

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2020

JAN NOVOTNÝ



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY**

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

**ŘÍDICÍ SYSTÉM PRO ZAŘÍZENÍ VYUŽÍVAJÍCÍ  
OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE**

CONTROL SYSTEM FOR EQUIPMENT USING RENEWABLE ENERGY SOURCES

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Jan Novotný**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

ADVISOR

**Ing. Tomáš Beneš**

**BRNO 2020**





# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Jan Novotný

**ID:** 203306

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2019/20

**NÁZEV TÉMATU:**

## Řídicí systém pro zařízení využívající obnovitelné zdroje energie

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Cílem práce je navrhnout a vytvořit funkční vzorek zařízení využívající obnovitelné zdroje energie pro provoz v ostrovním režimu. Práce je ve spolupráci s firmou Elzaco. Součástí je elektrické schéma zapojení a obslužná aplikace pro PLC/mikrokontrolér.

1. Seznamte se možnostmi využití obnovitelných zdrojů energie pro provoz v ostrovním režimu.
2. Navrhněte řízení vodního generátoru na PLC/mikrokontroléru.
3. Vytvořte schéma elektrického zapojení.
4. Otestujte funkční vzorek/ky a porovnejte mezi sebou a s koncepčními řešeními dostupnými na trhu.

Práce je ve spolupráci s firmou Elzaco.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

DUŠIČKA, Peter, 2003. Malé vodní elektrárny. Bratislava: Jaga. ISBN 80-889-0545-1.

**Termín zadání:** 3.2.2020

**Termín odevzdání:** 8.6.2020

**Vedoucí práce:** Ing. Tomáš Beneš

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**  
předseda rady studijního programu

**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**

Práce se věnuje návrhu výkonové a řídicí elektroniky pro vodní mikrozdvoj pracující v ostrovní síti. V obecné části seznamuje čtenáře s problematikou obnovitelných zdrojů energií a popisuje komerčně vyráběné mikrozdvoje. V praktické části se bakalářská práce zabývá návrhem řídicího systému a výkonové elektroniky využívající vlastní řídicí systém nebo PLC pro řízení vodního mikrozdvoje. Při realizaci řídicího systému byly použity mikrokontroléry, ke kterým byla vytvořena programová část. Jsou diskutovány výhody navrženého řídicího systému proti komerčně vyráběným přístrojům a PLC.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

řídicí systém, mikrokontrolér, PLC, řízení, regulace, generátor, asynchronní motor, ostrovní síť

## **ABSTRACT**

The work deals with design of power and control electronics for water micro source in island network. In the general part the readers are acquainted with the issue of renewable energy sources and describes commercially produced micro sources. The practical part deals with the design of its own control system and power electronics using its own control system or PLC for water micro source. The microcontrollers were used for the implementation of the control system, for which the program part was created.

## **KEYWORDS**

control system, microcontroller, PLC, control, regulation, generator, asynchronous motor, isolated network

NOVOTNÝ, Jan. *Řídicí systém pro zařízení využívající obnovitelné zdroje energie*. Brno, 2020, 100 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Beneš

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Řídicí systém pro zařízení využívající obnovitelné zdroje energie“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/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.

Brno ..07.06.2020..

.....

podpis autora

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji firmě ELZACO spol. s r.o., která mi nabídla zázemí pro vývoj a materiální podporu. Dále bych rád poděkoval Ing. Tomáši Benešovi a Ing. Jakobovi Streitovi za jejich cenné rady.

Brno ..07.06.2020..

.....

podpis autora

# Obsah

<b>Zadání projektu</b>	<b>11</b>
Požadavky firmy ELZACO spol s.r.o. k zadání projektu . . . . .	11
<b>Úvod</b>	<b>13</b>
<b>1 Obnovitelné zdroje pro výrobu elektřiny</b>	<b>14</b>
1.1 Sluneční energie . . . . .	14
1.2 Větrná energie . . . . .	14
1.3 Geotermální energie . . . . .	15
1.4 Biopaliva . . . . .	15
1.5 Vodní energie . . . . .	16
1.5.1 Rozdělení vodních elektráren . . . . .	16
<b>2 Generátory</b>	<b>17</b>
2.1 Synchronní generátor . . . . .	17
2.2 Asynchronní motor (generátor) . . . . .	17
2.3 Asynchronní generátor v ostrovním režimu . . . . .	18
2.3.1 Zapojení buzení asynchronního generátoru . . . . .	18
2.3.2 Zapojení C2C pro buzení asynchronního generátoru . . . . .	18
2.4 Sítě elektrické energie v ostrovním režimu . . . . .	19
<b>3 Porovnání komerčně vyráběných generátorů pro ostrovní síť</b>	<b>20</b>
3.1 Fotovoltaické elektrárny . . . . .	20
3.2 Benzinové centrály . . . . .	20
3.3 Vodní mikrozdroje . . . . .	21
<b>4 Porovnání zapojení pro asynchronní generátor</b>	<b>22</b>
4.1 Zapojení s třemi výstupními fázemi . . . . .	22
4.2 Zapojení s jednou výstupní fází . . . . .	24
<b>5 Realizace silové části</b>	<b>25</b>
5.1 Princip realizace . . . . .	25
5.2 Návrh silové části elektrárny . . . . .	25
5.3 Návrh měřících jednotek (převodníků) . . . . .	26
5.3.1 Měření frekvence . . . . .	27
5.3.2 Měření otáček . . . . .	28

