrh ovládacího programu

Program, který byl navržen by měl splňovat určité požadavky, jako jsou: lepší ovladatelnost, cyklický pracovní mód pro regulátory průtoku, ovládání dvou nových generátorů (Cesar a Pinnacle), možnost vynulovat Baratron během spuštěného programu. Dále by mělo být možné ovládat pomocí desky Quido, která má zabudovaná relé, ventily od plynů a přepínač od magnetronu. Program by dále měl být i přes množství ovládacích prvků přehledný, bezpečný k použitým zařízením. Velikost ovládacího panelu by měla být optimální pro jednoduché ovládání.

Pro návrh byla vytvořena programová konstrukce, diagram viz Obr. 3.1, ze které se bude pro skladbu programu vycházet, a která bude použitelná pro většinu přístrojů.[1]



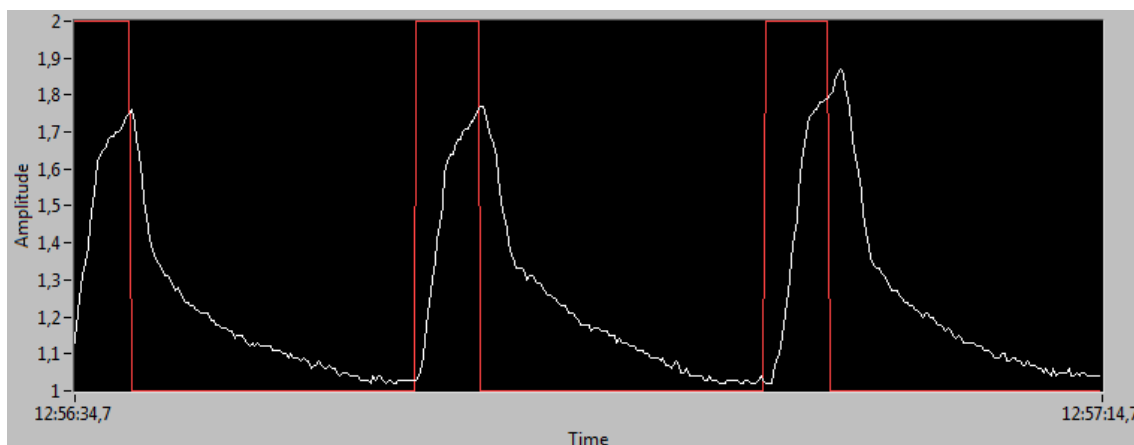
Obr. 3.1: Základní a prvotní programové schéma [1]

### 3.1.1. Návrh ovládání pro regulátory průtoku Alicat

Regulátory průtoku jsou připojeny pomocí RS232 hubu k počítači. Před spuštěním je zapotřebí nastavovat ručně COM port, na kterém je umístěn. Po inicializaci je možné měřit.

Z tohoto důvodu byl pro návrh ovládacího programu zvolen postup, podle kterého bude program napsán. V první části bude nutné zjistit, na kterém portu se průtokoměry nachází. Tento údaj by mohl být zjištěn z odezvy jednotlivých portů. Dále je zapotřebí provést inicializaci regulátorů průtoku tak, aby uživatel nemusel spouštět žádný podprogram, resp.: aby se provedlo automatické přiřazení portu a autoinicializace. Po provedení autoinicializace by bylo možné provádět nastavování průtoků a sledovat v grafu jejich závislost v čase. Pro splnění zadání ale bude zapotřebí ještě vytvořit část programu, ve které bude probíhat tzv. cyklický mód.

Rozdíl mezi módem cyklickým a postupným průběžným je ten, že u cyklického probíhá nastavení jednoho hlavního plynu v každém cyklu podprogramu. To znamená, že můžeme velmi jemně a rychle reagovat na změnu průtoku, viz Obr. 3.2. Mimo to bychom měli u cyklického módu mít možnost nastavit délku celého časového cyklu a dobu dvou úrovní průtoku. Nastavení ostatních plynů bude také možné, ale s delší odezvou.



Obr. 3.2: Grafické znázornění nastaveného a reálného průtoku[1]

U postupného módu bude probíhat nastavení regulátorů průtoku postupně (průtokoměr 1-4), podle nejvyšší proveditelné rychlosti. Uživatel bude mít možnost vyobrazit si během měření data z průtokoměru, který si zvolí v ovládacím panelu.

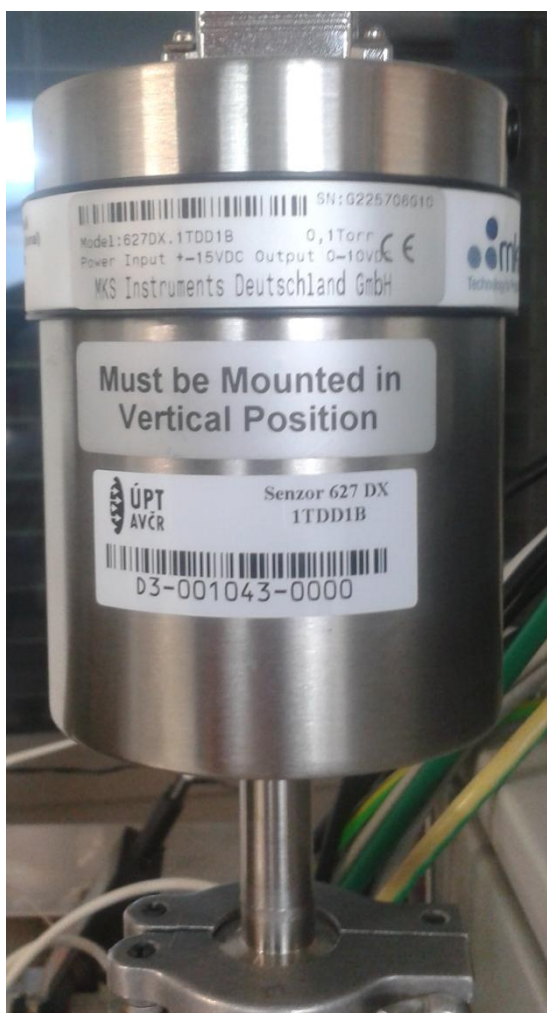
Data, která budou během měření získána, budou zapsána do textového souboru, aby bylo možné je otevřít, číst i na počítači, kde nebude LabView k dispozici. Ukončení ovládacího programu bude možné pomocí stop tlačítka, během kterého se ukončí jak komunikace s COM portem, tak i zápis do souboru.[1]

### 3.1.2. Návrh ovládání pro MKS Baratron Typ 627D a převodník PR 4000B-F

Ovládací program pro Baratron by měl provést stejně jako pro regulátory průtoků přiřazení COM portu z hubu a provést inicializaci. Dále by mělo být umožněno měřit s oběma kanály a vynulování bude možné provádět během chodu programu. Pro vynulování byla použita funkce autozero. Nebude již zapotřebí spouštět podprogram pro inicializaci nebo přednastavení.

Program by dále měl zajišťovat možnost grafického zobrazení tlaku, který bude snímán pomocí Baratronu, viz Obr. 3.3. Zobrazovaný kanál v grafu si může uživatel vybrat, podle svého vlastního uvážení (kanál 1, 2). Zde bude také připraven zápis do souboru, aby bylo možné zpětně zjistit parametry pro opakování depozice.

Ukončením programu skončí komunikace s COM portem Baratronu a ukončí se zápis dat do automaticky vytvořeného souboru.[1]



Obr. 3.3: MKS Baratron Typ 627 D [1]

### 3.1.3. Návrh pro generátory Cesar 136 a Pinnacle Plus

Generátory jsou připojeny do celého systému také přes RS232 hub. Vysokofrekvenční generátor Cesar (13.56 MHz) je mimo jiné připojen k tzv. match boxu, ve kterém jsou umístěny vyrovnávací kapacity. Ovládání generátorů pomocí programu bude muset obsahovat části automatické inicializace a skenování COM portu, na který je daný generátor připojen.

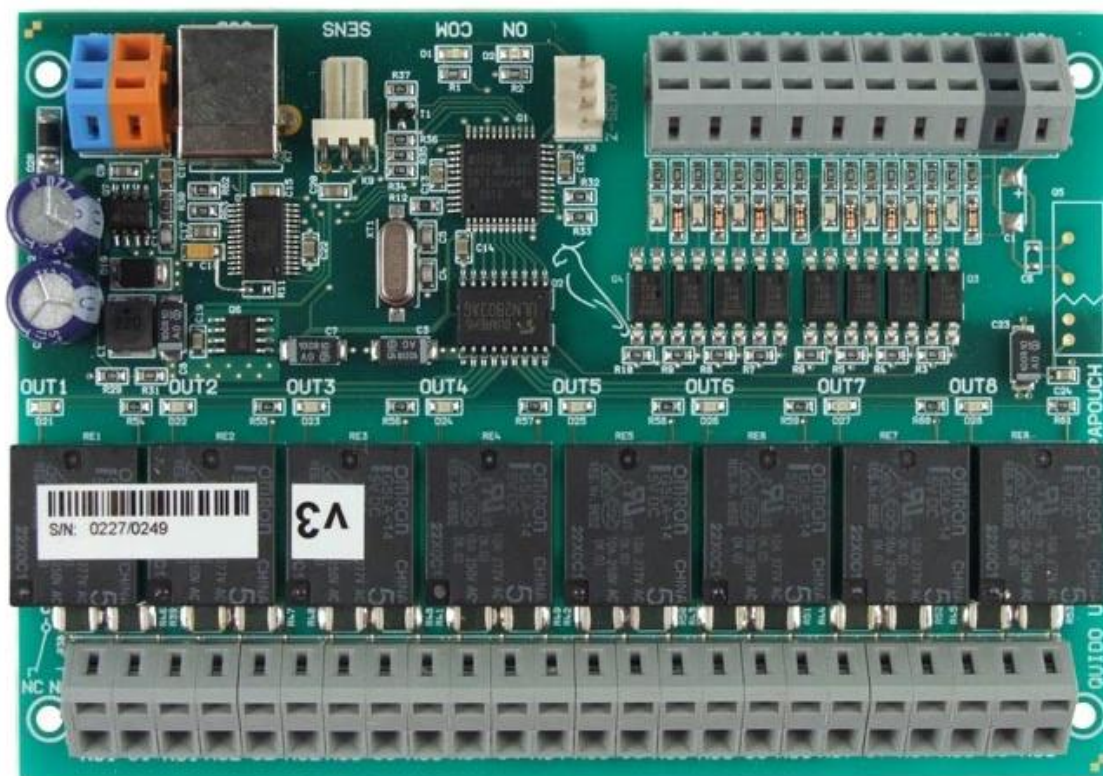
Program pro ovládání generátoru Cesar by měl umožňovat nastavení reálného výkonu, nastavení sériové a paralelní kapacity match boxu. Dále bude zobrazeno aktuální nastavení, hodnoty reálného výkonu, odraženého výkonu zpět do generátoru, napětí, sériová a paralelní kapacita. Další možností bude grafické zobrazení vybraných parametrů, podle výběru uživatele. Do souboru budou zapisována nejen data (výkony, napětí, hodnoty kapacitorů), ale také poruchy s časovou značkou, které se během ovládání programu vyskytly. Uživatel bude mít přístup do uložených souborů dat a chyb, aby se mohl při opakování procesu vyhnout předešlým chybám. Ukončení programu pro generátor Cesar bude pomocí stop tlačítka, přičemž se uzavřou datové soubory a ukončí se komunikace COM portu.

Program pro ovládání pulzního generátoru Pinnacle Plus bude obsahovat autoinicializační smyčku, ve které bude generátoru přiřazen COM port a bude provedena kontrola komunikace. Program bude mít možnost nastavení výkonu, dále bude možné nastavit frekvenci. Zvolit bude možné také délku času, po který bude nastavený výkon vypnutý. K dispozici dále bude možnost sledování uživatelem nastavených parametrů v grafu. Nastavení vstupních dat bude spolu s měřenými daty (výkon, napětí a proud) zapisována do textového souboru pro jejich možnou reprodukci. Celý program bude možné v jakémkoliv okamžiku ukončit, aniž by došlo ke ztrátě dat nebo chybě v komunikaci.[1]

### 3.1.4. Návrh pro ovládací modul Quido USB8/8

Další periferií aparatury PLS160 bude ovládací modul Quido, viz Obr. 3.4. Tento modul obsahuje osm reléových výstupů a osm vstupů. Pro modul Quido byl od výrobce použit komunikační protokol Spinel. Pro vytvoření ovládacího programu bude tedy nutné seznámit se s tímto komunikačním protokolem. Modul bude do počítače připojen přes USB port.

Ovládací program bude mít dvě základní části, kterými jsou inicializace a pracovní režim. V režimu inicializace bude zapotřebí nastavit parametry, jako jsou rychlost komunikace, start a stop bity apod. Po nastavení inicializace přejde program do režimu ovládání, ve kterém bude možné ovládat výstupní relé. Na reléových výstupech budou připojeny ovládací spínače ventilů k plynům průtokoměrů, dále spínač pro přepínání plovoucího potenciálu na stolku komory, přepínání na magnetronu. V ovládacím programu bude vyobrazeno, které výstupy jsou sepnuty a se kterou komponentou jsou propojeny.[1]



Obr. 3.4: Ovládací modul QUIDO USB8/8 [1] [9]

### 3.1.5. Návrh mechanických změn aparatury PLS 160

Vytvořením ovládacího programu a zabudováváním jednotlivých komponent bude zapotřebí přepracovat některé mechanické části aparatury tak, aby je bylo možné programově ovládat a vytvořit tak „automatizovaný software“. Proto je potřeba navrhnout způsob spínání stolku komory a magnetronu, dále otevírání clony pod magnetronem a samotné spínání plynů.

Pro spínání komory a jejího příslušenství je potřeba využít kromě modulu Quido také stykače. Proud motorkem totiž přesahuje hodnotu 1A (přesně 1,05A). Pokud by byl připojen motorek přímo na Quido, tak by během použití mohlo dojít k destrukci relé nebo případně celého modulu. Pro spínání stolku a magnetronu budou použity také stykače. Je to z důvodu vysokých napětí a výkonu, které se pohybují v řádu stovek (300V, 100W), což by vedlo ke zničení modulu Quido. Ke stykačům bude dále nutné přidat frekvenční filtr, abychom zabránili průniku RF rušení do celého systému ovládání. Dále bude pro stykače navržena krytka s přípojným systémem k aparatuře. Pro ovládání komory a jejích komponent budou použity celkem tři stykače, které budou připojeny na Quido. Tyto stykače budou umístěny v kovové konstrukci, krabici spolu s blokovacím filtrem. Pro ovládání ventilů plynů nebudou potřeba žádné úpravy, protože pro jejich sepnutí stačí pouze 12V.

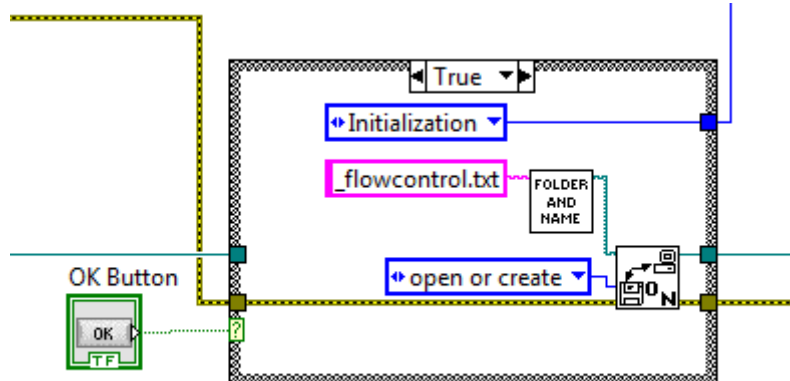
Otevírání clony bude realizováno pomocí 12V motorku, který bude spínán výstupy Quida. Motorek bude umístěn v kovové konstrukci blízko ovládací tyče clony. Mechanismus otevření a zavření bude z motorku přenášen pomocí řemeničky.[1]

## 3.2. Realizace programu

### 3.2.1. Regulátory průtoku Alicat

Program pro ovládání regulátorů průtoku se skládá ze tří základních částí, kterými jsou: vyčkávací smyčka, inicializace, měření. Základní stavy programu reprezentuje stavový automat, který se mezi těmito třemi stavy přepíná. Postupně bude rozepsán jejich popis funkce s vysvětlivkami. Před začátkem programu je spuštěno skenování COM portů, které jsou v počítači k dispozici. Dále se před spuštěním provádí funkce pro inicializaci polí, která budou využita pro vkládání dat a zobrazování do grafu.

Vyčkávací smyčka je první částí programu. Tato smyčka obsahuje podmínku, ve které se čeká na stisk startovacího tlačítka přímo v programu, viz Obr. 3.5. Jakmile je tlačítko stisknuto, provede se inicializace souboru, do kterého se bude zapisovat.

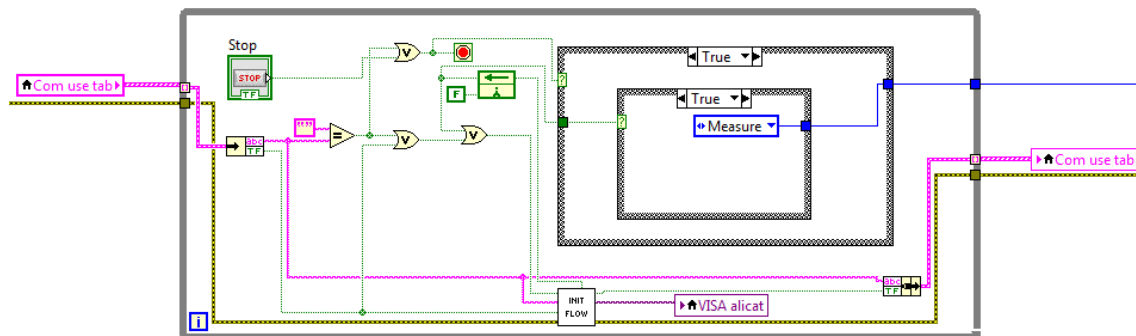


Obr. 3.5: Vyčkávací smyčka s deklarací souboru [1]

Tato inicializace souboru obsahuje skládání názvu souboru podle data, ve formátu (rok měsíc den\_název přístroje). Textovému dokumentu se vytvoří cesta do složky Data, která je umístěna na stejné pozici jako spuštěný program. Toto je obsaženo v bloku *Folder and name*. Vstupem do tohoto bloku je název přístroje, pro který je program napsán. Vyčkávací smyčka dále obsahuje určení dalšího stavu automatu. Mezi tyto stavy patří inicializace a vyčkávací smyčka. Pro vytvoření nebo otevření souboru byla v programu použita již předprogramovaná funkce. Pokud vše proběhne bez chyb, stavový automat se přepne do druhého stavu, který se nazývá inicializace (*initialization*).

Základní myšlenkou této části programu byla autoinicializace. Program by měl být schopen najít si COM port a otestovat si jeho obsazení, připojení přístroje. Pokud narazí na správný přístroj, tak se zinicializuje a přepne do stavu *measure* – měření. Autoinicializace je v programu tvořena cyklem viz Obr. 3.6, ve kterém se testuje pole načtených COM portů. Toto pole obsahuje strukturu, která je tvořena názvem (např.: COM 1) a stavem obsazen/neobsazen. Během autoinicializačního cyklu si program projde celou tabulku. Obsazené COM porty přeskočí, na neobsazené porty postupně nastaví inicializační parametry a odešle klíčové slovo. Pokud dorazí zpět

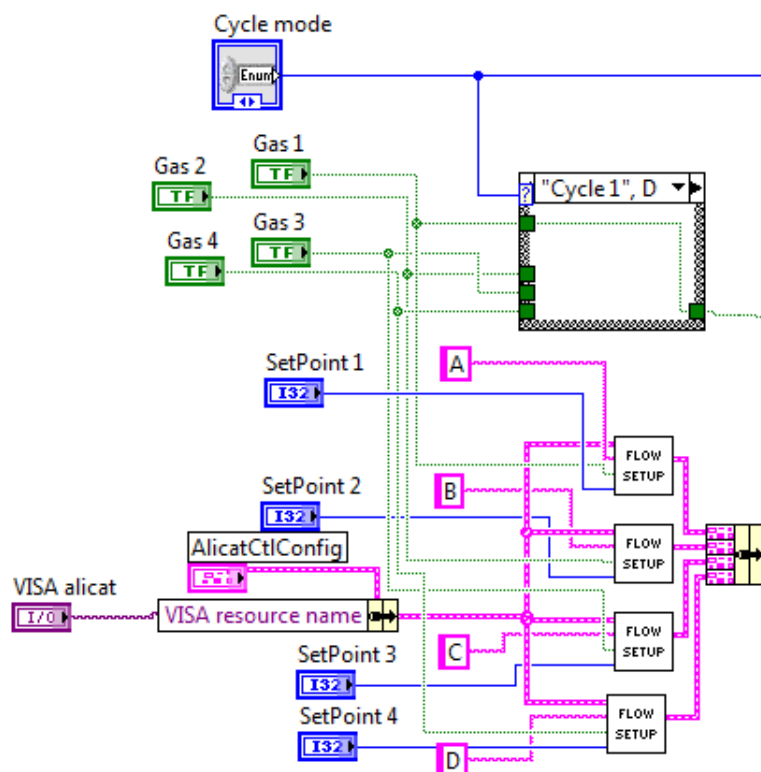
odpověď v očekávaném tvaru, program obsadí daný COM port a zapíše jej do kontrolního pole (*Com use tab*).



Obr. 3.6: Smyčka automatické inicializace z pole COM portů [1]

V podprogramu *Init Flow* se nastavují všechny zmíněné inicializační parametry. Zároveň zde probíhá i kontrola. Pokud vše proběhne v pořádku a nevyskytne se žádná chyba, tak se program přepne do třetího stavu měření a pomocí proměnné *VISA alicat* předá port přístroje do dalšího stavu. Pokud se podaří přístroj najít, ale komunikace bude chybná, COM port se neobsadí a po dokončení autoinicializace dojde ke skoku zpět do vyčkávací smyčky.

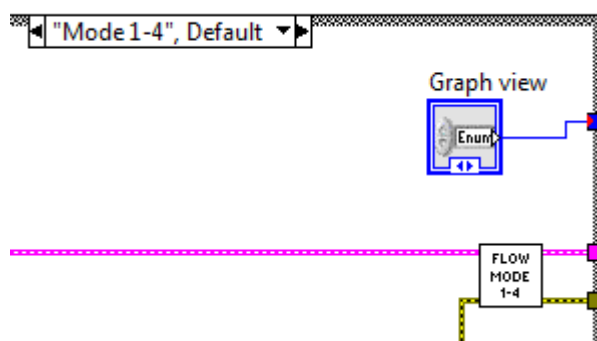
Následujícím stavem po úspěšné autoinicializaci je měření a záznam dat. Stav měření obsahuje velké množství ovládacích prvků průtokoměrů, viz Obr. 3.7. Mezi tyto prvky patří zapnutí, vypnutí, nastavení dvou hladin průtoku (*high a low*), dále přepínání módu průtokoměrů, nastavení časového úseku pro průtoky *high a low*.



Obr. 3.7: Vstupní bloky pro ovládání regulátorů průtoku Alicat [1]

První podprogram (*Flow setup*) ve stavu měření má za úkol nastavit všechny čtyři regulátory průtoku, přiřadit jim jedinečný kód na portu. Tento kód byl určen písmeny A, B, C, D. Dalším vstupním parametrem bloku *Flow setup* je hodnota průtoku (*Setpoint*). Posledním vstupním parametrem tohoto podprogramu je vypínač. Pokud je daný průtokoměr vypnutý, je na port posílána informace o nastavení průtoku na hodnotu 0 sccm (standardních hmotnostních kubických centimetrů). Z uvedených vstupních parametrů je posléze složena výstupní struktura, do které jsou vnořeny čtyři stejné podstruktury z každého bloku *Flow setup*. Po tomto bloku přichází na řadu samotné nastavení průtoku, podle vybraného pracovního režimu, módu.

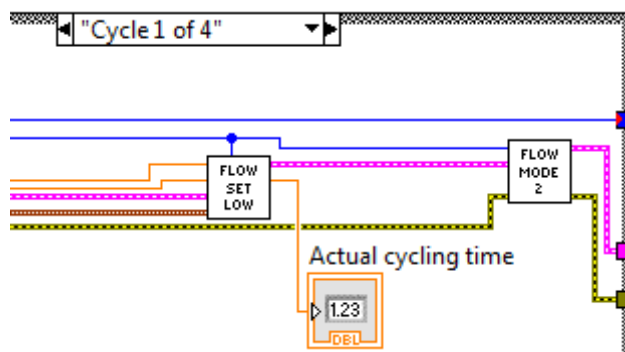
Předností módu 1 viz Obr. 3.8 (dále také mód postupný) je neustálá možnost nastavení průtoku v časovém horizontu do 50 ms. Průtokoměry se nastavují popořadě jeden po druhém. Celý cyklus provedení tohoto módu se pohybuje okolo 150ms.



Obr. 3.8: Postupný mód pro ovládání průtokoměrů Alicat [1]

Jádrem postupného módu je blok *Flow mode 1-4*. V tomto bloku se posílá postupně na jednotlivé průtokoměry klíčové písmeno a hodnota průtoku (např.: A 128 znamená, že na průtokoměru A se nastaví průtok o velikosti 0,01sccm). Během posílání a přijímání těchto dat je kontrolováno připojení pomocí struktury *Error in – Error out*.

Další možností programu je využití módu 2 (cyklování) viz Obr. 3.9. V tomto módu je možné nastavit dvě úrovně průtoku (*Setpoint High*, *Setpoint Low*). Délku dané úrovně lze nastavit pomocí vstupních parametrů *Gas cycle a Gas on*. Jejich nejmenší jednotkou je 100ms, což je zároveň i délka trvání jednoho cyklu. Pro *Gas on* je brán parametr *Setpoint High*, po zbytek času nastaveného parametrem *Gas cycle* je průtok nastaven na hodnotu *Setpoint Low*. Tuto funkci obstarává blok *Flow set low*.

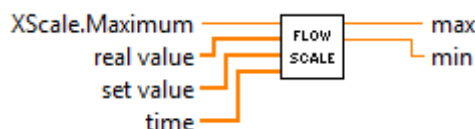


Obr. 3.9: Programové schéma cyklického módu [1]

Aby bylo možné mód 2 správně realizovat, bylo zvoleno postupné střídání průtokoměrů s jedním průtokoměrem, který se nachází v módu 2. Pro ujasnění je uveden příklad: do módu 2 byl nastaven průtokoměr A, v tomto případě jsou postupně obslouženy průtokoměry (A a B, A a C, A a D). To ovšem znamená, že průtokoměry, které nejsou v režimu cyklování, se dají nastavovat po delším časovém úseku. Tuto vlastnost má na starosti funkce *Flow mode 2*.

Do módu 2 je možné nastavit pouze jeden průtokoměr. Důvodem je délka komunikace s jedním průtokoměrem a zároveň co nejlepší a nejjemnější možnost nastavení vysoké a nízké úrovně průtoku plynu. Tyto dva módy je možné během programu libovolně měnit, cyklovat může kterýkoliv z připojených regulátorů průtoku.

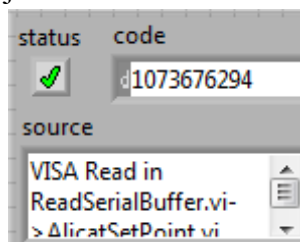
Následujícím krokem po zvoleném módu je zápis a zobrazení do grafu. Před tím, než jsou data přijatá z průtokoměrů zapsána, je zapotřebí udělat jejich úpravu. Data z průtokoměru jsou během úprav zbavena odřádkování, dále se skládají za sebe. Před tato data se vloží dále časová značka, aby byl zápis co nejpřesnější a umožnil co nejlepší reprodukci. Přijatá data jsou mimo to také připravována pro vyobrazení do grafu. V této přípravě se vybírá z přijatého řetězce naměřený a nastavený průtok. Oba tyto průtoky jsou poté vloženy do inicializovaného pole. Tato pole jsou poté s časovou značkou vyobrazena do grafu. K použitému grafu bylo dále nutné vytvořit automatické přizpůsobování měřítka na osu Y. K řešení tohoto problému byly využity programově nastavitelné maximální a minimální hodnoty na ose. Blok *Flow scale* (viz Obr. 3.10) má za úkol najít všechny hodnoty reálného a nastaveného průtoku, které se nacházejí v grafu. Dále z nich vyhledá maximum a minimum. Tyto hodnoty se poté nastaví na osy. Tím pádem se automaticky zaostřuje měřítko na ose X a Y.



Obr. 3.10: Výpočetní blok měřítka pro grafickou závislost průtoku na čase [1]

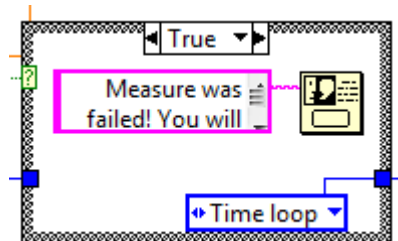
Připravená a vyobrazená data již nyní stačí pouze zapsat do souboru. K zápisu do souboru byla použita konstrukce, která byla již vytvořena v programu LabView.

V poslední části programu se nachází kontrola chyb během komunikace a zastavení programu. Pokud během chodu programu vznikla chyba vlivem špatné komunikace, překročení časové odezvy (*time-outu*) atd. je uživateli tato chyba vyobrazena v informačním panelu chybové struktury (*error out*) viz Obr. 3.11. Z tohoto panelu lze vyčíst, o jakou chybu se jedná.



Obr. 3.11: Chybová struktura s kódem chyby a jejím popisem [1]

Pokud program během funkce narazí na chybu (tzv. *error code*), vydá chybovou hlášku a přepne se automaticky do vyčkávací smyčky, kde je nutné program znovu pomocí start tlačítka spustit. K informaci o chybě byla použita předprogramovaná funkce tzv. *msgbox* viz Obr. 3.12. Tento blok vyobrazí nové dialogové okno, které upozorní na chybu a dále informuje uživatele, do kterého stavu byl přesměrován.



Obr. 3.12: Oznamovací blok s výpisem do okna a nastavením dalšího stavu [1]

Pozastavení programu regulátorů průtoku je realizováno pomocí tlačítka *Pause*, při kterém se ukončí komunikace s daným zařízením a program se přepne do vyčkávací smyčky. Opětovné spuštění je možné stisknutím tlačítka *Start*.

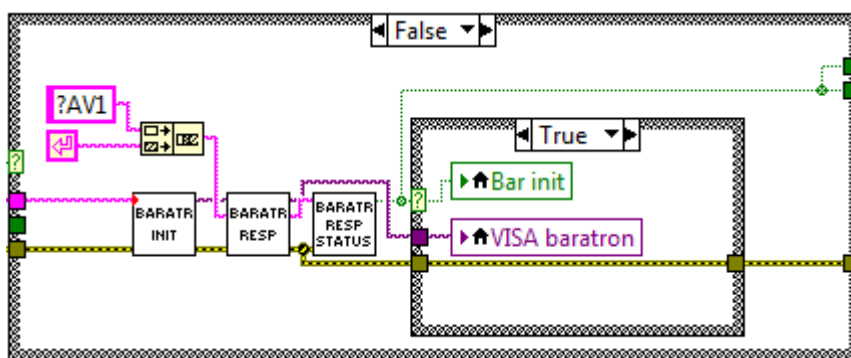
Zastavení programu je realizováno pomocí stop tlačítka. Stisknutím tohoto tlačítka se ukončí řídicí cyklus programu. Dále se během stisku tlačítka *Stop* ukončuje komunikace COM portu s daným připojeným zařízením. Dále se v programu přepíše použitý prvek kontrolního pole, kde se na uvedený COM port nastaví vlastnost neobsazen. Dokončí se také zápis do souboru, který se ukončí. Poté je v programu zastavena řídicí smyčka a program se ukončí.[1]

### 3.2.2. MKS Baratron Typ 627D a převodník PR 4000B-F

Vytvořený program pro ovládání Baratronu a převodníku se skládá ze tří základních částí (vyčkávací smyčka, inicializace, měření). Základní konstrukce programu je velmi podobná jako u regulátorů průtoku. Ovládací program obsahuje několik částí pro ovládání. Do této části patří nastavení měřeného kanálu, tlačítko *Autozero*, *start a stop*, indikace nulového bodu (*Coarse zero*) a chybová struktura (*Error out*). Převodník je k počítači připojen pomocí RS232 USB hubu. Před spuštěním programu je zde také prováděna inicializace vstupních polí, které bude využito pro zobrazování závislosti tlaku v čase.

Ve stavu vyčkávací smyčky se čeká na stisk startovacího tlačítka programu. Po stisku tlačítka je provedena inicializace souboru, do kterého bude zapisováno. Data jsou ukládána do samostatného souboru ve složce Data, který se nachází ve složce s programem. Jakmile je provedena inicializace souboru, program se přepne do druhého stavu – inicializace Baratronu a převodníku.

Ve stavu inicializace byl vytvořen podprogram automatické inicializace Obr. 3.13. Tento podprogram postupně přečte názvy portů z tabulky použitých portů (*Com use tab*). Přečtený název COM portu je nastaven a poté testován. Během testu je port inicializován na komunikační parametry, jako jsou: komunikační rychlost, start a stop bity atd. Tuto funkci provádí blok *baratr init*. Jakmile je COM port nastaven, je pomocí bloku *baratr resp* na linku odesláno klíčové slovo: *?AV1*. Tímto slovem je odeslán požadavek na přečtení hodnoty z kanálu 1 převodníku PR4000B-F. V tomto bloku byl vytvořen tzv. *Suppress warning*. Pokud na komunikační lince vznikne chyba kvůli vypršení časového limitu (*time-outu*), je tato chyba eliminována díky chybovému kódu. Výstupem tohoto bloku jsou přečtená data v podobě textového řetězce. Celá operace je propojena kontrolní strukturou, díky které se indikují chyby během přenosu dat.

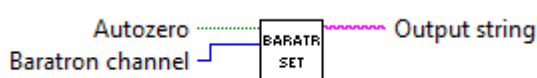


Obr. 3.13: Inicializační smyčka pro převodník PR4000B-F a Baratron [1]

Posledním blokem inicializace je kontrola příchozích dat (*Baratr resp status*). Do tohoto bloku je na vstup přiveden přečtený řetězec. Pokud tento řetězec má hodnotu *overflow*, nebo délka číselného řetězce odpovídá očekávané velikosti, obsadí se daný COM port v kontrolní tabulce (*Com use tab*) a přepíše aktuální stav na: *obsazen*. Po úspěšném dokončení inicializačního cyklu se program přepne do stavu měření

(*measure*). Pokud přečtený řetězec neodpovídá, ukončí se komunikace s portem. Pomocí cyklu *while* jsou postupně zkoušeny všechny dostupné neobsazené porty z tabulky. Pokud autoinicializační smyčka skončí a nepodaří se Baratron s převodníkem inicializovat, program se přepne zpět do vyčkávací smyčky. Před přepnutím zpět do vyčkávací smyčky je vyobrazeno dialogové okno s přepnutím do stavu vyčkávací smyčky. Výstupem z inicializační části je COM port, který je pomocí proměnné *VISA baratron* předán do dalšího stavu. Poté je program přepnut do stavu měření (*Measure*).

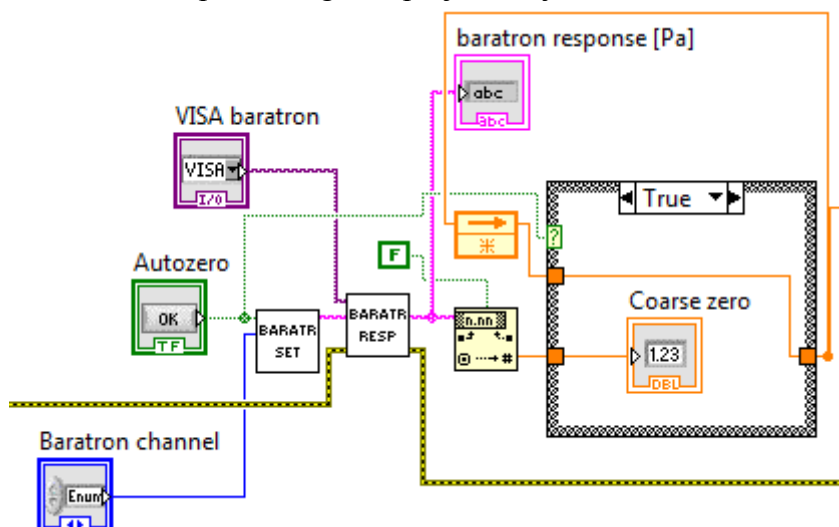
Stav měření (*measure*) obsahuje dva vytvořené bloky: *baratr set* a *baratr resp*. Vstupními proměnnými do bloku *baratr set* (viz Obr. 3.14) je tlačítko pro vynulování (*Autozero*) a *list box* pro vybrání měřeného kanálu převodníku. Výstupem bloku je řetězec, který bude odeslán do převodníku.



Obr. 3.14: Blok pro vynulování offsetu Baratronu [1]

Blok *baratr set* obsahuje přepínač, pomocí kterého je vybrán požadovaný příkaz. Mezi tyto příkazy patří přečtení dat z kanálu 1 a z kanálu 2 (např.: *?AV1*). Dále softwarové vynulování převodníku na kanálu 1 a 2 (např.: *?AZ1*).

V podprogramu *baratr resp* (viz Obr. 3.15) je vytvořený řetězec odeslán na inicializovaný port a dále je přečtena příchozí odpověď. K této funkci byly použity funkce v LabView – *Read Visa* a *Write Visa*. Výstupem bloku *baratr resp* je řetězec, chybová struktura a použitý COM port. S přečteným řetězcem je dále provedena operace převodu na číslo, aby bylo možné jej zobrazit v grafu. Pokud je proveden příkaz *autozero*, z převodníku je odeslána hodnota tzv. hrubé nuly. Tento nulový bod je během měření využíván jako referenční nula. Z tohoto důvodu byl vytvořen přepínač pro příkaz *Autozero*. Pokud se provádí tento příkaz, je do grafu zapsána předchozí hodnota a do výstupního okna *Coarse zero* je zapsána hodnota nulového bodu. Pokud by byla nulová hodnota zapsána do grafu, projevila by se skokovou změnou.



Obr. 3.15: Měření a vyhodnocování získaných dat [1]

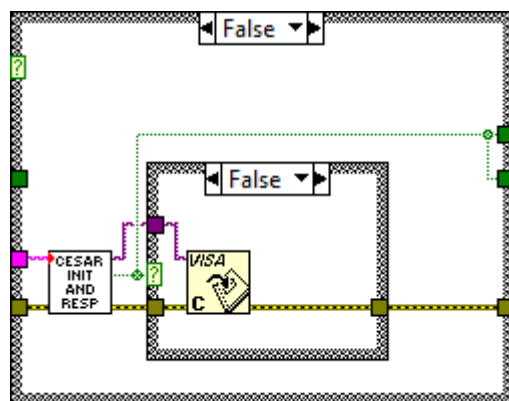
Po vyhodnocení přijatých dat následuje zobrazování do grafu s časovou osou. Pro lepší přehlednost byla ke grafu připojena komponenta s automatickou změnou měřítka podle vyobrazovaných hodnot. Přečtené hodnoty jsou dále zapisovány do textového souboru s časovou značkou pro možnost reprodukce a opakovatelnosti procesu. Pokud během měření nastane chyba komunikace, program ukončí komunikaci s COM portem, nastaví v kontrolní tabulce (*Com use tab*) aktuální stav jako neobsazený. Dále ukončí zápis do textového souboru a uzavře jej. Jakmile je veškerá komunikace a zápis do souboru ukončen, program se přepne do stavu vyčkávací smyčka, kde je možné jej znovu spustit. Celý program se dá v jakékoli části pozastavit pomocí tlačítka *Pause* nebo ukončit pomocí *stop* tlačítka. [1]

### 3.2.3. Generátor Cesar 136

Program pro ovládání generátoru Cesar 136 se skládá ze čtyř stavů, základních částí (vyčkávací smyčka, inicializace, čtení hodnot z generátoru, nastavení parametrů generátoru). Generátor je k počítači připojen pomocí RS232 USB hubu.

Po spuštění je program ve vyčkávací smyčce. V této smyčce se čeká na stisk tlačítka *start*. Jakmile je tlačítko *start* stisknuto, provede se inicializace souboru, do kterého se bude zapisovat. Zápis se provádí do textového souboru, do složky Data. Po inicializaci souboru pro zápis dat se program přepne do stavu inicializace.