<b>6</b>	<b>Návrh řízení pomocí PLC</b>	<b>31</b>
6.1	Výběr PLC . . . . .	31
6.2	Programování PLC . . . . .	32
<b>7</b>	<b>Návrh řízení pomocí mikrokontroléru</b>	<b>33</b>
7.1	Výběr mikrokontroléru . . . . .	33
7.1.1	ATTiny88 . . . . .	33
7.1.2	Programovací prostředí Atmel Studio 7.0 . . . . .	33
7.2	Realizace návrhu . . . . .	33
7.2.1	KICAD . . . . .	34
7.2.2	Funkce řídicí desky . . . . .	34
<b>8</b>	<b>Návrh vlastního řídicího systému</b>	<b>36</b>
8.1	Digitální vstupy - DI . . . . .	36
8.2	Rychlé digitální vstupy - FDI . . . . .	36
8.3	Digitální výstupy - DO . . . . .	38
8.4	Analogové vstupy - AI . . . . .	38
8.5	Analogové výstupy - AO . . . . .	38
8.6	Měření napětí . . . . .	39
8.7	Měření proudu . . . . .	40
8.8	Napájení . . . . .	46
8.9	Ostatní periferie . . . . .	46
8.10	Realizace . . . . .	48
8.10.1	Možné vylepšení řídicího systému . . . . .	49
<b>9</b>	<b>Software</b>	<b>51</b>
9.1	Program pro vlastní řídicí systém . . . . .	51
9.2	Obslužná aplikace . . . . .	51
<b>10</b>	<b>Regulace</b>	<b>53</b>
10.1	Limity regulace . . . . .	53
10.2	Identifikace soustavy . . . . .	53
10.3	Modelační schéma . . . . .	53
<b>11</b>	<b>Měření regulované soustavy</b>	<b>55</b>
11.1	Regulace pomocí vlastního řídicího systému . . . . .	55
11.2	Regulace pomocí PLC . . . . .	58
11.3	Měření na reálné soustavě . . . . .	59
<b>12</b>	<b>Závěr</b>	<b>65</b>

<b>Literatura</b>	<b>66</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>68</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>70</b>
<b>A Schémata zapojení</b>	<b>71</b>
A.1 Zapojení displeje na řídicím systému . . . . .	71
A.2 Zapojení snímače otáček (enkodéru) . . . . .	72
<b>B Elektronická příloha CD</b>	<b>73</b>
<b>C Schéma zapojení rozvaděčů</b>	<b>74</b>

# Seznam obrázků

1.1	Koncentrační sluneční elektrárna v Kalifornii, USA . . . . .	14
2.1	Zapojení budících kondenzátorů do trojúhelníku pro asynchronní generátor . . . . .	18
2.2	Zapojení třífázového asynchronního generátoru s jednou výstupní fází pojmenované C2C [8] . . . . .	19
3.1	Vodní turbína SETUR . . . . .	21
4.1	Závislost napětí na zatížení při zvolené kapacitě . . . . .	22
4.2	Závislost napětí na reálném výkonu při zvolené kapacitě . . . . .	23
4.3	Závislost napětí a otáček na zatěžování . . . . .	23
4.4	Závislost napětí a otáček na zatěžování . . . . .	24
5.1	Blokové schéma zapojení rozvaděče . . . . .	26
5.2	Sestava vyrobených rozvaděčů . . . . .	27
5.3	Zapojení převodníku frekvence . . . . .	27
5.4	Zapojení převodníku frekvence . . . . .	28
5.5	Převodník frekvence . . . . .	28
5.6	Senzor otáček . . . . .	29
6.1	Programovací prostředí UniLogic od firmy UNITRONICS . . . . .	32
7.1	KiCad . . . . .	34
8.1	Zapojení digitálního vstupu . . . . .	36
8.2	Zapojení rychlého digitálního vstupu . . . . .	37
8.3	Zapojení galvanického oddělení rychlého digitálního vstupu . . . . .	37
8.4	Zapojení digitálních výstupů . . . . .	38
8.5	Zapojení analogového vstupu . . . . .	39
8.6	Zapojení ADC pro analogové vstupy . . . . .	39
8.7	Zapojení analogového výstupu . . . . .	40
8.8	Zapojení DAC pro analogové výstupy . . . . .	40
8.9	Zapojení ADC a děliče pro měření napětí . . . . .	41
8.10	Zapojení galvanicky odděleného napětí pro měření napětí . . . . .	41
8.11	Zapojení lineárního stabilizátoru pro napájení digitální části převodníku . . . . .	41
8.12	Zapojení obvodu pro měření proudu . . . . .	42
8.13	Zapojení INA225 . . . . .	43
8.14	Zapojení napájecí části pro INA225 . . . . .	44
8.15	Zapojení galvanického oddělení pro volbu zesílení s INA225 pomocí ISO7720 . . . . .	44
8.16	Zapojení ADC pro měření výstupu z INA225 . . . . .	45
8.17	Zapojení napájecí části pro ADC pro měření proudu . . . . .	45
8.18	Zapojení galvanického oddělení komunikace s ADC pomocí ISO7741 . . . . .	46