Ve stavu inicializace byl vytvořen program automatické inicializace (Obr. 3.16), který z tabulky použitých portů (*Com use tab*) přečte COM port a jeho obsazenost. V automatické inicializační smyčce byl vytvořen podprogram *Cesar init and resp*, ve kterém jsou během inicializace nastaveny komunikační parametry generátoru: rychlost komunikace, maximální časový limit atd. Poté, co jsou nastaveny všechny potřebné komunikační parametry, je na daný COM port odesláno klíčové slovo, příkaz k přečtení názvu generátoru (*Supply type*). Pokud je obsahem přijatých dat slovo CESAR, komunikace s generátorem byla úspěšně navázána. Inicializace je potom ukončena a výsledek je zapsán do tabulky použitých portů (*Com use tab*). Pokud žádný z přijatých datových řetězců neodpovídá, ukončí se komunikace s nastaveným COM portem. Program se poté automaticky přepne do vyčkávací smyčky, kde je možné jej opět spustit tlačítkem *start*.

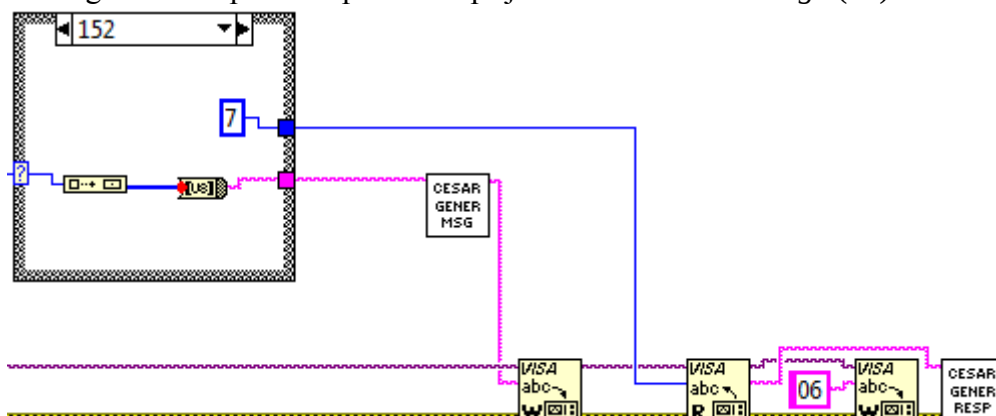


Obr. 3.16: Vyčkávací smyčka a deklarace souboru pro generátor Cesar

V tomto podprogramu byl vytvořen také tzv. *Suppress warning*, který odstraní chybu z komunikační linky v případě překročení časového limitu komunikace (*time out*) nebo neodeslání přijetí zprávy od generátoru. Výstupy z podprogramu *Cesar init and resp* jsou chybová struktura a její kód, název testovaného COM portu a výsledek inicializačního testu. Pokud je autoinicializační cyklus úspěšně dokončen, program se přepne do následujícího stavu načtení parametrů z generátoru (*Read from Cesar*).

Stav *Read from Cesar* – načtení parametrů z generátoru obsahuje dvě části. V první části je obsaženo nastavení a přeložení příkazu, jeho odeslání do generátoru Cesar (viz Obr. 3.17). V této části je příkaz ke čtení převeden na textový řetězec. V podprogramu *Cesar gener msg* je tento řetězec převeden do bytového pole.

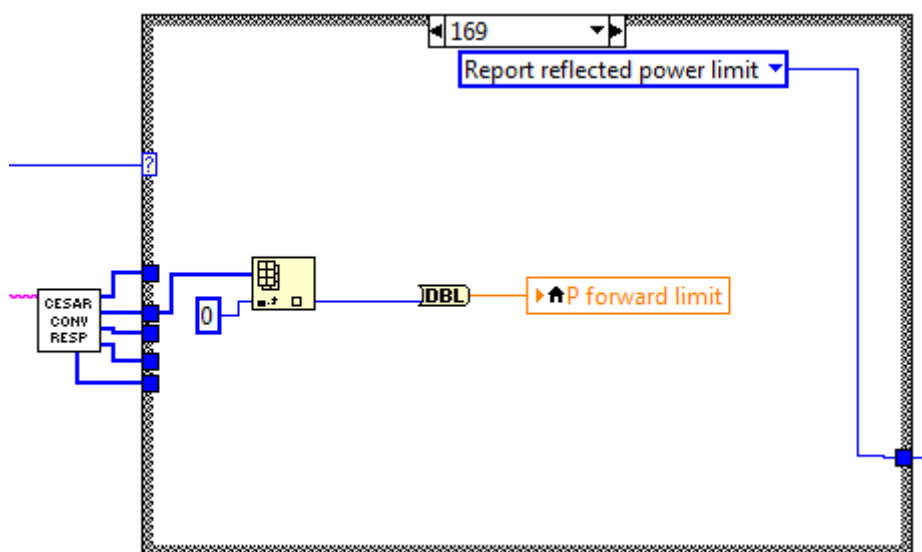
Tento převod byl nutný, neboť generátor nemá jinou možnost komunikace. Výstupem tohoto podprogramu je bytový řetězec, který je možné odeslat již přímo do generátoru Cesar. Odeslání dat do generátoru bylo provedeno pomocí předprogramované základní funkce *Write Visa*. Odezva z generátoru byla zjištěna pomocí funkce *Read Visa*, kde bylo potřeba nastavit správný počet bytů k přečtení. Na závěr komunikace je odeslán do generátoru příkaz o potvrzení přijetí dat tzv. *Acknowledge* (06).



Obr. 3.17: Konverze příkazu a dat na řetězce a odeslání do generátoru

Jakmile jsou data přečtena z generátoru, je nutné provést jejich kontrolu, aby nedošlo k chybnému načtení parametru do ovládacího panelu. K tomu slouží blok *Cesar gener resp*, kde je přepočítán kontrolní součet. V tomto podprogramu jsou z celého přijatého paketu vyjmuta data, která budou použita pro nastavení ovládacího panelu.

Ve druhé části stavu *Read from Cesar* je dekódována datová informace, která byla přijata z generátoru (Obr. 3.18). V bloku *Cesar conv resp* je bytový řetězec převeden zpět na číslo. Toto číslo je po té podle příkazu nastaveno do daného ovládacího panelu, kde je možné jej číst, později i editovat. V tomto případě jsou přečtená data omezením pro maximální nastavení výkonu generátoru.



Obr. 3.18: Dekódování přijatých dat z generátoru

Jakmile jsou přijatá a zpracovaná data nastavena do ovládacího panelu, je do následujícího cyklu odeslán další příkaz. Poté co jsou všechny přednastavené příkazy pro čtení provedeny, program se přepne do stavu měření a nastavení.

Ve stavu měření a nastavení (*Measure and set*) jsou postupně čteny nejdůležitější informace z generátoru. Mezi tyto informace, parametry patří velikost nastaveného a dodaného výkonu ( $W_{forward}$ ,  $W_{real}$ ), hodnoty napětí ( $V_{bias}$ ), nastavené hodnoty kapacitorů ( $C_{load}$ ,  $C_{tune}$ ) a výkon odražený zpět do generátoru ( $W_{reflected}$ ). Čtení těchto parametrů probíhá v cyklu. Postupně jsou do generátoru Cesar odeslány příkazy pro čtení. Poslední příkaz pro čtení je v programu rezervován pro zápis. Potom je možné měnit parametry v ovládacím panelu. Mezi tyto parametry patří nastavení příjmu dat (*Select active control mode*), volba typu regulované veličiny (*Set regulation mode*), nastavení velikosti regulované veličiny výkonu a napětí ( $W_{forward}$ ,  $W_{real}$ ,  $V_{bias}$ ), ovládání sériové a paralelní kapacity ( $C_{load}$ ,  $C_{tune}$ ), pulzní konfigurace (*Set pulsing configuration*), nastavení částečného přístupu ovládání z předního panelu (*remote control*), zapnutí a vypnutí výstupu (*output*), doba zapnutého výstupu (*plasma time*) atd. V podprogramu *Cesar cmds* (Obr. 3.19) jsou tyto parametry vždy při prvním příkazu ke čtení kontrolovány. Pokud došlo ke změně některého z parametrů určených k nastavení, jsou tyto změny nastaveny na výstup tohoto podprogramu.



Obr. 3.19: Podprogram pro vyhodnocení nastavených příkazů

Z výstupu tohoto podprogramu jsou pomocí lokálních proměnných data a číslo příkazu nastaveny do rezervovaného příkazu pro zápis. Ten je během posledního cyklu, určeného pro zápis, odeslán do generátoru.

Pro odesílání a přijímání dat byla použita programová konstrukce základních funkcí Labview *Read visa* a *Write visa* (viz Obr. 3.20). Jakmile je doručena odpověď, je nutné odeslat zprávu o přijetí dat (ACK).



Obr. 3.20: Programová konstrukce pro komunikaci s generátorem Cesar

Přijatá data z generátoru je podle manuálu potřeba zkontrolovat kontrolním součtem. Tato funkce je ukryta v podprogramu *Cesar gener resp*. Poté, co je kontrolní součet potvrzen, je nutné data převést do číselného formátu a vyobrazit do panelů ve formátu řetězce. Tato pole není možné editovat, neboť jsou zde umístěny hodnoty, které byly přečteny z generátoru. Přečtené hodnoty z generátoru je možné pozorovat v grafu v závislosti na čase. Reprodukce procesu je zajištěna díky zápisu dat do textového souboru s časovou značkou.

Stav měření a nastavení obsahuje dále blok pro nastavení času zapnutého výstupu (*Cesar timed output*). Tento podprogram, po skončení časového limitu, vypne výstup generátoru. V bloku je dále obsažena ochrana vypnutí výstupu, při přepínání módu.

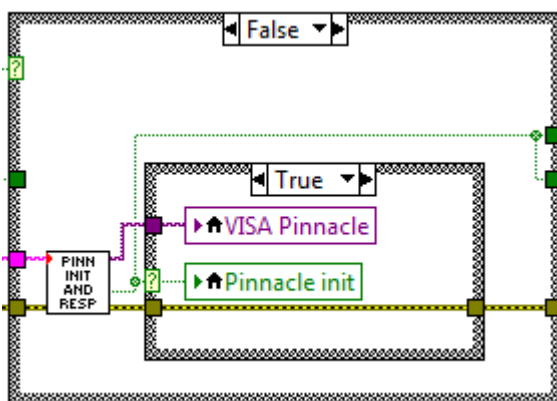
Ovládací program je možné kdykoli zastavit pomocí tlačítka *Stop* nebo jej uvést do stavu před zapnutím pomocí tlačítka *Pause*

### 3.2.4. Pulzní generátor Pinnacle Plus

Ovládací program pro generátor Pinnacle se skládá ze čtyř stavů. Mezi tyto stavy patří: vyčkávací smyčka, inicializace, čtení parametrů z generátoru, nastavení parametrů generátoru. Generátor Pinnacle Plus je k počítači připojen pomocí rozhraní RS232 přes RS232 USB Hub.

Ve stavu vyčkávací smyčky se čeká na stisk tlačítka *Start*. Jakmile je toto tlačítko stisknuto, spustí se inicializace souboru pro zápis dat. Tento soubor je uložen s programem ve složce Data. Zápis dat probíhá do textového souboru. Název souboru je vytvořen z aktuálního data a použitého přístroje. Pokud proběhne vytvoření textového souboru bez chyby, program se přepne do stavu inicializace.

Ve stavu inicializace byl vytvořen cyklus, ve kterém jsou postupně načítány názvy jednotlivých COM portů a informace o jejich obsazení. V podprogramu *Pinn init and resp* (viz Obr. 3.21) jsou nastaveny komunikační parametry generátoru (komunikační rychlost, start a stop bity, atd.). Poté je na daný COM port odeslán příkaz, který přečte typ zařízení (*request supply type*). Jakmile je přijata odezva, probíhá kontrola přijatých dat. Aby byl generátor inicializován, je nutné, aby data v ASCII kódu obsahovala slovo PLUS (označení generátoru Pinnacle Plus). Celá komunikace je provázána chybovou strukturou, do které je případná chyba zaznamenána.

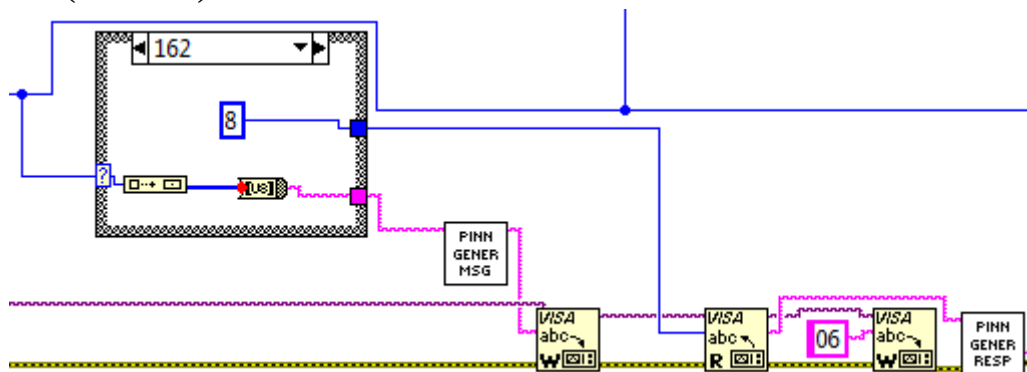


Obr. 3.21: Vyčkávací smyčka s inicializací souboru generátoru Pinnacle Plus

Podprogram *Pinn init and resp* dále obsahuje podmínku pro odstranění chyb. Pokud při komunikaci není nalezen generátor, zařízení neodešle správnou odezvu. Potom vyprší čas pro komunikační odezvu. Tato chyba je díky této podmínce odstraněna. Pokud inicializace nenalezne zařízení ke komunikaci, vyobrazí se dialogové okno s informací o přesměrování do stavu vyčkávací smyčky. Pokud je inicializace provedena úspěšně, daný port se zapíše tabulky použitých portů (*Com use tab*) a do proměnné *VISA Pinnacle*. Z této proměnné je potom určován COM port pro zbytek programu. Jakmile je inicializace dokončena následuje přepnutí do dalšího stavu – čtení parametrů z generátoru.

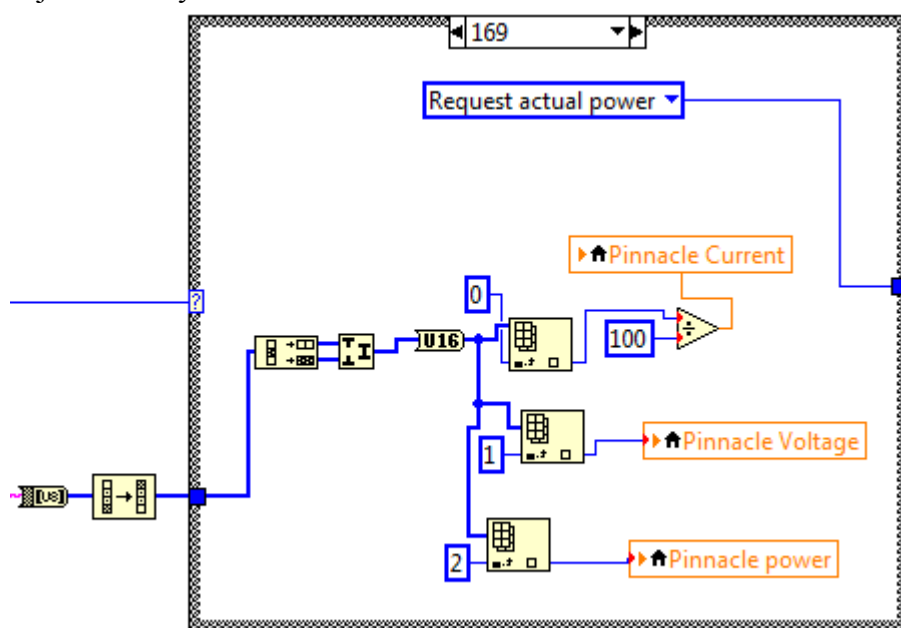
Ve stavu čtení z generátoru (*Read from generator*) je zjišťován aktuální stav generátoru. Podprogram *Pinn gener msg* převede jednotlivé příkazy do ASCII řetězce. Tento ASCII řetězec je dále doplněn o adresu generátoru a kontrolní součet. Celý tento

řetězec je odeslán do generátoru pomocí základních funkcí Labview: *Write visa* a *Read visa* (Obr. 3.22).



Obr. 3.22: Postupné čtení hodnot z generátoru Pinnacle Plus

Poté, co jsou data přijata z generátoru, je nutné odeslat potvrzení o přijetí dat (*Acknowledge*). Pro přijatá data je dále nutné provést kontrolu. V bloku *Pinn gener resp* je proveden kontrolní přepočet přijatých dat. Tento výsledek je porovnán s výpočtem přijatým v posledním bytu. Pokud jsou shodné, komunikace s generátorem proběhla bez problému. Celá komunikace je provázána chybovou strukturou, do které je případná chyba zaznamenána. Výstupem z bloku je řetězec s daty. Tato data jsou dále převedena z bytového řetězce na číslo (Obr. 3.23). Každý příkaz má svůj vlastní převod, protože mají různou bytovou délku.

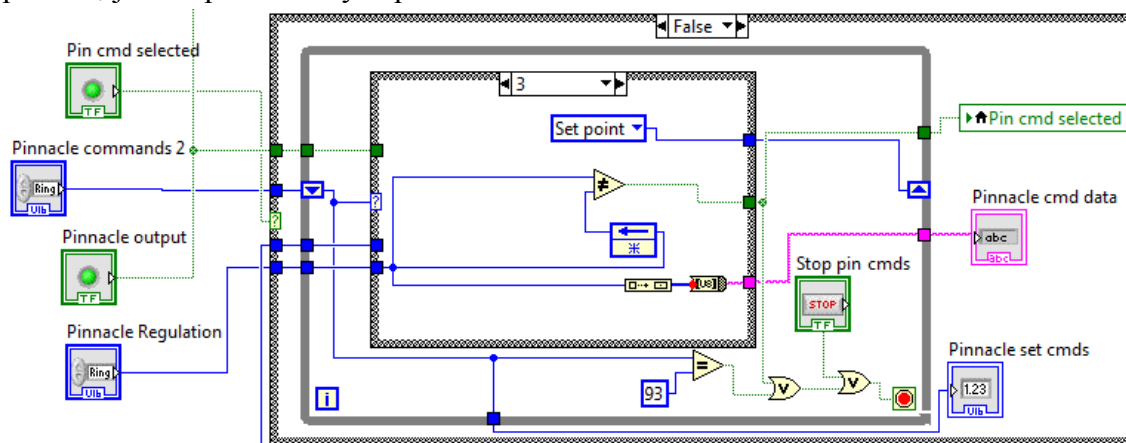


Obr. 3.23: Dekódování získaných dat z generátoru Pinnacle Plus

Převedené hodnoty jsou pomocí lokálních proměnných nastaveny do uživatelského prostředí. Poté je do posuvného registru odesláno číslo dalšího příkazu. Příkazy jsou řazeny podle manuálu výrobce. Po spuštění programu je v ovládacím panelu aktuální nastavení generátoru. Jakmile je načtení parametrů dokončeno, program je přepnut do posledního stavu měření a nastavení.

Ve stavu měření a nastavení (*measure and set*) jsou postupně odesílány příkazy ke čtení velikosti aktuálního napětí, proudu a výkonu. Dále je odeslán příkaz ke zjištění procesního stavu generátoru. Díky tomuto příkazu je možné například indikovat rozpojení vodního okruhu chladicí kapaliny pro turbínu. Tato chyba je v uživatelském rozhraní zobrazena pomocí LED diody s popisem *Interlock loop open*. Posledním příkazem, který je v cyklu odeslán, je příkaz k nastavení libovolného parametru generátoru.

Aby bylo možné nastavení vlastností generátoru, byl vytvořen cyklus, ve kterém jsou kontrolovány změny vstupních parametrů, v uživatelském prostředí (viz Obr. 3.24). V tomto cyklu se vyhledávají změny jednotlivých parametrů. Pokud je některý z parametrů odlišný od předchozího cyklu, je tato změna vyhodnocena. Číslo příkazu je nastaveno do výstupního bloku *Pinnacle set cmds*. Data, která jsou vázána k danému příkazu, jsou zapsána do výstupního bloku.



Obr. 3.24: Kontrola změny parametrů nastavených příkazů generátoru Pinnacle

K odesílání a přijímání dat z generátoru byly využity elementární funkce Labview *Read visa* a *write visa*. Data, která jsou přijata z generátoru, je nutné dekodovat z bytového řetězce. Dekódovaná data jsou převedena na číslo a vyobrazena v uživatelském rozhraní.

Ve stavu měření je také podprogram pro časování výstupu (*Pinn timed output*). Tento podprogram po uplynutí nastaveného časového úseku vypne výstup generátoru. V tomto bloku je dále ochrana vypnutí výstupu při přepnutí ovládacího módu.