8.19	Zapojení měniče z 24 V na 3,3 V . . . . .	46
8.20	Zapojení externího RTC zálohovaného baterií . . . . .	47
8.21	Zapojení konektoru USB s ochranou . . . . .	48
8.22	Zapojení konektoru SD karty s ochranou . . . . .	48
8.23	Zapojení napájení SD karty . . . . .	49
8.24	Zapojení enkodéru s tlačítkem . . . . .	49
8.25	Osazený řídicí systém . . . . .	50
8.26	Řídicí systém umístěný v testovacím rozvaděči . . . . .	50
9.1	Obslužná aplikace pro vlastní řídicí systém . . . . .	52
10.1	Modelové schéma systému . . . . .	54
10.2	Modelové schéma regulátoru . . . . .	54
11.1	Měřený průběh regulovaných otáček při zatěžování externí zátěží . . . . .	56
11.2	Detail měřeného průběhu regulovaných otáček při zatěžování . . . . .	56
11.3	Měřený průběh regulovaných otáček při zatěžování s potlačením šumu PSD regulátoru . . . . .	57
11.4	Detail měřeného průběhu regulovaných otáček při zatěžování s potla- čením šumu PSD regulátoru . . . . .	58
11.5	Měřený průběh regulovaných otáček při zatěžování se změnou para- metrů PSD regulátoru . . . . .	59
11.6	Detail měřených otáček z obrázku 11.5 . . . . .	60
11.7	Detail napětí a frekvence z měření zobrazeného na obrázku 11.6 . . . . .	60
11.8	Měřený průběh regulovaných otáček při zatěžování se změnou para- metrů PSD regulátoru s PLC . . . . .	61
11.9	Turbína s generátorem na vybrané lokalitě . . . . .	62
11.10	Rozvaděč řízení na vybrané lokalitě . . . . .	62
11.11	Měřený průběh regulovaných otáček při zatěžování na dané lokalitě . . . . .	63
11.12	Detail přechodových jevů z obrázku 11.11 . . . . .	63
11.13	Měřený průběh regulované frekvence při zatěžování na dané lokalitě . . . . .	64
11.14	Detail přechodových jevů z obrázku 11.13 . . . . .	64
A.1	Zapojení displeje . . . . .	71
A.2	Zapojení enkodéru . . . . .	72

## Zadání projektu

Cílem práce je navrhnout a vytvořit funkční vzorek zařízení využívající obnovitelné zdroje energie pro provoz v ostrovním režimu. Práce je realizována ve spolupráci s firmou Elzaco. Součástí je elektrické schéma zapojení a obslužná aplikace pro PLC/mikrokontrolér.

- Seznamte se s možnostmi využití obnovitelných zdrojů energie pro provoz v ostrovním režimu.
- Navrhněte řízení vodního generátoru na PLC/mikrokontroléru.
- Vytvořte schéma elektrického zapojení.
- Otestujte prototypy řešení a porovnejte je mezi sebou a s koncepčními řešeními dostupnými na trhu.

## Požadavky firmy ELZACO spol s.r.o. k zadání projektu

Vodní mikrozdroj bude tvořen neregulační vodní turbínou s asynchronním generátorem. Výkon turbíny bude v krátkodobém časovém měřítku konstantní. V delším časovém měřítku se však může výkon turbíny v určité míře měnit v závislosti na okamžitých provozních podmínkách (kolísání spádu, zanesení turbíny apod.). Jako generátor bude použit běžný 3-fázový asynchronní motor o výkonu  $2,2 \text{ kW}$  s otáčkami  $n = 1420 \text{ min}^{-1}$  buzený pomocí připojených kondenzátorů. Zapojení generátoru bude jednofázové. Zařízení bude navrženo tak, aby při jmenovitých otáčkách a zatížení turbíny bylo dosaženo jmenovitých hodnot napětí sítě, tj. napětí  $230 \text{ V}$  a frekvence  $50 \text{ Hz}$ .

Cílem řešení je navrhnout řídicí jednotku, která bude zajišťovat plně automatický provoz vodního mikrozdroje. Řídicí jednotka (dále ŘJ) bude změnou balastní zátěže udržovat stálé zatížení generátoru a tím i elektrické parametry sítě (napětí a frekvenci) ve stanovených mezích. Balastní zátěž bude plynule regulovatelná a její řízení nesmí způsobit zkreslení křivky napětí ani vř rušení v ostrovní síti mimo povolené meze. Vedle řízení balastní zátěže musí ŘJ obsahovat obvody zajišťující bezpečnost proti úrazu elektrickým proudem, ochrany proti přetížení a zkratu v síti a nastavitelnou ochranu proti provozu při nedovolených parametrech sítě (přepětí, podpětí, frekvenční parametry). ŘJ by měla zajistit při skokových změnách zátěže minimálně obdobné regulační schopnosti jaké jsou stanoveny pro benzinové centrály normou ČSN ISO 8528-5 pro třídu výkonnosti G2. Základní charakteristiky napájecího napětí v ustáleném stavu by měly odpovídat normě ČSN EN 50160.

Hlavní důraz při vytváření projektu by měl být kladen na jeho cenu a jednoduchou obsluhu, jelikož vodní mikrozdroj chceme exportovat do zemí třetího světa,

kde je cena rozhodujícím faktorem. Projekt by měl zajistit lepší návratnost ceny v porovnání s benzínovou elektrocentrálou.

# Úvod

V dnešní době je elektrická energie součástí každodenního života a život bez ní si nedokážeme představit. Málokdo ale ví, co za výrobou elektrické energie stojí a jedině, co je pro spotřebitele důležité, je její cena.

Nejdůležitějším faktorem výroby elektrické energie je tedy především její výsledná cena (náklady na zařízení, údržbu, cena paliva a další faktory) a její ekologičnost. Cílem je tedy snaha produkovat energii z obnovitelných zdrojů v co největší míře tak, aby docházelo k co nejmenší zátěži životního prostředí. V této práci se budu zabývat náhradou benzínové elektrocentrály která je přenosná a cenově dostupná v místech bez přístupu k veřejné síti.

Projekt je zadán firmou ELZACO spol. s r.o.. V zadání od firmy je úkolem vytvořit řízení vodního mikrozdroje za přijatelnou cenu. Dalším požadavkem je jednoduchost obsluhy, jelikož finální výrobek by měl být exportován hlavně do zemí třetího světa. Úkolem je vytvořit elektrickou část řízení asynchronního generátoru pracujícího v ostrovní síti. Ve fázi vývoje bude turbína nahrazena řízeným pohonem s momentovou charakteristikou podobnou uvažované turbíně. Tato soustava bude odolnější vůči nedostatkům řízení. Další fází bude testování řízení s turbínou na vybrané lokalitě. Tato práce se zabývá jen návrhem vlastního řídicího systému a rozvaděče pro vodní mikrozdroj. Součástí této práce je i seznámení se s možnostmi využití obnovitelných zdrojů energie.

Asynchronní generátor byl vybrán z důvodu nižších nákladů vůči jiným generátorům. K řízení mikrozdroje budou v práci použity dva typy řídicích systémů: systém založený na PLC a nově navržený systém využívající mikrokontrolér. Pro řízení pomocí mikrokontroléru je nutné provést kompletní obvodový návrh, navrhnout desku plošných spojů a její oživení. Pro oba typy řídicích systémů bude nutné navrhnout řídicí programy. Následně bude možné porovnat výsledky měření řízení a ekonomickou náročnost obou řídicích systémů..

Práce bude rozdělena na dvě části:

- Teoretickou část, ve které budou popsány jednotlivé principy získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů.
- Praktickou část, která je zaměřena na návrh silové a řídicí elektroniky.

# 1 Obnovitelné zdroje pro výrobu elektřiny

## 1.1 Sluneční energie

Sluneční energie se přeměňuje na elektřinu převážně pomocí fotovoltaických článků, které generují stejnosměrný proud. Pro přenos energie do distribuční sítě je zapotřebí fotovoltaických měničů, které stejnosměrný proud mění na střídavý. Tento způsob výroby elektrické energie vyžaduje velký prostor pro realizaci a je závislý na denním světle.

Vedle fotovoltaických elektráren jsou provozovány solárně-termální elektrárny, někdy označované jako koncentrační solární elektrárny. Tyto koncentrační solární elektrárny pracují na obdobném principu jako tepelné elektrárny. Zdrojem tepla je sluneční záření koncentrované pomocí zrcadel do jednoho místa, kde se ohřívá voda (mohou to být i jiná média, jako olej nebo soli) a vyprodukovaná pára následně pohání běžnou parní turbínu.



Obr. 1.1: Koncentrační sluneční elektrárna v Kalifornii, USA [7]

## 1.2 Větrná energie

Větrné elektrárny se staví zejména pro velké výkony z hlediska porovnání účinnosti, zisku a nákladů. Závisí na vhodných přírodních podmínkách a lokalitě. Hojně se staví pole větrných elektráren na vodní ploše moře. Malé větrné elektrárny se již využívají jako zdroj energie v ostrovních sítích, mají ale stále nevýhody velkých větrných elektráren, kterými je závislost na povětrnostních podmínkách.

Nemají zásadní negativní dopad na životní prostředí, jsou však zdrojem hluku (mechanický - ze stroje s převodovkou a natáčení listů rotoru, aerodynamický

- z proudění vzduchu okolo listů rotoru), stroboskopický efekt, kdy listy zastiňují přilehlá místa a může negativně působit na obyvatelstvo. Staví se často v místech, kde mají negativní vliv na krajinný ráz, čímž narušují vzhled přírody. Z hlediska dopadu na životní prostředí je problémový hluk, který může rušit netopýry a velké druhy ptáků, jako jsou čápi, labutě, husy, kachny a někteří dravci. Pro ptáky může být rozhodující i srážka s větrnou elektrárnou, ovšem je to řádově nižší počet srážek než lesklé plochy, prosklené budovy, automobilový provoz, domestikované kočky a fosilní paliva.[2]

### 1.3 Geotermální energie

Využívá se páry získané ze zemského povrchu, kde následně pára pohání turbínu pro výrobu elektrické energie. Tento zdroj tepla se může použít přímo jako zdroj tepla v domácnostech. Takto získaná energie je závislá na poloze, jelikož geotermální zdroje jsou sice všude, ale pouze ve výjimečných případech vyvěrají tyto zdroje na povrch a jejich získávání je atraktivní, jinak se musí provádět hlubinné vrty pro získání k přístupu tohoto zdroje.