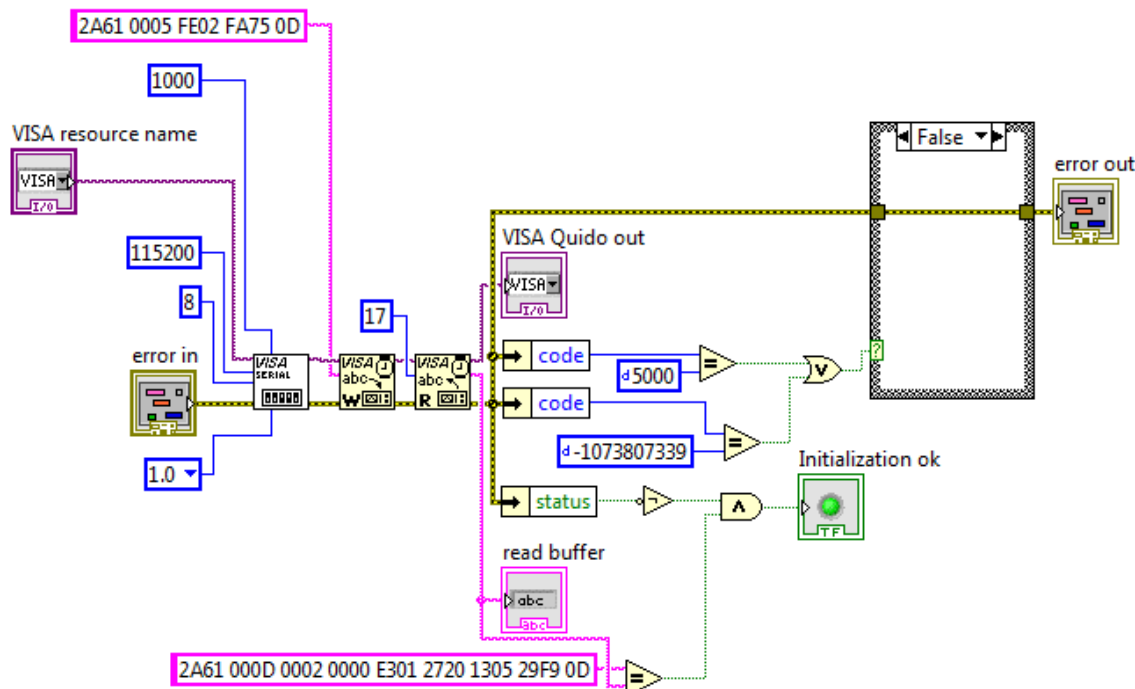
Celý ovládací program generátoru je možné kdykoli pozastavit tlačítkem *Pause*, případně jej znovu spustit tlačítkem *Start*. Program je možné ukončit pomocí tlačítka *Stop*. Po stisku přerušení programu se ukončí zápis do souboru a do posuvného registru se nastaví hodnota pro budoucí zapnutí programu – vyčkávací smyčka.

### 3.2.5. Ovládací modul Quido USB 8/8

Pro modul Quido USB 8/8 byly vytvořeny dva programy. Program pro přímé ovládání výstupu pomocí počítače a druhý program pro propojení vstupů a výstupů, aby bylo možné výstupy spínat přepínačem z panelu. Quido USB 8/8 je připojeno k počítači pomocí USB konektoru. Aby bylo možné vytvořit programy pro tento modul, bylo nutné pochopit funkce protokolu Spinel. Ovládací program (přímé ovládání výstupů) se skládá ze tří stavů (vyčkávací smyčka, inicializace, nastavení výstupů).

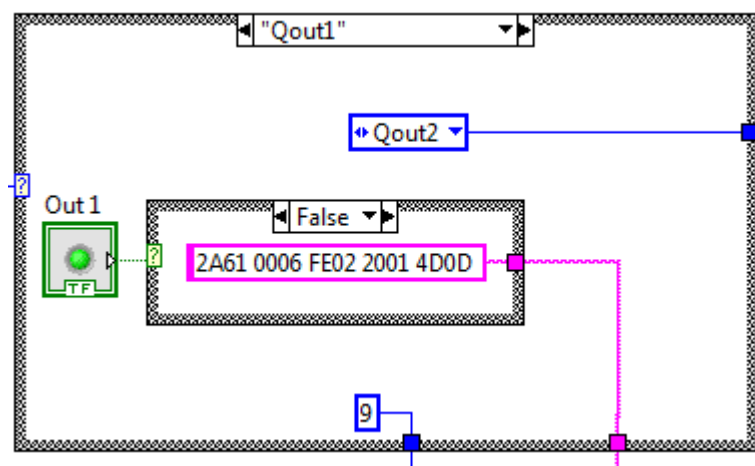
Ve stavu vyčkávací smyčky se očekává stisk tlačítka *start*. Pokud je tlačítko *Start* stisknuto, program se přepne do stavu inicializace.

Ve stavu inicializace se z tabulky použitých portů (*Com use tab*) postupně načítají jednotlivé COM porty a informace o tom, zda je daný port obsazen. Pokud daný port není obsazen, název portu je odeslán do bloku *Quido init and resp* (Obr. 3.25). V tomto podprogramu jsou nastaveny komunikační parametry: rychlost komunikace (115200 Bd), určení velikosti dat (8 bitů), počet stop bitů (1 bit). Poté, co jsou nastaveny potřebné parametry, je odeslán do zařízení požadavek o přečtení sériového čísla. Pokud je komunikace úspěšná, modul odešle zpět do počítače sedmnácti bytový hexadecimální řetězec. Pokud se tento řetězec shoduje s očekávaným sériovým číslem a zároveň se na lince nevyskytla chyba, inicializace proběhla v pořádku. Pokud byl požadavek odeslán na port, kde se modul nenachází, dojde k chybě a je nutné tuto chybu odstranit. K tomu slouží tzv. *Suppress warning*, kdy je chyba kvůli nedodržení časových limitů v komunikaci odstraněna. Celá inicializace je provázána kontrolní strukturou. Automatická inicializace je zaručena postupným načítáním COM portů. Pokud proběhla inicializace bez problému, program se přepne do stavu nastavení výstupů.



Obr. 3.25: Inicializační program modulu Quido USB 8/8

Ve stavu nastavení výstupů (*Set outputs*) byl vytvořen pro každý výstup ovládací prvek ve formě LED diody v uživatelském panelu. Ke každému výstupu byl v programu přiřazen daný hexadecimální kód podle protokolu Spinel. Pro ovládání osmi výstupů byla zvolena programová konstrukce, kdy se postupně na port odesílá uživatelské nastavení jednotlivých výstupů (Obr. 3.26). Tato konstrukce obsahuje hexadecimální kódy pro zapnutí a vypnutí výstupů. Tyto výstupy jsou ve smyčce neustále odesílány spolu s kontrolou přečtení do modulu Quido. Tím je zajištěno aktuální nastavení výstupů, i když jsou ovládány z panelu aparatury.



Obr. 3.26: Výběr řetězce při změně nastavení výstupu

Výstupy 1 až 4 byly použity pro ovládání ventilů k regulátorům průtoků Alicat. Výstup 5 a 6 byl použit jako časový spínač, kdy po stisku je výstup otevřen po dobu 2,5 sekundy. Výstupy 7 a 8 byly využity pro přepínání připojení generátoru k magnetronu nebo stolku.

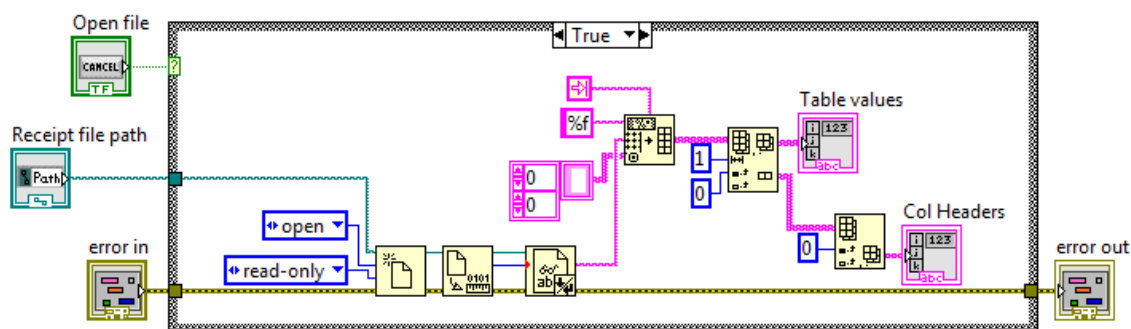
V tomto ovládacím programu záznam dat do textového souboru neprobíhá, neboť stav ovládacího modulu Quido USB 8/8 je definován pomocí receptu. Program je možné kdykoli pozastavit nebo ukončit bez výskytu chyb.

Druhý vytvořený program pro modul Quido USB 8/8 obsahuje příkazy pro propojení vstupů s výstupy. V tomto programu je nutné ručně nastavit správný COM port, v tomto programu nebyla automatická inicializace vytvořena. Po spuštění tohoto programu se pomocí příkazu Spinelu provede provázání výstupů a vstupů (vstup 5 – výstup 5, atd.), dále se nastaví velikosti časových impulzů pro ruční ovládání motorku z panelu. Jakmile jsou tyto příkazy provedeny a zapsány v modulu Quido, program se automaticky ukončí. Propojení vstupů a výstupů je funkční i poté, co je modul Quido odpojen od napájení, není nutné toto propojení vstupů a výstupů provádět opakovaně.

### 3.2.6. Program pro tvorbu receptů

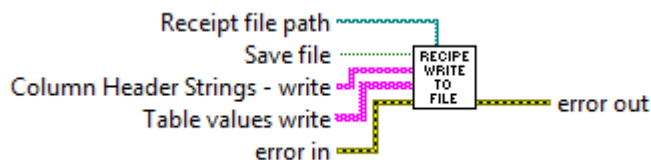
Program pro tvorbu receptů se skládá z šesti podprogramů. Jedná se o podprogram pro čtení ze souboru, zápis do souboru, načtení hodnot tabulky do ovládacího panelu receptu, přepisování označeného řádku v receptu, kopírování posledního řádku, vytvoření prázdného řádku. Tyto podprogramy jsou spouštěny podle volby obsluhy v uživatelském rozhraní.

Podprogram, pro čtení ze souboru (viz Obr. 3.27), po stisku tlačítka *Open file* načte hodnoty z textového souboru do tabulky. Soubor, ze kterého jsou data přečteny, může obsluha vybrat pomocí ovládacího panelu. Načtené hodnoty jsou pomocí elementárních funkcí Labview rozděleny na část záhlaví sloupce (*Col header*) a část hodnot umístěných do tabulky (*Table values*). Poté jsou tyto hodnoty přes vlastnosti vloženy tabulky. Celý proces načítání hodnot je provázán chybovou strukturou *Error in* – *Error out*.



Obr. 3.27: Podprogram pro čtení receptu ze souboru

Program pro ukládání hodnot z tabulky receptu (*Recipe write to file*) Obr. 3.28, po stisku tlačítka *Save file* nastaví umístění souboru podle vstupní proměnné *Receipt file path*. Tato vstupní proměnná je použita i k ukládání. Na vstupy jsou přivedeny hodnoty záhlaví sloupce a hodnoty z tabulek. Během zápisu do souboru je nejprve zapsáno záhlaví, jako dělicí část mezi jednotlivými názvy byl zvolen tabulátor. Poté, co je zapsáno celé záhlaví, program do souboru odřádkuje a začne zapisovat hodnoty z tabulky (*Table values write*). Zápis do souboru probíhá tak dlouho, dokud program nenarazí na prázdný řádek. Formát zápisu dat byl vhodně zvolen tak, že se při otevření v programu Microsoft Excel automaticky načte do tabulky. Formátem pro ukládání dat je textový soubor. Celý podprogram pro zápis je propojen chybovou strukturou. V případě chyby je uživatel informován pomocí automatického dialogového okna.

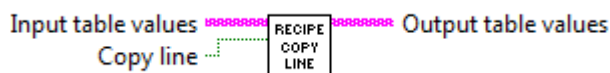


Obr. 3.28: Blok pro ukládání receptu do souboru

Pro načítání hodnot do ovládacího panelu receptu byl vytvořen podprogram *Recipe read line*. Tento program je možné spustit při změně kurzoru na okraji tabulky a řádku. Po kliknutí myši se řádek označí modrou čarou nad textem. Jakmile jsou hodnoty v tabulce takto označeny, obsah řádku se automaticky zapíše do ovládacího panelu receptu. Zde je možné jej pohodlněji měnit. Změny v tabulce je možné vykonat i přímo, kliknutím do zvoleného okna tabulky.

Aby bylo možné tyto hodnoty z ovládacího panelu receptu zapsat do tabulky, byl vytvořen podprogram *Recipe write line*. Tento program je možné spustit pomocí tlačítka *overwrite line*. Pokud bylo toto tlačítko stisknuto, nastavené hodnoty se postupně přepíší do výstupního pole. Toto pole poté nahradí již vybraný řádek tabulky.

Podprogram pro kopírování posledního řádku (*Recipe copy line*) Obr. 3.29, lze spustit pomocí tlačítka *Copy line*. Po stisku tohoto tlačítka je z vlastností tabulky kopírován celý její obsah do proměnné *Input table values*. Z této proměnné poté vyhledá pomocí dvojitého cyklu první prázdný řádek v tabulce. Jakmile je tento prázdný řádek nalezen, program automaticky zkopíruje obsah předposledního řádku na místo posledního řádku. Takto upravené pole je poté zpět nahráno do tabulky pomocí vlastnosti hodnoty (*Value*).



Obr. 3.29: Podprogram kopírování řádku receptu

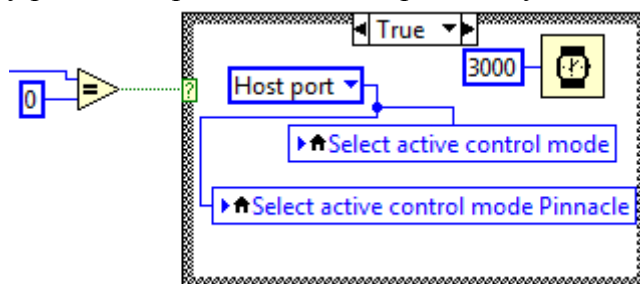
Poslední podprogram, který je ve smyčce pro ovládání receptu, vytváří nový řádek v tabulce. Pomocí stisku tlačítka *Create new line* je v programu vytvořen prázdný řádek na konci tabulky. Tento řádek nemá žádné přednastavení jako je tomu u kopírování. Vytvoření řádku (*add row*) je také možné během chodu programu ve vlastnostech tabulky.

Veškerá data z tabulky budou sloužit k ovládání jednotlivých zařízení aparatury. V tabulce jsou uvedeny nejdůležitější parametry k nastavení. Dostavování parametrů jednotlivých zařízení je možné díky přístupu k jednotlivým komponentám.

### 3.2.7. Automatická funkce receptu

Program pro automatickou funkci receptů se skládá ze čtyř hlavních částí. Mezi tyto části patří: nastavení komunikace generátorů, načtení hodnot z tabulky a jejich nastavení do jednotlivých zařízení, dále zapalování a kontrola výboje s časovým omezením, ukončení depozičního kroku. Tento program je ovládací částí veškerých obsažených komponent. Během automatické funkce receptu je možné parametry manuálně měnit v jednotlivých sekcích uživatelského panelu. Tyto parametry jsou předávány do jednotlivých komponent pomocí lokálních proměnných. Spuštění automatické funkce receptů je možné provést stisknutím tlačítka *Recipe start*.

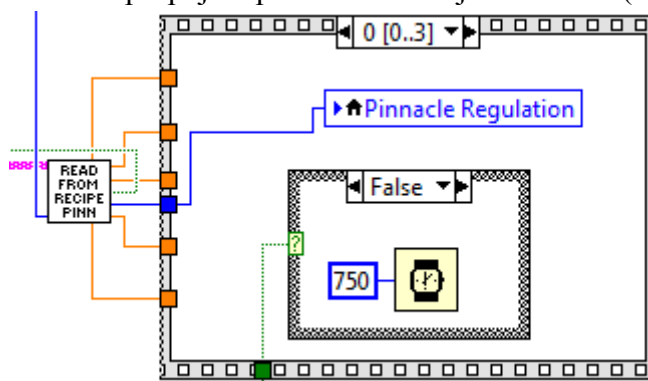
První částí automatické funkce receptů je nastavení komunikace generátorů (viz Obr. 3.30). Poté co jsou spuštěny jednotlivé komponenty, je nutné provést nastavení. Generátor může být od posledního použití nastaven libovolně. Pomocí lokálních proměnných *Select active control mode* a *Select active control mode Pinnacle* je tato změna automaticky provedena pouze na začátku prvního cyklu čtení z receptu.



Obr. 3.30: Nastavení komunikace generátorů

Aby byl příkaz spolehlivě vykonán, bylo nutné přidat, vložit do podmínky zpoždovací čas 3 sekundy. Poté, co uplyne tento čas, se program přepne do další části.

V následující části (načtení hodnot z tabulky a jejich nastavení do jednotlivých zařízení) jsou z tabulky načítána data do jednotlivých zařízení pomocí lokálních proměnných. Pro tuto funkci byly vytvořeny podprogramy pro čtení regulátorů průtoků, nastavení ventilů a výstupů (*Read from recipe flow*), načtení parametrů generátorů Cesar a Pinnacle (Obr. 3.31). (*Read from recipe Cesar* a *Read from recipe Pinnacle*). Dále jsou načteny výstupy modulu Quido (*Read from recipe Quido*), délka časového úseku depozičního kroku a propojení pomocí následujícího kroku (*continuous step*).

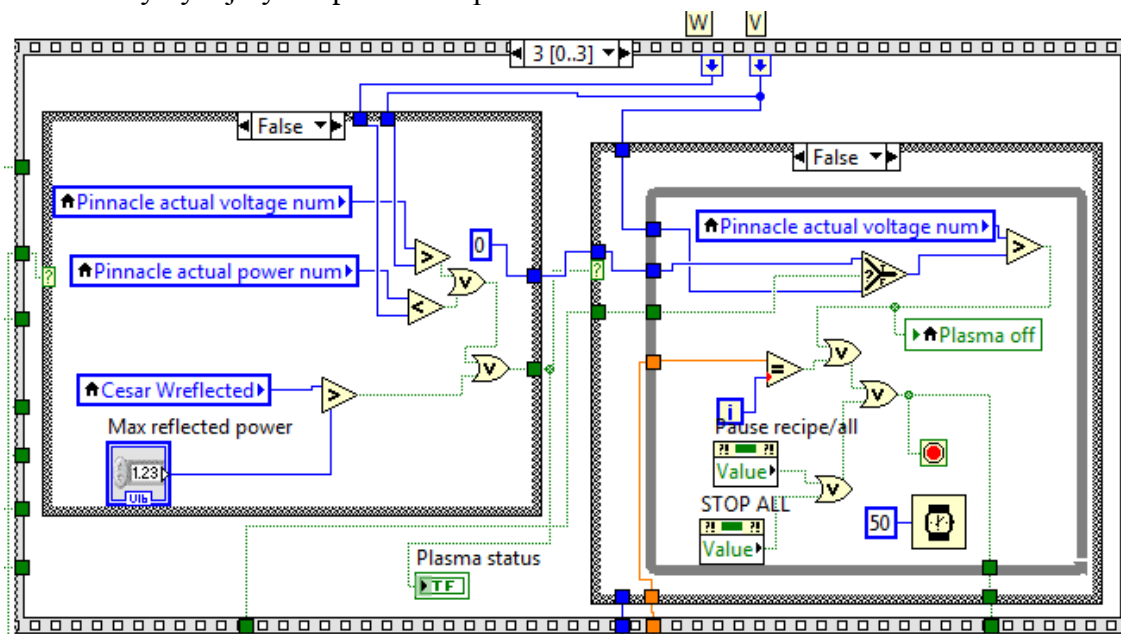


Obr. 3.31: Načtení parametrů pro generátor Pinnacle

Během načítání hodnot bylo nutné vytvořit výjimku pro pokračující krok. Pokud je nastaven pokračující krok, načítání hodnot probíhá bez časového zpoždění. V tomto případě nedochází ke skokovým změnám hodnot a není nutné dobu pro načtení prodlužovat. Pokud jsou všechny parametry načteny a pomocí lokálních proměnných nastaveny, program přejde do další části samotného kroku depozice – zapalování a kontrola výboje s časovým omezením.