V rámci teploty geotermálního zdroje můžeme rozlišit dle využití: [2]

- Nízkoteplotní (do 100 °C) využitelné tepelnými čerpadly nebo přímo jako zdroj tepla.
- Středně teplotní (od 100 do 150 °C) využitelné přímo pro vytápění, nebo výrobu elektrické energie.
- Vysokoteplotní (nad 150 °C) pro výrobu elektrické energie turbínovým soustrojím.
- Supertepelní, tlakové (zatím ve stadiu výzkumu).

### 1.4 Biopaliva

Elektrina z biopaliv se získává spalováním plynu získaného přeměnou biomasy. Takto získaný plyn lze upravit na kvalitu zemního plynu a může být i distribuován rozvody plynu do domácností. Zvyšování produkce biomasy má konkurenci při výrobě biomasy k potravinářským účelům[2]. Může se použít i zbytková biomasa při výrobě v potravinářském zpracování, kdy pro potravinářské zpracování se použije pouze určitá část. Např. při výrobě oleje lisováním vznikají pokrutiny, které se dají nadále spalovat.

Tento způsob je neefektivní a není příliš šetrný k životnímu prostředí. Spekuluje se, zda je vůbec ekologičtější než fosilní paliva, jelikož na její výrobu je zapotřebí mnoho vody, energie na sklizení a při jejím pěstování se používají pesticidy, které

zamoří spodní vody. Spalováním bionafty se produkuje mnohem více zplodin, než spalováním nafty získané krakováním ropy.

## 1.5 Vodní energie

Elektrická energie při použití vodních zdrojů využívá potenciální energii spádu. Voda tedy pohání vodní turbínu, která je spřažena s generátorem buď napřímo nebo přes převodovku, jelikož ne vždy má turbína svoji nejlepší efektivitu ve stejných otáčkách jako generátor. Vodní energie je ideální pro nahrazení benzínových centrál pro výrobu energie. Není tedy možné ji umístit všude, ale poměrem cena/velikost/výkon vychází nejlépe.

Výhoda potenciálu vody spočívá v její nevyčerpatelnosti v rámci koloběhu vody v přírodě. Neprodukuje žádný odpad který by znečišťoval okolí. Vodní elektrárna dokáže rychle reagovat na změnu požadované výroby elektrické energie. Náklady na provoz jsou velmi malé a nevyžaduje spousty zaměstnanců pro provoz.

Vodní elektrárny mají ale také nevýhody, hlavně co se týče architektonické výstavby na vodním toku, ovlivňování přírodního průtoku vody, hluchost, ohrožení živočichů a průchodnost ryb, změna kvality vody a způsobení segmentace na dně přehrad a ovlivnění břehových prostorů [2].

### 1.5.1 Rozdělení vodních elektráren

Hlavní rozdělení vodních elektráren je dle jejich výkonu:

- mikro zdroje - do 10kW
- malé - do 10 MW (MVE)
- střední - do 100 MW
- velké - nad 100 MW

Dále je můžeme rozdělit dle spádu:

- nízkotlaké - spád do 20 m
- středotlaké - spád 20 až 100 m
- vysokotlaké - spád nad 100 m

Nebo podle využití vodního toku:

- průtokové
- přečerpávací
- akumulární
- přílivové

## 2 Generátory

Tato kapitola popisuje základní vlastnosti generátorů pro použití v mikrozdrojích.

### 2.1 Synchronní generátor

Synchronní generátory jsou základním typem generátorů používaných v elektrárnách větších výkonů a také v elektrocentrálách poháněných spalovacími motory. Synchronní generátory mají na rotoru navinuto budicí vinutí, jehož magnetické pole při otáčení rotoru indukuje ve statorovém vinutí napětí. Frekvence indukovaného napětí odpovídá otáčkám rotoru a proto synchronní generátory zapojené paralelně s distribuční sítí pracují vždy při tzv. synchronních otáčkách odpovídajících přesně frekvenci nadřazené sítě.

Synchronní generátor má proti asynchronnímu generátoru několik výhod, které jsou však kompenzovány vyšší cenou. Může být snadno provozován v ostrovní síti bez použití budicích kapacit a dodávat výkon přímo do zátěže. Díky budicímu vinutí je schopen regulovat výstupní napětí. Tato technologie je známa jako AVR z anglického „Automatic Voltage Regulator“. Tohoto se hlavně využívá při ostrovním režimu a také při připojování generátorů k distribuční síti (fázování), kde se musí zajistit, že efektivní napětí, sled fází, frekvence a okamžité napětí budou shodná s distribuční sítí, jinak se může stát, že se generátor přetíží vlivem vyrovnávacích proudů.