Část zapalování a kontroly výboje s časovým omezením byla složena ze sekvence pro zapalování a časové kontroly doutnavého výboje. Během této sekvence jsou nejprve zapnuty generátory. Aby bylo možné detekovat zapálení bylo nutné přidat časové zpoždění 2 sekundy. Po uplynutí této doby jsou přečteny z pulzního generátoru hodnoty aktuální velikosti napětí a výkonu. Pomocí těchto hodnot bude dále možné vyhodnotit zapálení výboje. Pro generátor Cesar nebyla tato funkce vytvořena, protože generátor Cesar má detekci zpětně odraženého výkonu. Díky tomu si může uživatel tento parametr nastavit. Podle nastavené hodnoty je poté vyhodnoceno zapálení výboje generátoru Cesar. Standardně je tato hodnota nastavena na 25W. Jakmile byly přečteny aktuální hodnoty napětí a výkonu z generátoru Pinnacle, nastane otevření ventilů u regulátorů průtoku. Díky této tlakové špičce je možné doutnavý výboj v aparatuře bez problému zapálit. Aby bylo možné dále zjistit, jestli byl doutnavý výboj zapálen pomocí pulzního generátoru Pinnacle Plus, bylo nutné přidat časové zpoždění. Délku tohoto zpoždění je možné nastavit. Nedoporučuje se nastavení menšího časového úseku než 1 sekunda. Pokud je tento čas nastaven na méně než 1 sekundu, může dojít ke špatnému vyhodnocení zapálení výboje.

Poté co vyprší časové zpoždění, dochází ke kontrole zapálení výboje (Obr. 3.32). Tato kontrola je provedena porovnáním napětí a výkonu před otevřením a po otevření ventilů. Pokud je napětí po otevření ventilu nižší a výkon vyšší, znamená to, že doutnavý výboj byl v aparatuře zapálen.

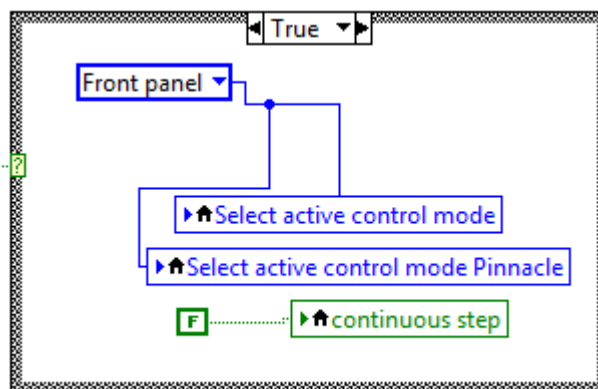


Obr. 3.32: Kontrola zapálení výboje, časová smyčka depozičního kroku

Potom program přejde do cyklu o nastavené časové délce, ve kterém se provádí nastavený depoziční krok. V tomto cyklu byla přidána ochrana vypnutí procesu. Jestliže dojde ke zhasnutí výboje během depozičního kroku (proměnná *plasma off*), program ukončí cyklus a ihned přejde do dalšího stavu vypnutí generátorů. Zhasnutí výboje během depozičního kroku je detekováno pomocí napětí. Pokud je napětí po otevření vyšší a zároveň je nižší výkon, znamená to, že pulzní generátor nezapálil doutnavý výboj. Pokud výboj nebyl zapálen, proces zapalování se opakuje. Pokud se nepodaří výboj opakovaně zapálit, program přeskočí časovou smyčku pro vykonání depozičního kroku.

Kromě tohoto postupu byla do procesu zapalování zařazena výjimka. Pokud je nastaven depoziční krok jako pokračující, jsou časová zpoždění ignorována a nedochází znovu k zapalování výboje. Kontrola doutnavého výboje je nastavena limitně o 150V více než v předchozí části. Pokračující krok (*continuous step*) bylo nutné vytvořit kvůli depozičnímu procesu. Během tohoto procesu je nutné ustálit parametry depozice pomocí tzv. předprašování. Po předprašování obvykle následuje naprašování, případně se opakuje znovu předprašování. Úkolem depozičního kroku předprašování je tedy očištění terče a ustálení depozičních parametrů pro samotné naprašování.

Poslední částí je ukončení depozičního kroku. V této části je vyhodnoceno, jestli je následující krok pokračující. Pokud ano (doutnavý výboj hoří), nesmí být provedeny operace uzavření ventilů a vypnutí výstupu generátoru. Pokud není další krok pokračující, jsou uzavřeny ventily, uzavřeny regulátory průtoku a vypnuty výstupy generátoru. Poté se přechází znovu na začátek celého depozičního kroku. Určení posledního depozičního kroku bylo provedeno pomocí vyhledávání prázdného řádku. Pokud je následující řádek prázdný, následuje kromě vypnutí veškerých výstupů také nastavení ovládání generátorů na přední přístrojovou desku (front panel) Obr. 3.33.

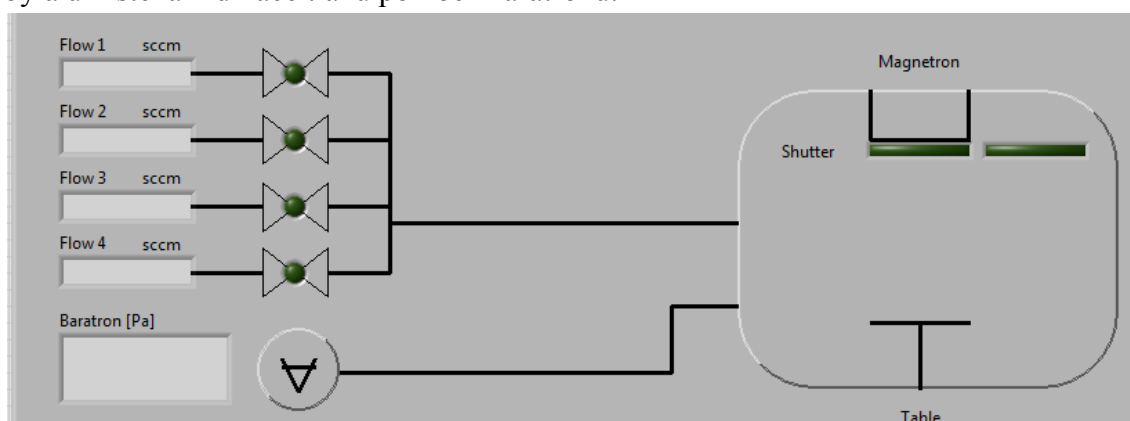


Obr. 3.33: Nastavení generátoru na přední přístrojovou desku

### 3.3. Uživatelské rozhraní

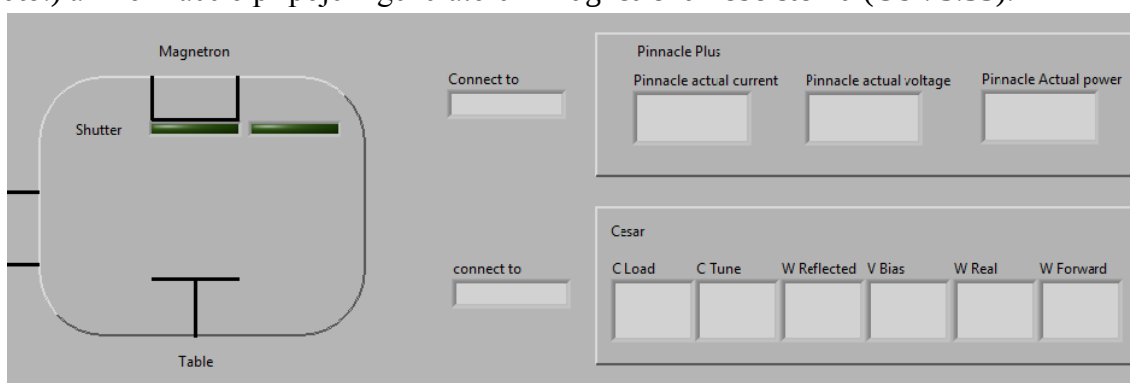
Během vytváření uživatelského prostředí bylo hlavním cílem vytvořit jednoduché a uživatelsky příjemné ovládání. Během návrhu uživatelského rozhraní bylo zvoleno rozdělení na dvě části. Mezi tyto části patří část manuálního ovládání (*manual*) a část automatická s tvorbou receptů (*recipe*).

První částí manuálního uživatelského rozhraní je část informační (viz Obr. 3.34). V této části bylo vytvořeno jednoduché schéma aparatury. Zde byly vytvořeny informační prvky, kterými jsou ventily regulátorů průtoků. Tyto prvky indikují stav otevření a zavření ventilu. Kromě indikace ventilů obsahuje informační část také velikosti aktuálního nastaveného průtoku regulátorů průtoků. Pod regulátory průtoků byla umístěna indikace tlaku pomocí Baratronu.



Obr. 3.34: Informační část uživatelského rozhraní pro regulátory a Baratron

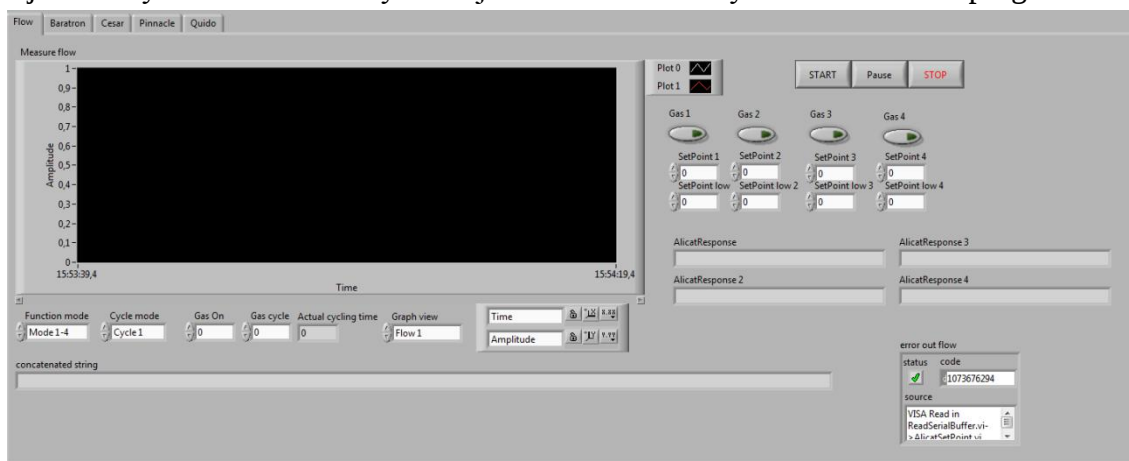
Mezi další informační prvky patří zobrazení aktuálního umístění clony s jednoduchým nákresem aparatury. Poslední informační částí jsou generátory, jejich reálně nastavené vlastnosti (výkony, napětí, případně nastavení vyrovnávací kapacity, atd.) a informace o připojení generátoru k magnetronu nebo stolku (Obr. 3.35).



Obr. 3.35: Informační část uživatelského prostředí generátorů

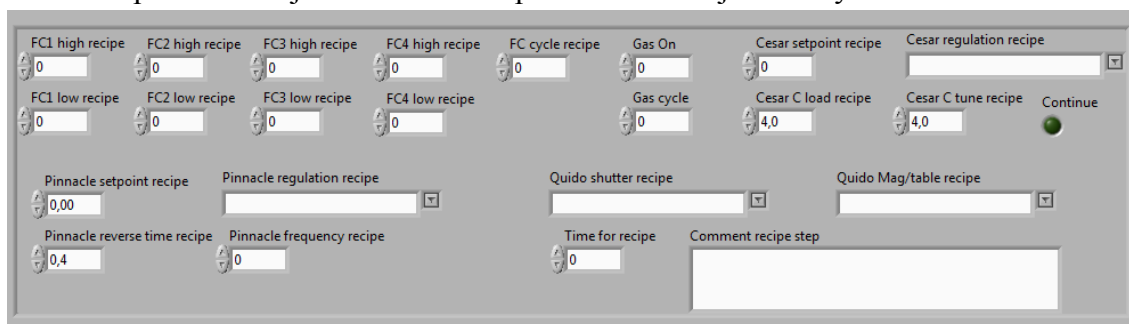
Druhou částí uživatelského prostředí je manuální přístup k jednotlivým částem aparatury PLS 160. Mezi tyto části patří manuální ovládání regulátorů průtoku Alicat, nastavení Baratronu, generátoru Cesar 136, pulzního generátoru Pinnacle Plus a nastavení výstupů modulu Quido. Do manuální části ovládání byly vloženy všechny

dostupné ovládací části programu (Obr. 3.36). Dále je v manuální části obsaženo informační okno chybové struktury s případným výpisem chyby. Dále bylo do manuálního prostředí vloženo grafické znázornění hlavních veličin vzhledem k jednotlivým zařízením. Díky tomu je možné se velmi rychle orientovat v programu.



Obr. 3.36: Manuální část nastavení přístupná uživateli

Kromě části manuální byla vytvořena také ovládací část automatická s tvorbou receptů. V této části byla vytvořena tabulka pro zadávání hodnot přímo. Hodnoty do tabulky je možné také zadávat pomocí ovládacího panelu (Obr. 3.37), který je umístěn pod tabulkou. Načtení hodnot z tabulky do tohoto ovládacího panelu je možné díky označení celého řádku pomocí změny kurzoru. Poté jsou hodnoty načteny do tohoto panelu. Zde je možná editace podle možností jednotlivých zařízení.



Obr. 3.37: Ovládací panel tabulky receptu

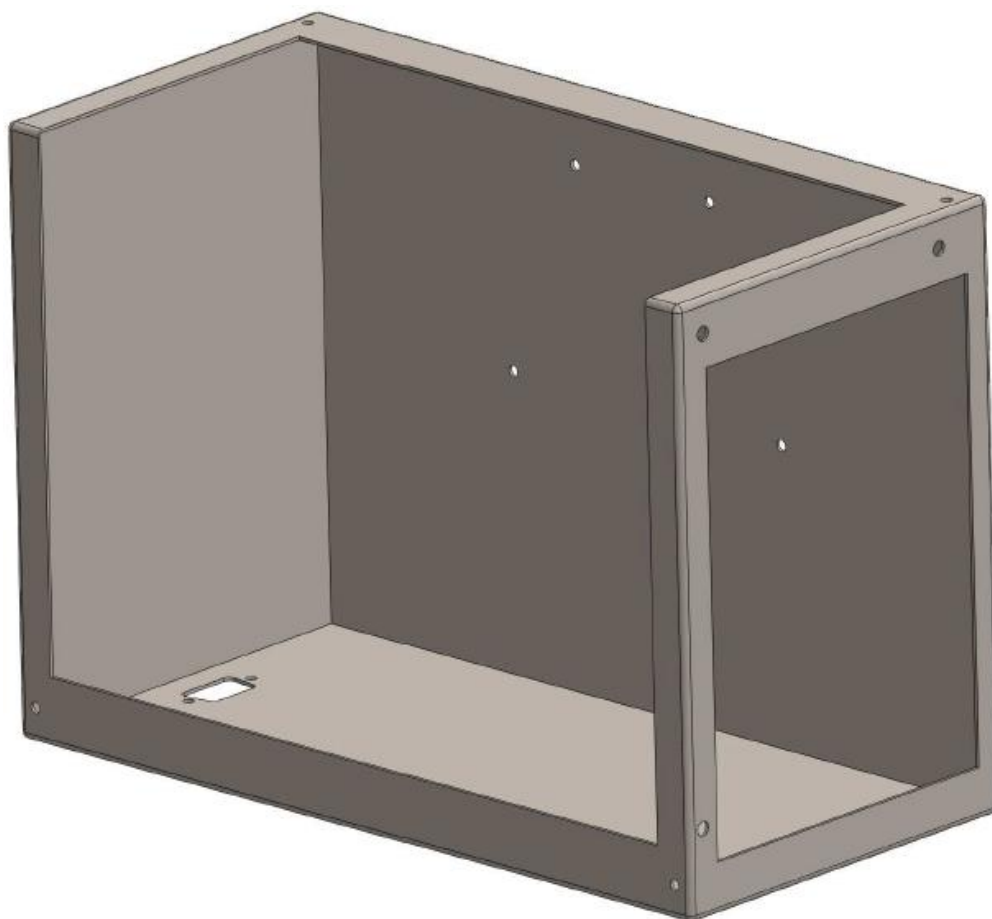
Kromě ovládacího panelu tabulky bylo vytvořeno okno pro nastavení ukládání nebo čtení souboru. Dále byly v části receptů umístěny tlačítka pro kopírování a vytvoření nového řádku, dále ukládání a načítání receptů ze souboru a přepsání řádku. Dále byla vytvořena tlačítka pro zapnutí receptu, pozastavení a zastavení receptu. Tlačítko pro zastavení receptu zastaví kromě samotného receptu také všechna zařízení. Díky tomuto tlačítku je možné program vypnout jedním stisknutím.

Poslední částí automatické tvorby receptů je nastavení limitů, které jsou použity pro vyhodnocení zapálení doutnavého výboje během procesu depozice.

### 3.4. Změny aparatury PLS 160

#### 3.4.1. Mechanické změny

Pro automatizaci celého procesu reaktivního magnetronového naprašování bylo nutné provést změny. Mezi tyto změny patří návrh krabičky pro stykače, frekvenční filtr a konektor pro připojení (Obr. 3.38), držák motorku, navrhnout mechanismus pro otevírání a zavírání clony magnetronu.



Obr. 3.38: Návrh krabičky pro stykače z programu SolidWorks 2013

Během návrhu krabičky pro stykače bylo nutné určit pozici konektoru canon, dále umístění din lišty, na které budou nasazeny stykače. Na závěr bylo nutné určit otvory pro připojení motorku, kterým bude ovládána clona v aparatuře. Krabička má na pravé straně otvor, pomocí kterého jsou z konektorů přivedeny výstupy generátorů, vstup stolku a magnetronu a ochranný zemnicí vodič. Konektor canon (9 pinový, samec) je ke krabičce možné uchytit pomocí distančních sloupků. Těmito distančními sloupky byl v krabičce připojen konektor canon (9 pinový, samice), ze které jsou vyvedeny vodiče pro připojení do filtru a dále pro ovládání stykačů. Tato krabička má rozměry 250x175x125mm a byla vyrobena z ocelových plechů o tloušťce 1mm kvůli dostatečné pevnosti a stínění. Krabička je připojena k aparatuře přes původní ochrannou krabičku s přepínačem a chladícím okruhem od magnetronu tak, aby bylo

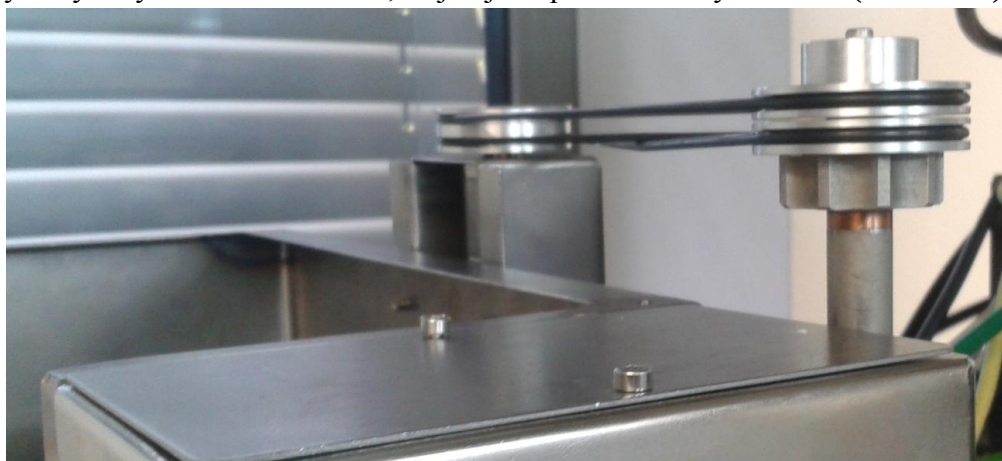
možné ji v případě výměny magnetronu jednoduše demontovat (Obr. 3.39). Krabíčka byla vytvořena v dílnách Ústavu přístrojové techniky.



Obr. 3.39: Krabíčka pro stykače a její uchycení

Pro krabíčku bylo nutné vytvořit víko, které je s krabíčkou spojeno pomocí čtyř šroubů M4. Kromě víka pro novou krabíčku bylo nutné navrhnout a nechat vyrobít víko pro původní krycí krabíčku od magnetronu. Tato krabíčka byla vyrobená z ocelových plechů tloušťky 1mm. Spojení víka je zajištěno pomocí dvou imbusových šroubů M3.