### 2.2 Asynchronní motor (generátor)

Asynchronní generátory jsou nejpoužívanějším typem generátorů u malých vodních elektráren až do výkonu stovek kW. Jedná se v podstatě o asynchronní motor s kotvou nakrátko, jehož princip funkce je založen na elektromagnetické indukci. Na rotoru motoru je umístěna klec, která tvoří závit nakrátko. Statorová vinutí připojená k 3-fázové síti vytvářejí točivé magnetické pole, které v kleci rotoru indukuje proud. Reakce magnetických polí statoru a rotoru pak vytváří moment rotoru. Proud v rotoru se může indukovat pouze v případě, že se klec rotoru pohybuje vůči točivému magnetickému poli statoru. Asynchronní motor tak vždy pracuje s tzv. skluzem, tedy při otáčkách nižších než odpovídají otáčkám točivého pole statorového vinutí. Pokud vnější silou donutíme rotor otáčet se vyššími otáčkami, než jsou otáčky statorového točivého pole (tzv. nadsynchronní otáčky), dojde ke změně směru toku činné energie a z motoru se stává generátor. I v generátorickém režimu však asynchronní stroj odebírá ze sítě jalovou energii potřebnou pro vybuzení magnetického pole statoru.



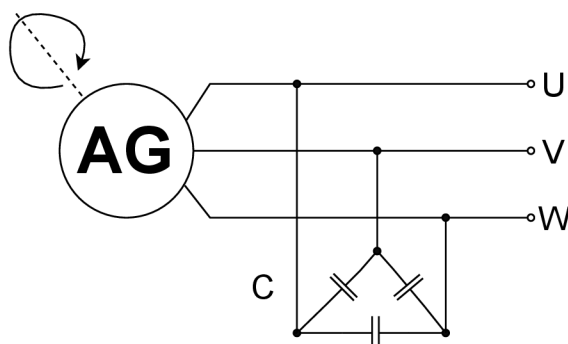
## 2.3 Asynchronní generátor v ostrovním režimu

Jak plyne z konstrukce asynchronního motoru (popsány jsou v kapitole 2.2), asynchronní generátor potřebuje pro svoji funkci jalovou energii. V případě ostrovního režimu se využívá jev zvaný „samovybuzení“ asynchronního generátoru pomocí paralelně připojených kondenzátorů. Generátor pak funguje díky remanentní (zbytkové) magnetizaci v jeho rotoru. Tato remanentní magnetizace způsobuje generování harmonického „malého“ napětí v řádech jednotek V, které se následně využije pro vytvoření magnetizačního proudu. Pomocí vhodně zvolených kapacit kondenzátorů jimi začne protékat proud, který se bude podílet na vytvoření magnetického indukčního toku[3].

Buzení asynchronního generátoru dělíme na pasivní (pomocí kondenzátorů) a aktivní (pomocí polovodičových prvků). Tato práce se nadále zabývá pouze pasivním buzením asynchronního generátoru.

### 2.3.1 Zapojení buzení asynchronního generátoru

Pro buzení asynchronního generátoru v ostrovní síti mohou být použity kondenzátory v zapojení do hvězdy, či trojúhelníku. Pokud se použije zapojení do trojúhelníku (obrázek 2.1), je možné použít kondenzátory s třetinovou kapacitou, než v zapojení do hvězdy[11]. V zapojení do trojúhelníku se eliminuje vznik třetí harmonické složky.

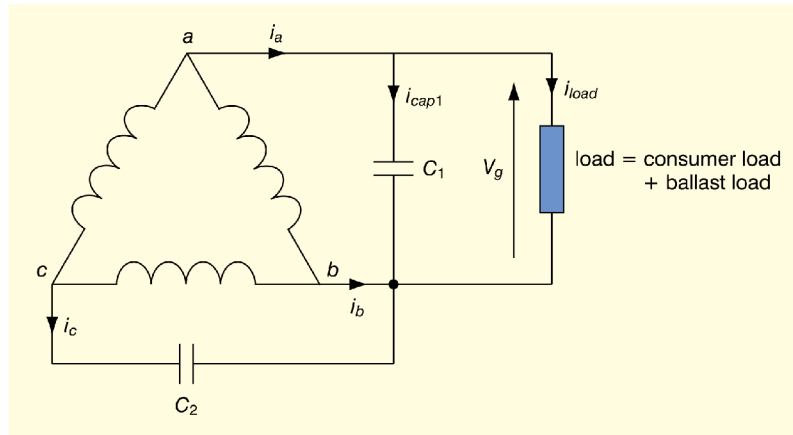


Obr. 2.1: Zapojení budících kondenzátorů do trojúhelníku pro asynchronní generátor

### 2.3.2 Zapojení C2C pro buzení asynchronního generátoru

Na obrázku 2.2 je zapojení trojfázového asynchronního generátoru pro ostrovní režim s jednou výstupní fází. Toto zapojení je pojmenováno dle poměrů kapacit. Pomocí tohoto zapojení lze dosáhnout 80 % jmenovitého výkonu generátoru[8]. Menší využití tohoto zapojení nevadí, jelikož dojde k zjednodušení zapojení, protože u třífázového

řešení musí být vše třikrát a v rámci vyráběného výkonu se počítá s jednofázovými zařízeními a případné připojení třífázového motoru pomocí FM. U tohoto zapojení je nutné hlídat směr otáčení generátoru, jinak proudy procházejícím vinutím nebudou stejně velké. Budicí kapacita  $C_1$  je dána vztahem 2.1 a budicí kapacita  $C_2$  je podle 2.2. Ve vztazích je vypočítána teoretická kapacita pro zvolený generátor (2,2 kW,  $U_{\Delta} = 230\text{ V}$ ) zhruba s 80 % výstupním výkonem.