Další mechanickou úpravou byl návrh držáku pro elektrický motorek. Tento držák je umístěn na zadní straně krabíčky. Držák elektrického motorku byl po konzultaci s vedoucím navržen tak, aby bylo možné do něj nainstalovat 18V motorek z tiskárny, nebo 12V motorek s převodovkou. Krabíčka byla vyrobena z ocelových plechů o tloušťce 1mm. Kromě držáku motorku bylo nutné navrhnout mechanismus pro otevírání a zavírání clony. Clonu bylo možné otevřít nebo zavřít pomocí ovládací tyče. Na konci této tyče byla vytvořena řemenička, stejně jako pro elektrický motorek (Obr. 3.40 ).



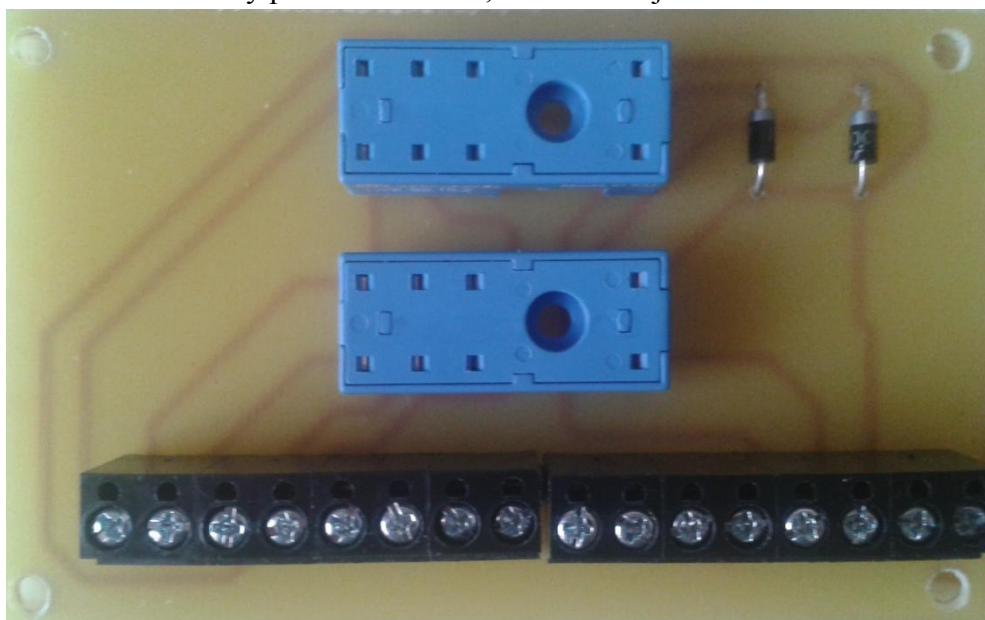
Obr. 3.40: Ovládací mechanismus pro otevírání a zavírání clony magnetronu

Aby bylo možné pomocí jednoho motorku otevřít i zavřít clonu, bylo nutné jeden ze dvou o-kroužků, který spojuje obě řemeničky, navléci ve tvaru osmičky. Díky tomu se při chodu motorku na jednu stranu clona otevře (tyče jsou v pohybu proti sobě).

### 3.4.2. Úpravy elektrického zapojení

Kromě mechanických změn bylo nutné navrhnout, nechat vyrobít a upravit některé elektrické části aparatury PLS 160. Aby bylo možné celý proces automatizovat, bylo nutné navrhnout tři desky plošných spojů. Jedná se o desku pro ovládání motorku (18V i 12V), propojovací desku pro zapínání ventilů regulátorů průtoku a blokovací filtr pro odstranění vysokofrekvenčního rušení z generátoru do aparatury.

Deska plošného spoje pro ovládání motorku (viz Obr. 3.41) byla navržena podle H-můstku. Díky tomuto můstku je možné ovládat motorek na obě strany. Tento můstek je realizován pomocí dvou relé. Dále jsou na této desce přidány diody 1N4007, z důvodu ochrany proti špičkám ovládacích cívek relé při spínání. Aby bylo možné zapojení do celého systému, byla deska osazena osmi svorkovnicemi po dvou připojovacích kontaktech. Tloušťka měděných cest desky byla zvolena 1mm, což je pro maximální rozběhový proud motorku 1,05A dostačující.



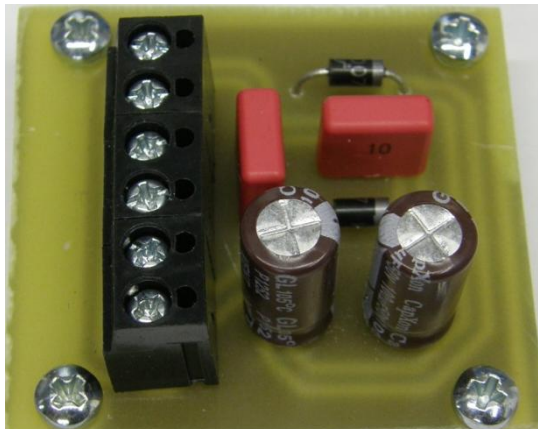
Obr. 3.41: Vytvořená deska pro ovládání motorku pomocí H-můstku

Druhou navrženou deskou byla propojovací deska pro zapínání ventilů regulátorů průtoku (Obr. 3.42). Tato deska obsahuje jedenáct svorkovnic po dvou kontaktech. Tyto kontakty jsou propojeny tak, aby tvořily síť pro napájení a připojení ochranného vodiče. Deska byla navržena pro zjednodušení při zapojení, aby nebylo nutné zapojení více vodičů do jednoho kontaktu a snížilo se riziko chyby při zapojení.



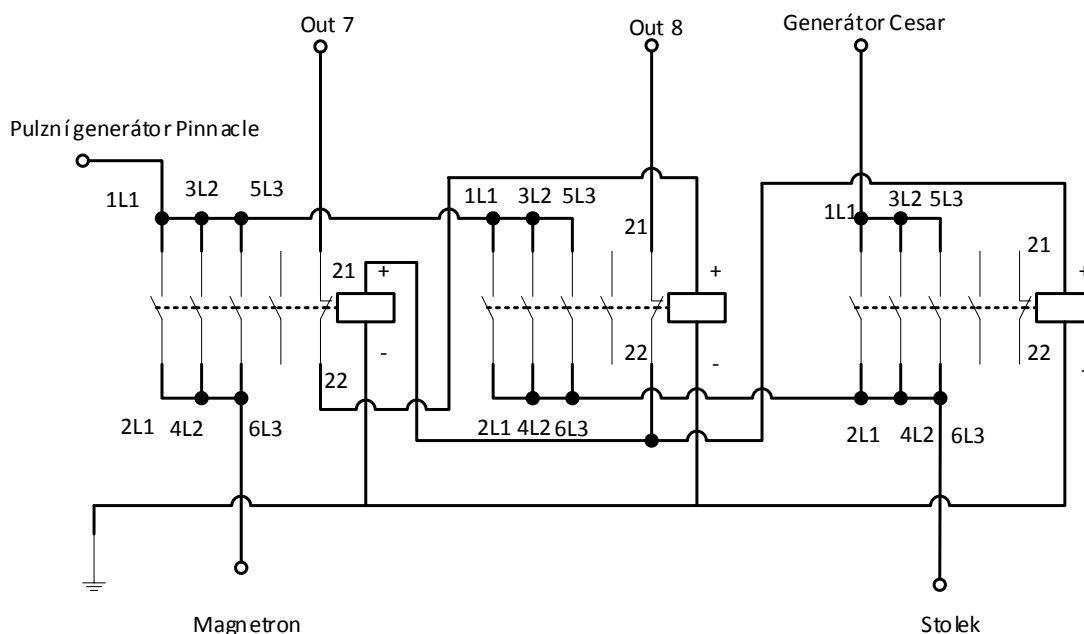
Obr. 3.42: Propojovací deska pro zapojení ventilů

Poslední navrženou deskou byl blokovací filtr. Aby bylo možné navrhnout tento filtr co nejlépe, byl před návrhem tohoto filtru prozkoumán funkční filtr na aparatuře Leybold-Heraeus Z550. Navržený blokovací filtr (Obr. 3.43) by měl zabránit proniknutí rušení do ovládacích částí systému. Protože touto deskou jsou ovládány dvě větve stykačů, byly na této desce vytvořeny dva stejné filtry. Pro návrh a realizaci byly použity elektrolytické kondenzátory o hodnotě  $100\mu\text{F}/50\text{V}$ , fóliové kondenzátory  $100\text{nF}/250\text{V}$  a ochranné diody 1N4007 (kvůli spínacím cívkám stykačů). Pro připojení do systému bylo nutné použít tři svorkovnice po dvou kontaktech.



Obr. 3.43: Blokovací filtr

Mezi změny v zapojení aparatury dále patří především možnost přepínání generátorů podle schématu (viz Obr. 3.44). Ze schématu je patrné, že je možné pulzní generátor připojit na magnetron nebo na stolek, zatímco generátor Cesar může být připojen pouze ke stolku. Pokud je pulzní generátor připojen na stolek, generátor Cesar je odpojen. Celý tento systém stykačů je možné ovládat pomocí výstupů modulu Quido z počítače nebo pomocí třípolohových přepínačů z předního panelu aparatury.



Obr. 3.44: Schéma zapojení stykačů pro generátory

Během těchto hlavních úprav bylo nutné vyměnit veškeré spínače od ventilů regulátorů průtoků, které zde byly nainstalovány. Byly nahrazeny třípolohovými přepínači s aretací. Přední panel byl dále doplněn o třípolohový přepínač s aretací pro ovládání stykačů. Dále byl do předního panelu nainstalován třípolohový přepínač bez aretace pro ovládání motorku clony. Přepínač bez aretace byl vybrán tak, aby bylo možné spouštění pulzů. Časové nastavení bylo provedeno pomocí modulu Quido

## 4. Testování

### 4.1. Testování ovládacího programu regulátorů průtoků

Po vytvoření programu byla zkoušena jeho funkčnost a stabilita. Během testu se podařilo regulátory průtoků úspěšně inicializovat pomocí automatické inicializace. Během testování programu byla ověřována funkce cyklického módu, kde se podařilo úspěšně cyklovat všemi dostupnými průtokoměry s pracovními plyny podle nastavených hodnot v čase. Bylo ověřeno, že regulátory průtoků, které nebyly aktivní v cyklickém módu, měly pomalejší reakci na zadanou změnu průtoků. Při testování postupného módu bylo možné nastavovat hodnoty průtoků, vybrat si sledovaný průběh a sledovat jej v grafu v závislosti na čase. Data, která byla zapisována do souboru, byla uložena ve složce Data, kde byl umístěn ovládací program. V této složce byl vytvořený soubor s daty z testovacího procesu. Během procesu testování se podařilo zapálit doutnavý výboj. [1]

### 4.2. Testování ovládacího programu vakuometru Baratron

Během testování regulátorů průtoků byl také testován Baratron s převodníkem. Před zapálením výboje se podařilo úspěšně nastavit kanály na nulovou hodnotu pomocí tlačítka *Autozero*. Ve výstupním okně *Coarse zero* byla vyobrazena hodnota hrubého nulového bodu. Přepínání kanálů bylo také funkční, což bylo ověřeno přepojením vstupního konektoru. Na ose Y se měnila měřítka podle naměřených dat, aby byly patrné drobné změny v tlaku v nastaveném časovém rozsahu. Získané hodnoty byly uloženy do složky Data v textovém souboru včetně časové značky pro možnost reprodukce. [1]

### 4.3. Testování ovládacího programu generátoru Cesar 136

Během testování ovládacího programu byla úspěšně vyzkoušena automatická inicializace. Po inicializaci se do uživatelského prostředí nastavily hodnoty načtené z generátoru. Tím pádem byla vyloučena chyba při zadávání nebo změně parametrů. Pokud byla komunikace uživatelského panelu nastavena jako front panel, hodnoty byly načteny, ale jejich změny nebyly umožněny. Tento stav se poté projevil na generátoru pomocí chybové hlášky (CSR code). Pokud byla komunikace nastavená na host port (RS232), nevyskytovaly se chyby a bylo možné bez problému nastavit hodnoty regulace. Nastavení velikosti výkonu na výstupu bylo ověřeno přes displej generátoru. S nastavením zbylých parametrů se problémy nevyskytly, po kontrole přes menu generátoru se přečtené a nastavené hodnoty shodovaly. Během testování byla také ověřena funkce časového vypnutí generátoru. Bylo zjištěno, že podprogram je

schopen vypnout generátor s přesností na 100ms. Zapsaná data, která byla pořízena během depozice, byla uložena v podobě textového souboru ve složce Data. Tím byla zajištěna reprodukovatelnost procesu.

#### **4.4. Ovládací program pro pulzní generátor Pinnacle plus**

Testování programu pro generátor Pinnacle plus bylo velmi podobné, jako pro generátor Cesar. Během zkoušek byl ověřen program pro automatickou inicializaci. Stejně jako u generátoru Cesar, proběhlo načtení hodnot do uživatelského panelu. Pokud byl nastaven správný typ komunikace, bylo možné parametry napětí, výkonu a proudu měnit. Podařilo se měnit nastavení frekvence i nastavení regulace. Na závěr byl testován i program pro časování výstupu, kdy byl po uplynutí nastaveného časového úseku vypnut výstup generátoru. Tím pádem zhasnul doutnavý výboj pod magnetronem v aparatuře. Reprodukce byla zajištěna uložením dat do textového souboru ve složce Data.

#### **4.5. Ovládací program pro Quido USB 8/8**

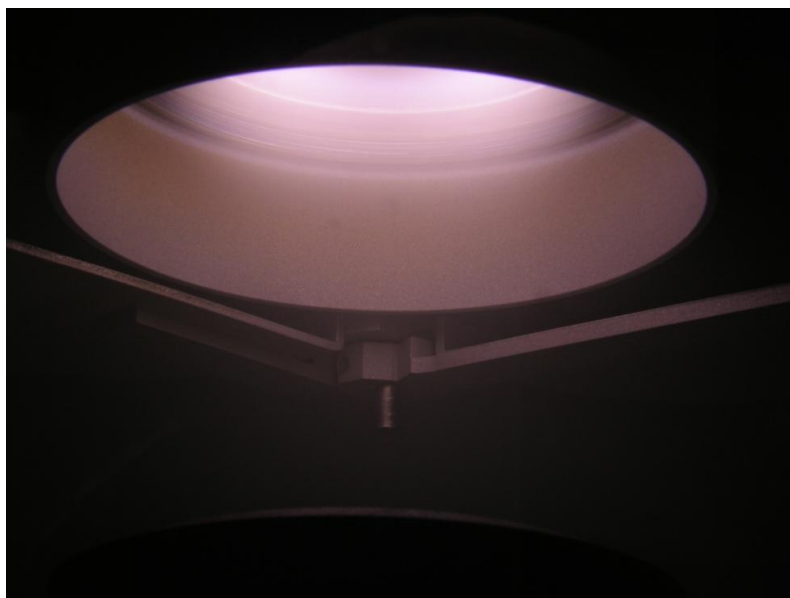
Během testování ovládacího programu pro modul Quido USB 8/8 byla ověřena funkce automatické inicializace. Po ukončení inicializačního procesu byly úspěšně otestovány výstupy pro otevírání ventilů regulátorů průtoků. Výstupy pro ovládání motorku byly nastavené na časový impuls, přičemž bylo nutné jej několikrát upravit. Po těchto úpravách fungovalo otevírání a zavírání clony korektně. Poté byly testovány výstupy pro spínání stykačů, které fungovaly podle předpokladů. Po testování výstupů byly testovány vstupy a jejich provázání s výstupy. Pomocí třípolohového spínače nainstalovaného do panelu byla vyzkoušena funkce otevírání clony a přepínání stykačů.

#### **4.6. Testování automatické funkce a receptů**

Při testování funkce receptů se podařilo korektně načíst i uložit data z textových souborů. Dále bylo ověřeno, že díky vhodně zvolenému formátu bylo možné otevřít textový soubor pomocí programu Microsoft Excel. Po otevření v tomto programu byly jednotlivé části poskládány v tabulce bez nutnosti konverze. Pomocí ovládacích tlačítek receptu se podařilo vkládat a kopírovat nové řádky. Dále bylo testováno přepisování receptu pomocí ovládacího pole, které je umístěno pod receptem. Pomocí kontextového menu receptu bylo dále možné vkládat, kopírovat řádky, případně odstranit veškerá nastavená data z tabulky.

Během testování automatické funkce se objevila řada problémů. Mezi tyto problémy patřila zejména detekce zapalování doutnavého výboje a jeho indikace pomocí hodnot přečtených z generátoru. Během testování se podařilo daný systém

vyladit, takovým způsobem, že bylo možné provést zkušební depozici. V automatické funkci byl otestován podprogram pro řádné a korektní ukončení programu tak, aby byly přístroje nastaveny do definovaného výchozího stavu. Tento výchozí stav byl zvolen jako stav po spuštění funkce přístroje, kdy se očekává nastavení uživatele. Během testování se podařilo nastavit všechny potřebné parametry na jednotlivých komponentách, dokonce i kondenzátorů uvnitř match boxu, jejichž doba nastavení může trvat maximálně okolo deseti sekund. Během testování byl úspěšně zapálen doutnavý výboj (Obr. 4.1). Pro testování byl zvolen modifikovaný proces depozice z  $B_4C$  terče podle laboratorního deníku aparatury. Při této depozici se podařilo pomocí programu automaticky vykonat celý proces bez problému. Při testování se dále podařilo ověřit nastavení časových intervalů jednotlivých sekcí. V těchto jednotlivých procesních sekcích se podařilo programový systém vyladit do přesnosti 0,5s, což je velmi důležité pro reprodukci. Data pořízená z depozičního testu byla uložena ve složce Data s programem.



Obr. 4.1: Zapálený doutnavý výboj během zkušební depozice

## 5. Parametry použitých přístrojů

### 5.1. Regulátory průtoku Alicat

Parametry: převzato z [1] [6]

- Vstupní napětí: stejnosměrné: 24V
- Vstupní proud: max. 800mA
- Operační teploty: -40°C - +50°C
- Komunikační rychlost: 10 ms
- Maximální průtok: 50 sccm
- Třída přesnosti:  $\pm 0,8\%$  hodnoty + 0,2% z měřítka
- Typ připojení: RS232, RS485

### 5.2. MKS Baratron Typ 627D

Parametry: převzato z [1][8]

- Vstupní napětí: stejnosměrné: 15V
- Vstupní proud: max. 250 mA
- Obvyklý teplotní rozsah: 15 až 40°C
- Třída přesnosti:  $\pm 0,25\%$
- Časová odezva: max. 40 ms
- Nulovací potenciometr:  $\pm 1\%$
- Hardwarová nula:  $\pm 20\%$
- Měřicí rozsah: do 13 Pa

### 5.3. Převodník PR 4000B-F

Parametry: převzato z [1][7]

- Vstupní napětí: 85-265V (47-63Hz)
- Třída přesnosti:  $0,01\% \pm 1 \text{ Digit}$
- Operační teploty: 15-40°C
- Výstupní napětí:  $\pm 15\text{V}$
- Výstupní proud: 1,5A
- Standardní typ připojení: RS232

## 5.4. Generátor Cesar 136

Parametry: převzato z [1][4]

- Síťové napětí: střídavé: 230 V
- Síťová frekvence: 50/60 Hz
- Síťový proud: 4,6 A
- Příkon: 1050 VA
- Účinit: 97-99%
- Účinnost: 65%
- Maximální výstupní výkon: 600W
- Maximální odražený výkon: 200W
- Operační teploty: 5-35°C

## 5.5. Generátor Pinnacle Plus

Parametry: převzato z [1][5]

- Operační teploty: 0-40°C
- Vstupní napětí: 180-229V (AC)
- Síťová frekvence: 50 – 60 Hz
- Zvlnění výstupního napětí: méně než 2%
- Maximální výstupní výkon: 5kW
- Účinit: 95%
- Přesnost výstupních parametrů: 1%

## 5.6. Quido USB8/8

Parametry: převzato z [1][9]

- Maximální vstupní napětí: 28V
- Počet vstupů: 8
- Počet výstupů: 8
- Maximální spínané napětí: střídavé: 60V; stejnosměrné: 85V
- Maximální spínaný proud: 5A
- Komunikační rychlost: 115200Bd
- Pracovní teploty: -20°C až + 70°C

# Závěr

Z dostupných základních programů od výrobců se podařilo vytvořit ovládací program pro komponenty regulátorů průtoku Alicat, MKS Baratron a převodník PR4000B-F, generátor Cesar 136, pulzní generátor Pinnacle Plus a ovládací modul Quido USB 8/8. Veškeré tyto části byly jednotlivě testovány zejména ve spolehlivosti ovládání a zápisu dat pro jejich zpětnou reprodukci. Kromě jednotlivých komponent byl vytvořen také program pro tvorbu receptů, kde je možné zpracovávat depoziční postupy a ukládat je. Dále byly navrženy a sestaveny mechanické úpravy aparatury: krabice pro stykače, držák pro motorek. Kromě toho bylo nutné vytvořit úpravy elektrického zapojení a nové obvody. Bylo nutné vyrobit tři desky plošných spojů: blokovací filtr, můstkové ovládání motorku a propojka pro ovládání ventilů. Pomocí navržených obvodů a vytvořených desek plošných spojů se podařilo automatizovat aparaturu takovým způsobem, že je možné ovládat všechny její části, potřebné k procesu depozice, přes počítač. Poté, co byly sestaveny mechanické a zapojeny elektrické obvody do aparatury, byl vytvořen multifunkční automatický program. Díky tomuto automatickému programu je možné, po zadání jednotlivých depozičních kroků, provést depoziční proces bez zásahu obsluhy. Tento automatický program úspěšně načtl jednotlivé depoziční kroky z tabulky receptů a chronologicky je vykonal. Jako test byla uskutečněna krátká zkušební depozice. Během této depozice se podařilo vykonat jednotlivé kroky depozičního procesu. Tento modifikovaný krátký zkušební depoziční proces byl navržen podle dříve provedené depozice vrstvy z B<sub>4</sub>C terče. Modifikace procesu spočívala ve snížení výkonu během procesu. Parametry jednotlivých depozičních kroků ovšem byly nastaveny tak, že bylo možné díky tomu ověřit potřebné depoziční vlastnosti. Během depozice byl zapálen výboj pomocí automatické funkce zapalování a detekce pomocí pulzního generátoru Pinnacle Plus. Dále během depozice byla ověřena funkce leptání pomocí generátoru Cesar připojeného ke stolku aparatury.