Obr. 2.2: Zapojení třífázového asynchronního generátoru s jednou výstupní fází pojmenované C2C [8]

$$C_1 = \frac{V_g \cdot i_{load}}{\sqrt{3} \cdot V_g^2 \cdot \omega} = \frac{2200}{\sqrt{3} \cdot 230^2 \cdot \omega} \doteq 76,4 \mu F \quad (2.1)$$

$$C_2 = 2 \cdot C_1 = 152,8 \mu F \quad (2.2)$$

Jelikož vypočítané hodnoty nejsou ve vyráběných řadách kondenzátorů, byl zvolen kondenzátor  $C_1 = 80 \mu F$  a  $C_2 = 160 \mu F$ .

## 2.4 Síť elektrické energie v ostrovním režimu

Provoz sítí v ostrovním režimu pro vodní mikro zdroje není nikde stanoven, proto bude využito normy ČSN ISO 8528-5, která určuje parametry pro provoz benzínových elektrocentrál.

Hlavní rozdíl mezi ostrovní a veřejnou sítí je v jednotlivých tolerancích jak napětí, tak frekvence i jejich časového působení.

## 3 Porovnání komerčně vyráběných generátorů pro ostrovní síť

Kapitola 3 popisuje možnosti a porovnání aktuálně nabízených zařízení a technologií.

### 3.1 Fotovoltaické elektrárny

Jedná se nyní o nejrozšířenější výrobu elektřiny, která je schopná ostrovního režimu za rozumnou cenu, kde „stačí“ pořídit solární panely a fotovoltaický měnič. Fotovoltaika je závislá na denním světle, ročním období a na aktuálním počasí. V závislosti na velikosti plochy potřebné k výstavbě neposkytuje nejlepší výkon. Může se však využít i ploch střech, či jinak zabraných ploch efektivně nevyužitých. Pro příklad v létě vyrobený výkon může být  $8 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$  a v zimě vyrobený výkon může klesnout na  $3 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$ . [2]. Pro využití elektrické energie i v době, kdy není dostatek slunečního světla se využívá energie uložené v bateriích. Ty ovšem navyšují pořizovací cenu a jejich kapacita je omezená.

Pro porovnání je uveden příklad od firmy SOLIDSUN[1], která nabízí přímo sety fotovoltaických elektráren. Při instalovaném výkonu  $2,2 \text{ kWp}$  mají uvedenou roční výrobu až  $2500 \text{ kWh}$  a nabízí baterie s kapacitou  $3,554 \text{ kWh}$  a cenu této sestavy mají nastavenou na  $179\,000 \text{ Kč}$ . V případě elektrárny s celkovým výkonem  $3,65 \text{ kWp}$  je uvedená roční výroba až  $4000 \text{ kWh}$  a baterie s kapacitou  $4,8 \text{ kWh}$  je cena  $235\,000 \text{ Kč}$ . V České republice je ovšem možné zažádat o dotace a pořizovací cena bude tedy nižší. Uvedené ceny jsou platné k 18.12.2019.

Firma SOLIDSUN udává cenu  $4 \text{ Kč}$  za  $1 \text{ kWh}$ .

### 3.2 Benzínové centrály

Benzínové centrály jsou rozšířené v místech, kde lze snadno přemístit zdroj elektrické energie a je zapotřebí menších rozměrů a velkého špičkového výkonu (např. stavby). Dlouhodobý provoz benzínových centrál je však velmi nákladný.

Ceny benzínových elektrocentrál jsou mnohem příznivější, než pořizovací cena fotovoltaických elektráren. Pořizovací cena nezahrnuje cenu potřebného paliva pro provoz. Na trhu se pohybují nejlevnější benzínové elektrocentrály s výkonem do  $2,2 \text{ kW}$  s cenou okolo  $5\,000 \text{ Kč}$ .

Pokud budeme počítat s životností benzínové elektrocentrály  $5\,000$  motohodin, pořizovací cenou  $5\,000 \text{ Kč}$ , spotřebou  $2 \frac{\text{l}}{\text{h}}$ , cenou benzínu  $27 \frac{\text{Kč}}{\text{l}}$  a výkonem  $2,2 \text{ kW}$ , bude cena za  $1 \text{ kWh}$  činit zhruba  $25,5 \text{ Kč}$ .

### 3.3 Vodní mikrozdroje

Vodní mikrozdroje nejsou příliš rozšířené a jako komerční výrobu ji takřka nenajdeme. Výrobky na trhu často ani nepřesahovali výkon 1 kW. Některé firmy se zabývají výrobou na zakázku, ale těchto výrobců je málo.

Doc. Ing. Miroslav Sedláček, CSc. z Pražského ČVUT vynalezl bezlopatkovou turbínu SETUR[10], která je navržena pro malé spády a průtoky. Výkonově jsou tyto turbíny navrženy v řádech desítek Wattů až jednotek kW. Na trhu nebyl nalezen žádný prodejce a při kontaktování firem, které se zabývali distribucí těchto turbín bylo zjištěno, že pro malý zájem se tento typ turbín nevyrábí. Nepodařilo se zjistit, jestli se někdo zabýval použitím těchto turbín pro ostrovní využití s parametry, které ukládá norma pro provoz ostrovních sítí pro benzínové elektrocentrály ČSN ISO 8528-5.