Celý automatizovaný program je možné dále vylepšit nebo konfigurovat v programovém prostředí Labview. Program byl vytvořen a postupně složen do jednotlivých bloků, které jsou v projektové složce rozděleny do jednotlivých kategorií. Celý program by bylo možné dále vylepšit tak, že by bylo jeho ovládání možné pomocí síťového připojení z jiného počítače, případně jej ovládat pomocí webového prohlížeče.

# Literatura

- [1] DUŠEK, J. *Řízení procesu reaktivního magnetronového naprašování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 31 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Tomáš Fořt, PhD; ÚPT AVČR, Brno.
- [2] JAROŠ, Martin. *Reaktivní magnetronové naprašování vrstev CrCuO* [online]. Plzeň, 2012 [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/3720/Martin%20Jaros%20%20Bakalarska%20prace.pdf?sequence=1> . Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Jindřich Musil.
- [3] KORMUNDA, Martin. *Reaktivní naprašování – principy* [online]. Rožnov pod Radhoštěm, 2008 [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: <http://phymatsci.webs.com/Prednasky/Kormunda%20%20Reaktivni%20naprasovani.pdf> . Univerzita J.E. Purkyně.
- [4] ADVANCED ENERGY INDUSTRIES, INC. *User manual: Cesar generator model 136*. Muensterau, 196 s. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: <http://mfc.engr.arizona.edu/documents/AGS%20Manuals/Dressler%20Cesar%200136%20manual%20Rev%20Omid.pdf>
- [5] ADVANCED ENERGY INDUSTRIES, INC. *User manual: Pinnacle Plus + 5kW power supply 325VDC-800VDC*. Fort Collins, 2010, 334 s. 57000093-00B.
- [6] ALICAT SCIENTIFIC, INCORPORATED. *Operating Manual: Precision gas mass flow controllers*. 22. vyd. Tucson, 2011.
- [7] MKS INSTRUMENTS. PR 4000B-F: *2 Channel power supply and readout for flow and pressure*. Mnichov, 2010.
- [8] MKS INSTRUMENTS. MKS Baratron Typ 627D: *Absolute pressure Transducer*. 7. vyd. Mnichov, 2010.
- [9] PAPOUCH S.R.O. *Quido USB: Katalogový list. 2013* [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: [http://www.papouch.com/cz/shop/product/quido-usb-8-8-vstupy-a-rele-s-usb/quido-usb/\\_downloadFile.php](http://www.papouch.com/cz/shop/product/quido-usb-8-8-vstupy-a-rele-s-usb/quido-usb/_downloadFile.php)

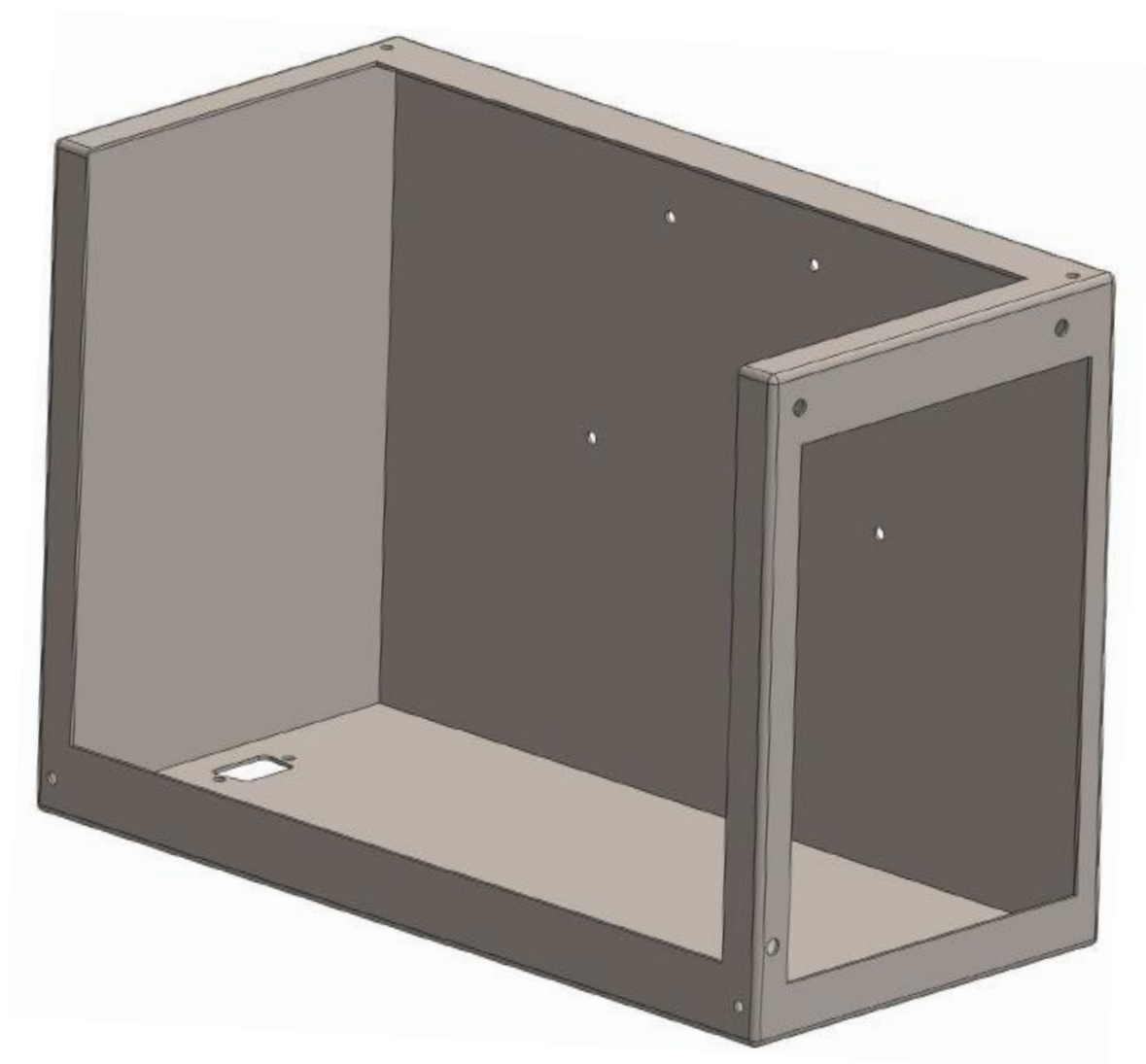
# Seznam zkratek

|          |                                                                                                  |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ACK      | Acknowledge, kód potvrzení příjmu dat                                                            |
| ASCII    | American standart code for information interchange, americký standartní kód pro výměnu informací |
| COM port | Serial port, sériový port                                                                        |
| CSR code | Command status response code, status příchozí odpovědi v podobě kódu                             |
| RS232    | Serial port, sériový port                                                                        |
| sccm     | Standard Cubic Centimeter per Minute, Standardní kubický centimetr                               |
| USB      | Universal serial bus, univerzální sériová sběrnice                                               |

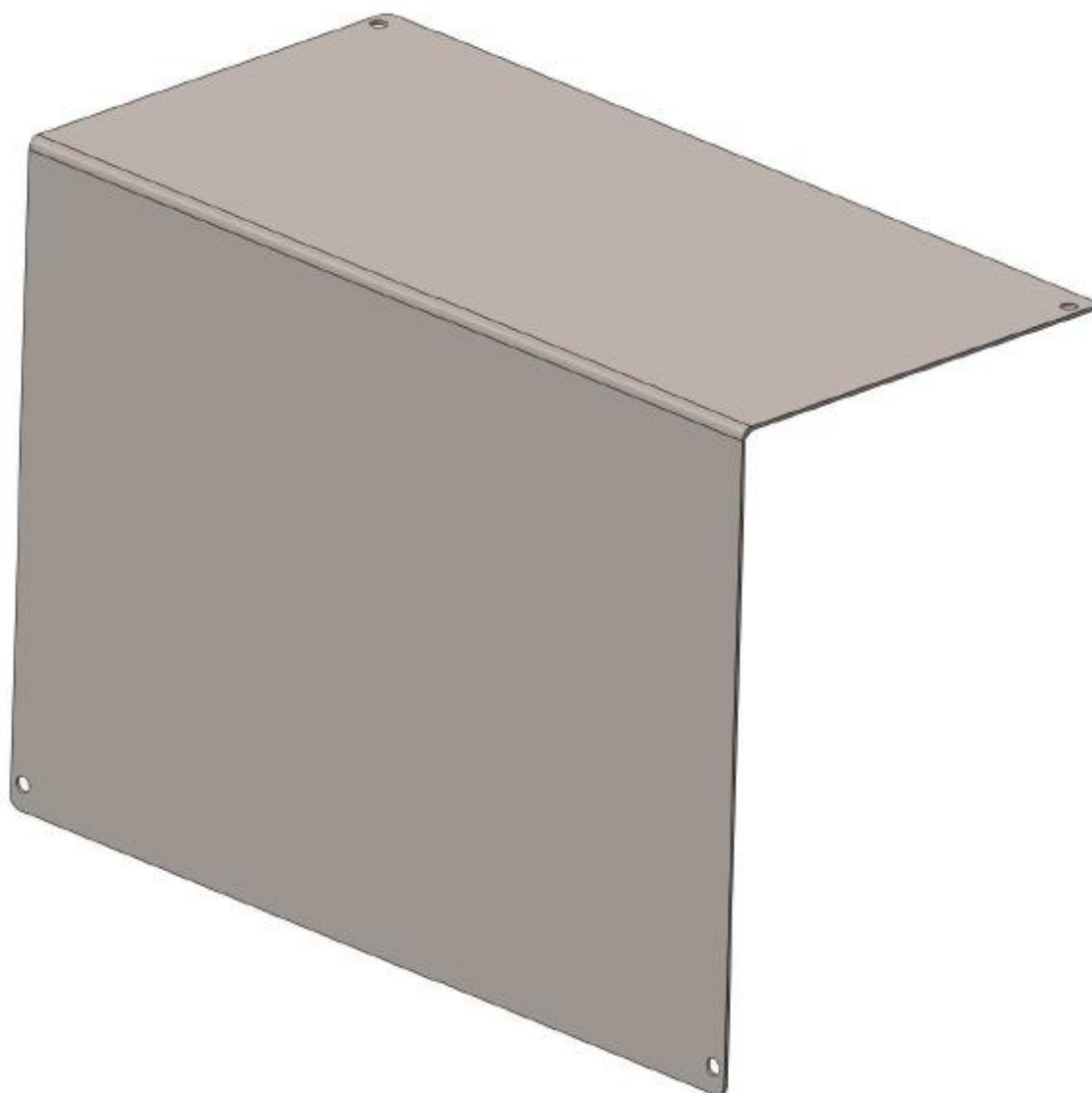
# Seznam příloh

|           |                                                        |           |
|-----------|--------------------------------------------------------|-----------|
| <b>A.</b> | <b>Navržený model krabíčky pro stykače.....</b>        | <b>59</b> |
| <b>B.</b> | <b>Navržený model víka krabíčky pro stykače .....</b>  | <b>60</b> |
| <b>C.</b> | <b>Navržený model držáku motorku .....</b>             | <b>61</b> |
| <b>D.</b> | <b>Navržený model víka původní krabíčky .....</b>      | <b>61</b> |
| <b>E.</b> | <b>Sestava navržených modelů .....</b>                 | <b>62</b> |
| <b>F.</b> | <b>Deska plošného spoje pro ovládání motorku .....</b> | <b>63</b> |
| F. 1.     | Schéma zapojení .....                                  | 63        |
| F. 2.     | Filmová předloha.....                                  | 63        |
| F. 3.     | Osazovací plánec.....                                  | 64        |
| F. 4.     | Celkový návrh .....                                    | 64        |
| F. 5.     | Seznam součástí .....                                  | 65        |
| <b>G.</b> | <b>Propojovací deska pro zapojení ventilů.....</b>     | <b>66</b> |
| G. 1.     | Schéma zapojení .....                                  | 66        |
| G. 2.     | Filmová předloha.....                                  | 66        |
| G. 3.     | Osazovací plánec.....                                  | 67        |
| G. 4.     | Celkový návrh .....                                    | 67        |
| G. 5.     | Seznam součástí .....                                  | 67        |
| <b>H.</b> | <b>Vysokofrekvenční filtr .....</b>                    | <b>68</b> |
| H. 1.     | Schéma zapojení .....                                  | 68        |
| H. 2.     | Filmová předloha.....                                  | 68        |
| H. 3.     | Osazovací plánec.....                                  | 69        |
| H. 4.     | Celkový návrh .....                                    | 69        |
| H. 5.     | Seznam součástí .....                                  | 70        |
| <b>I.</b> | <b>Schéma zapojení ventilů regulátorů průtoku.....</b> | <b>71</b> |
| <b>J.</b> | <b>Schéma zapojení stykačů pro generátory .....</b>    | <b>71</b> |

### **A. Navržený model krabičky pro stykače**



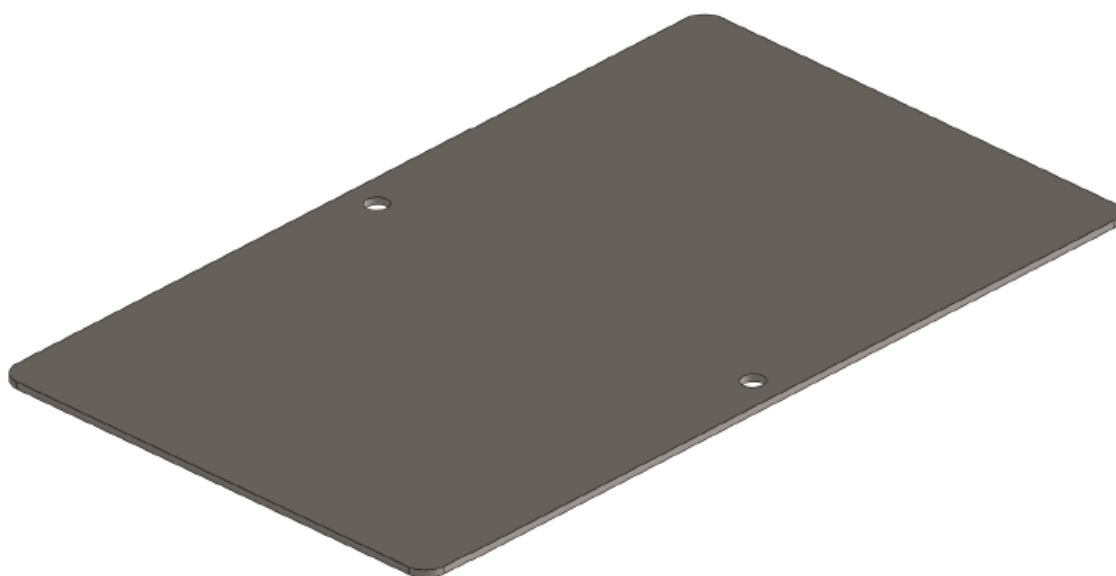
## **B. Navržený model víka krabičky pro stykače**



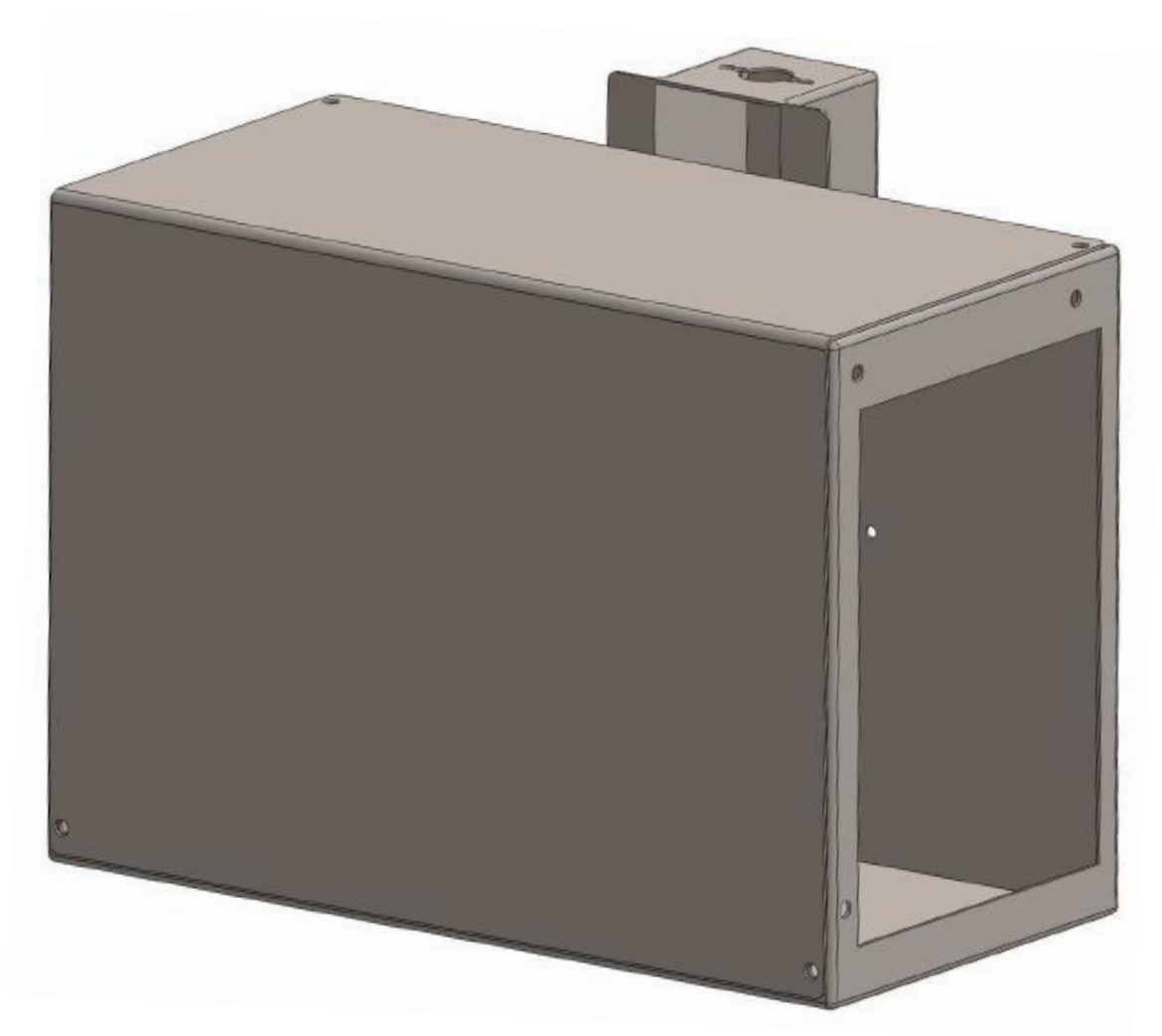
### **C. Navržený model držáku motorku**



### **D. Navržený model víka původní krabičky**

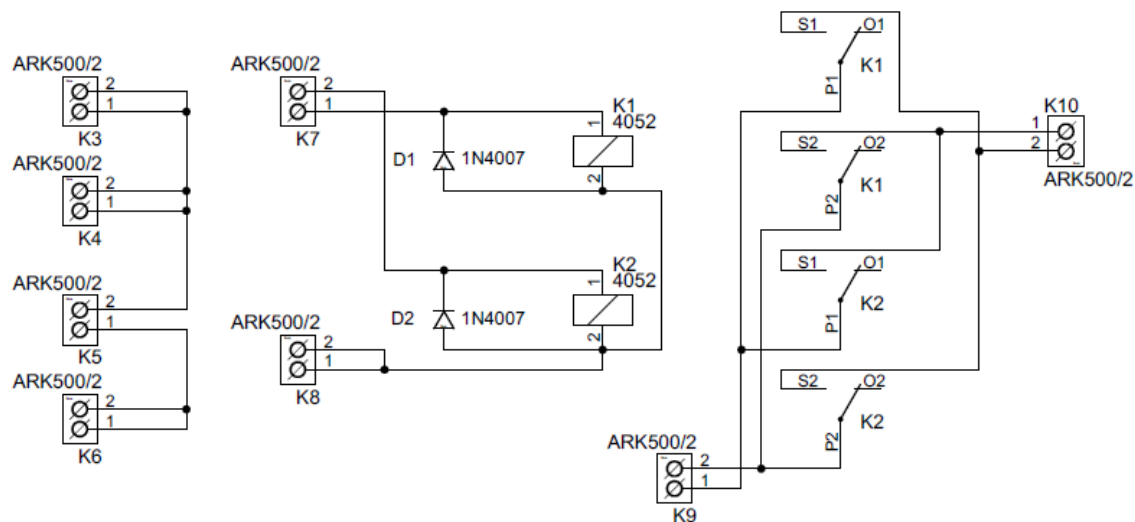


## **E. Sestava navržených modelů**

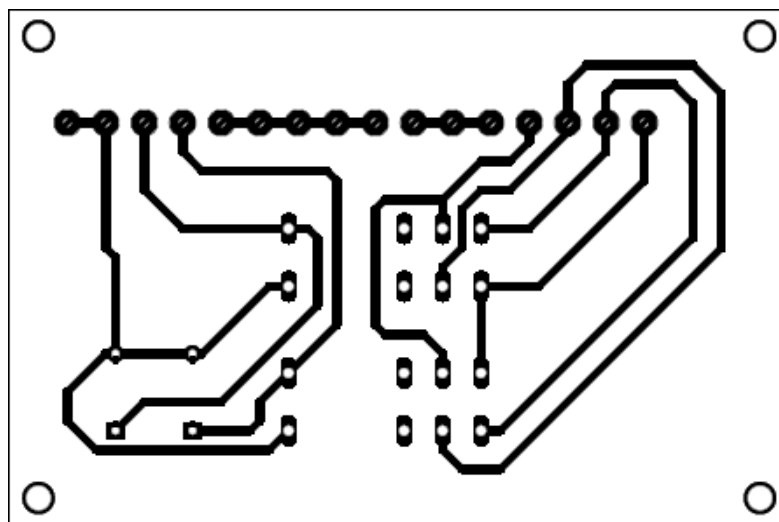


## F. Deska plošného spoje pro ovládání motorku

### F. 1. Schéma zapojení

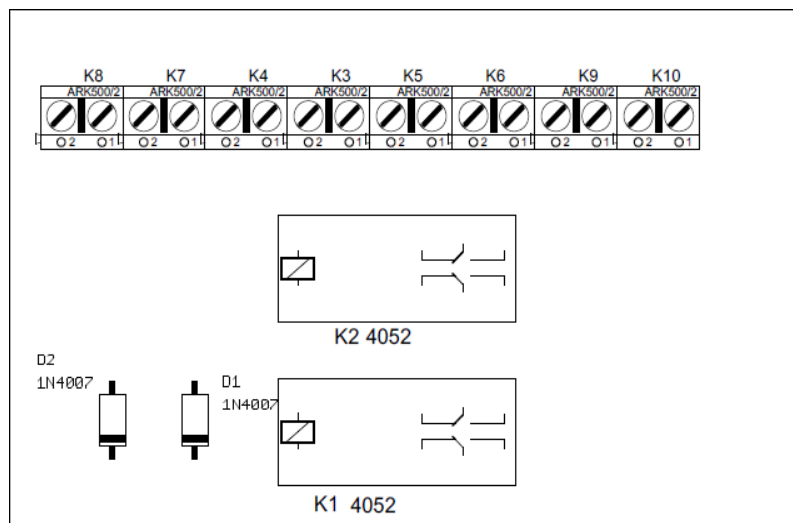


### F. 2. Filmová předloha



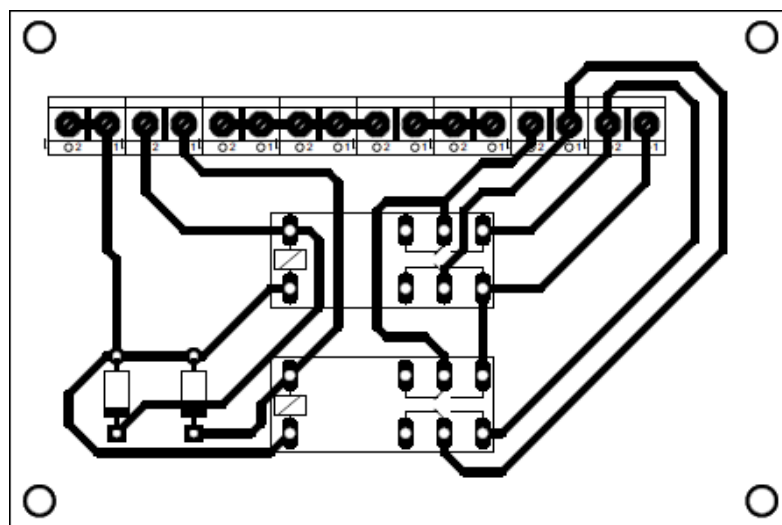
Rozměry desky 103 x 69 [mm], měřítko M 1:1

### F. 3. Osazovací plánek



Rozměry desky 103 x 69 [mm], měřítko M 1:1

### F. 4. Celkový návrh



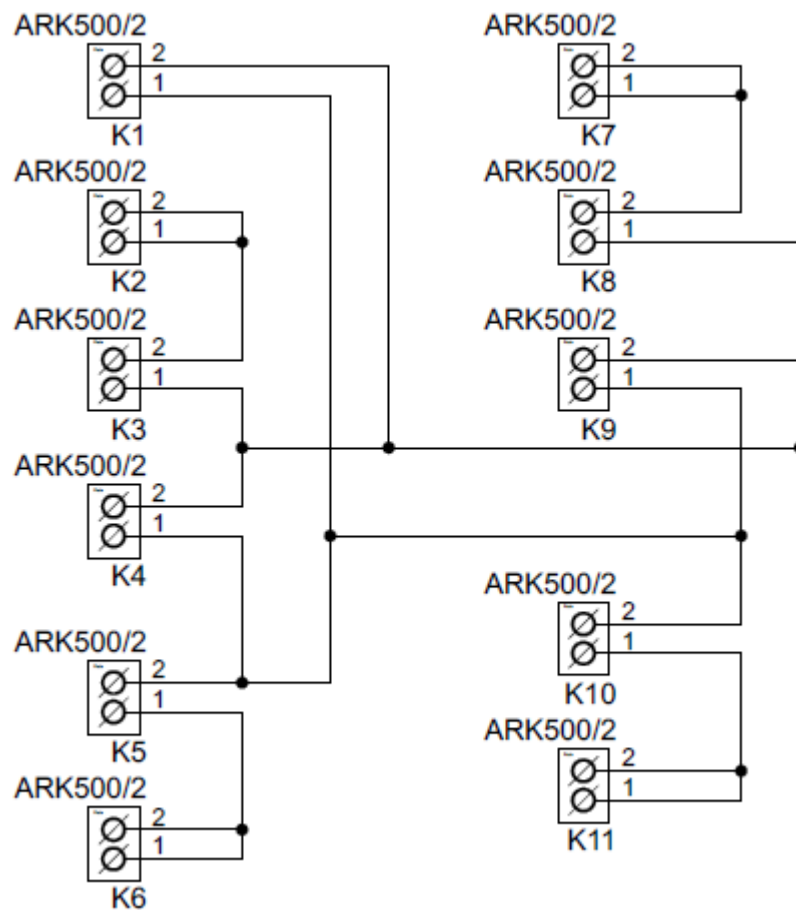
Rozměry desky 103 x 69 [mm], měřítko M 1:1

**F. 5.        Seznam součástek**

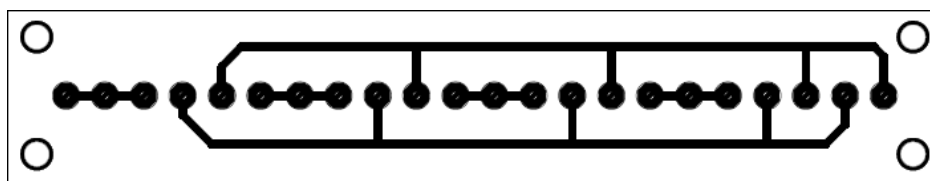
| Označení | Hodnota  | Pouzdro    | Popis                       |
|----------|----------|------------|-----------------------------|
| D1       | 1N4007   | DO41       | Usměrňovací dioda           |
| D2       | 1N4007   | DO41       | Usměrňovací dioda           |
| K1       | 4052     | 40.5X      | Patice pro relé s DC cívkou |
| K2       | 4052     | 40.5X      | Patice pro relé s DC cívkou |
| K3       | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice      |
| K4       | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice      |
| K5       | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice      |
| K6       | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice      |
| K7       | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice      |
| K8       | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice      |
| K9       | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice      |
| K10      | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice      |

## G. Propojovací deska pro zapojení ventilů

### G. 1. Schéma zapojení

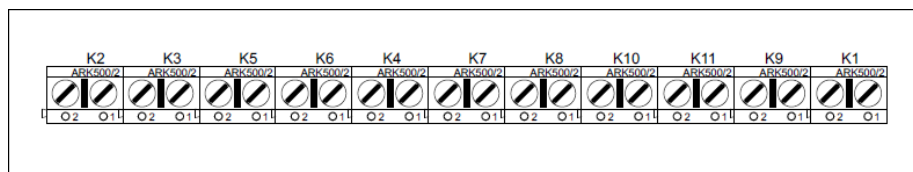


### G. 2. Filmová předloha



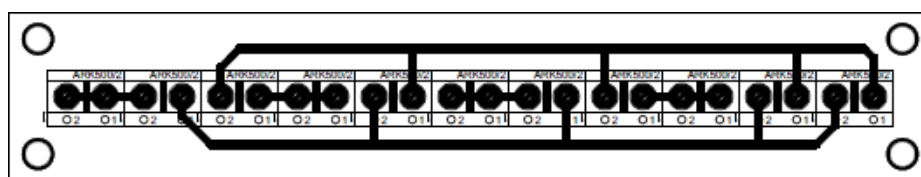
Rozměry desky 122 x 23 [mm], měřítko M 1:1

### G. 3. Osazovací plánec



Rozměry desky 122 x 23 [mm], měřítko M 1:1

### G. 4. Celkový návrh



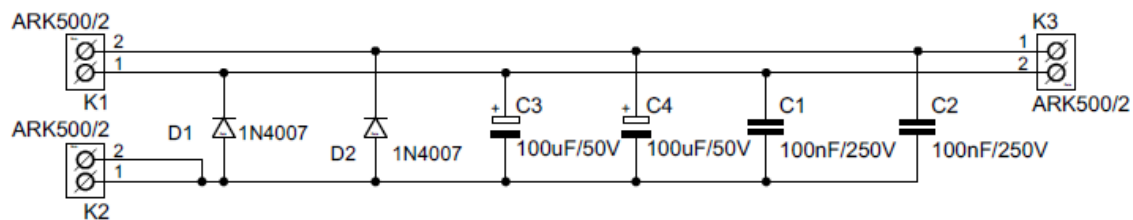
Rozměry desky 122 x 23 [mm], měřítko M 1:1

### G. 5. Seznam součástek

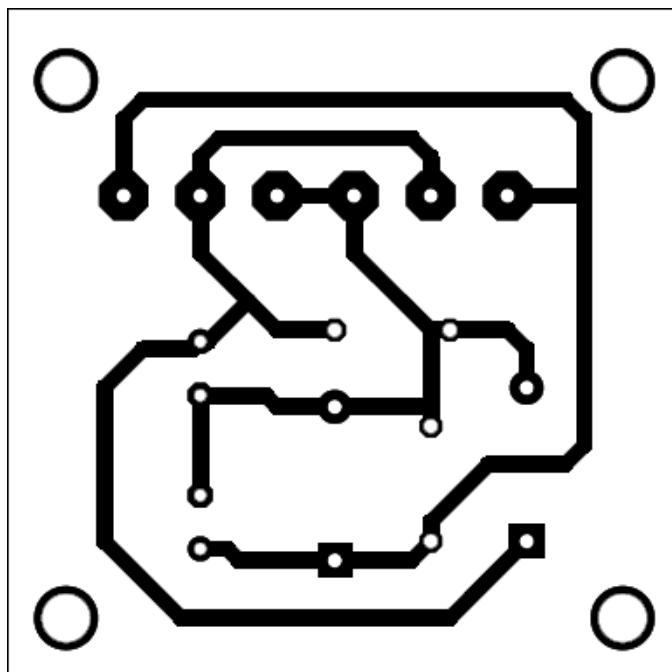
| Označení | Hodnota  | Pouzdro    | Popis                  |
|----------|----------|------------|------------------------|
| K1       | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice |
| K2       | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice |
| K3       | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice |
| K4       | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice |
| K5       | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice |
| K6       | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice |
| K7       | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice |
| K8       | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice |
| K9       | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice |
| K10      | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice |
| K11      | ARK500/2 | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice |

## H. Vysokofrekvenční filtr

### H. 1. Schéma zapojení

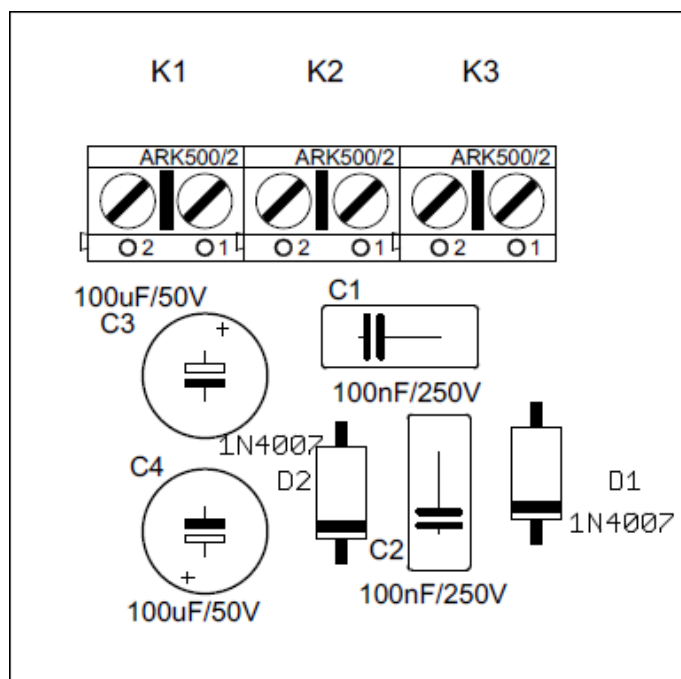


### H. 2. Filmová předloha



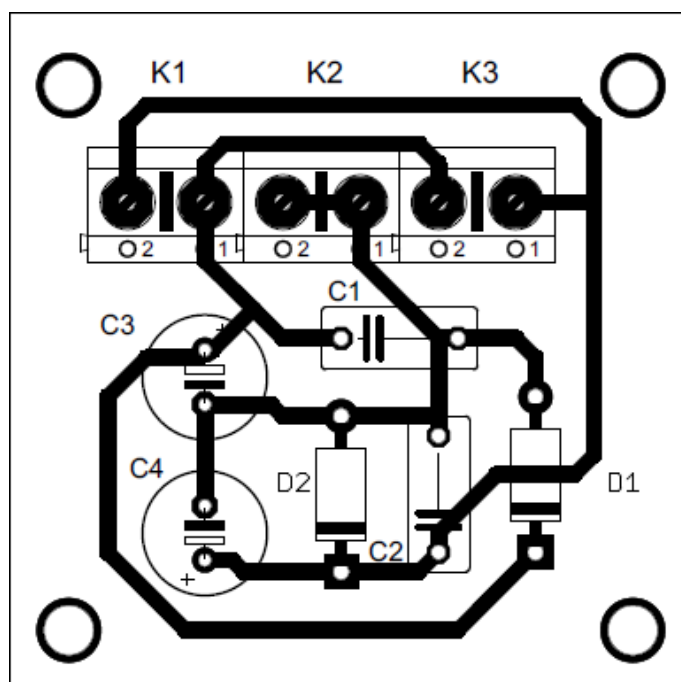
Rozměry desky 45 x 45 [mm], měřítko M 2:1

### H. 3. Osazovací plánek



Rozměry desky 45 x 45 [mm], měřítko M 2:1

### H. 4. Celkový návrh

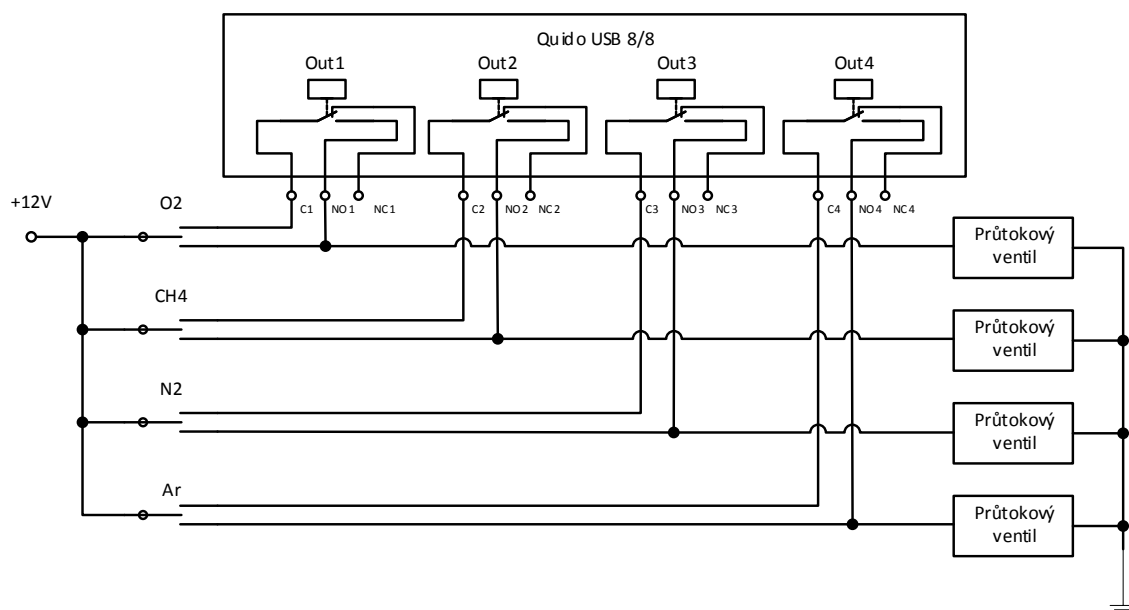


Rozměry desky 45 x 45 [mm], měřítko M 2:1

## H. 5. Seznam součástek

| Označení | Hodnota    | Pouzdro    | Popis                      |
|----------|------------|------------|----------------------------|
| C1       | 100nF/250V | UL 94 V-0  | Fóliový kondenzátor (PET)  |
| C2       | 100nF/250V | UL 94 V-0  | Fóliový kondenzátor (PET)  |
| C3       | 100uF/50V  | E3,5-8     | Elektrolytický kondenzátor |
| C4       | 100uF/50V  | E3,5-8     | Elektrolytický kondenzátor |
| D1       | 1N4007     | DO41       | Usměrňovací dioda          |
| D2       | 1N4007     | DO41       | Usměrňovací dioda          |
| K1       | ARK500/2   | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice     |
| K2       | ARK500/2   | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice     |
| K3       | ARK500/2   | ARK210/2EX | Šroubovací svorkovnice     |

## I. Schéma zapojení ventilů regulátorů průtoku



## J. Schéma zapojení stykačů pro generátory