Obr. 3.1: Vodní turbína SETUR[10]

Jelikož není na trhu žádná komerčně vyráběná turbína, tak cena mikroturbíny o výkonu  $2,2 \text{ kW}$  byla odhadnuta na  $100\,000 \text{ Kč}$ . Abychom mohli přepočítat pořizovací cenu a provozní náklady na cenu za  $1 \text{ kWh}$  musíme určit životnost, která je odhadována minimálně na 20 let. Při nepřetržitém provozu bude cena  $0,6 \frac{\text{Kč}}{\text{kWh}}$ .

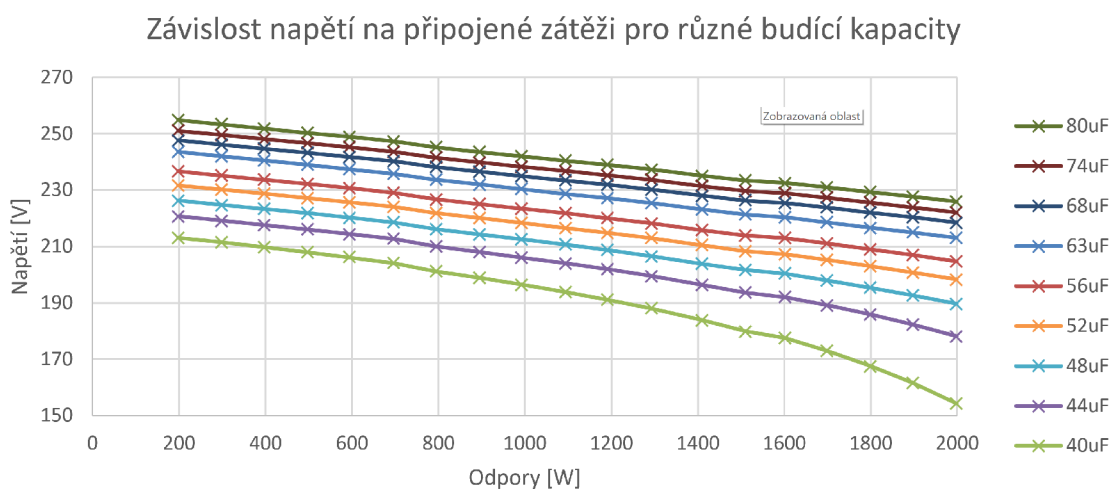
## 4 Porovnání zapojení pro asynchronní generátor

V rámci přístupu k jiné zakázce ve firmě ELZACO spol. s r.o. byla možnost využít rozvaděče umožňující změřit zatěžovací charakteristiky pro asynchronní generátor v ostrovním zapojení s třemi výstupními fázemi. Pro měření zapojení s jednou výstupní fází byl použit rozvaděč vlastní výroby popsany v kapitole 5.2.

### 4.1 Zapojení s třemi výstupními fázemi

#### Změna kapacity

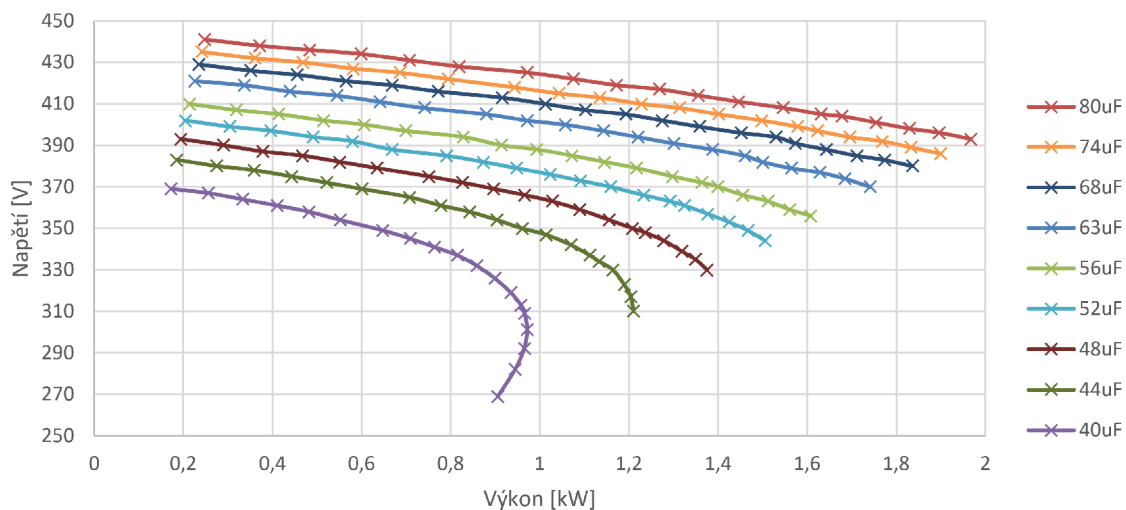
Na obrázku 4.1 je vyobrazena závislost napětí generátoru na připojené zátěži (představuje výkon odporníků při jmenovitém napětí). Obrázek 4.2 vyobrazuje závislost napětí na reálném výkonu, kde každý bod představuje různý zatěžovací odpor. Tyto charakteristiky byly měřeny při konstantních otáčkách. Kapacity uvedené u grafů odpovídají kapacitě jednoho kondenzátoru při zapojení do hvězdy.



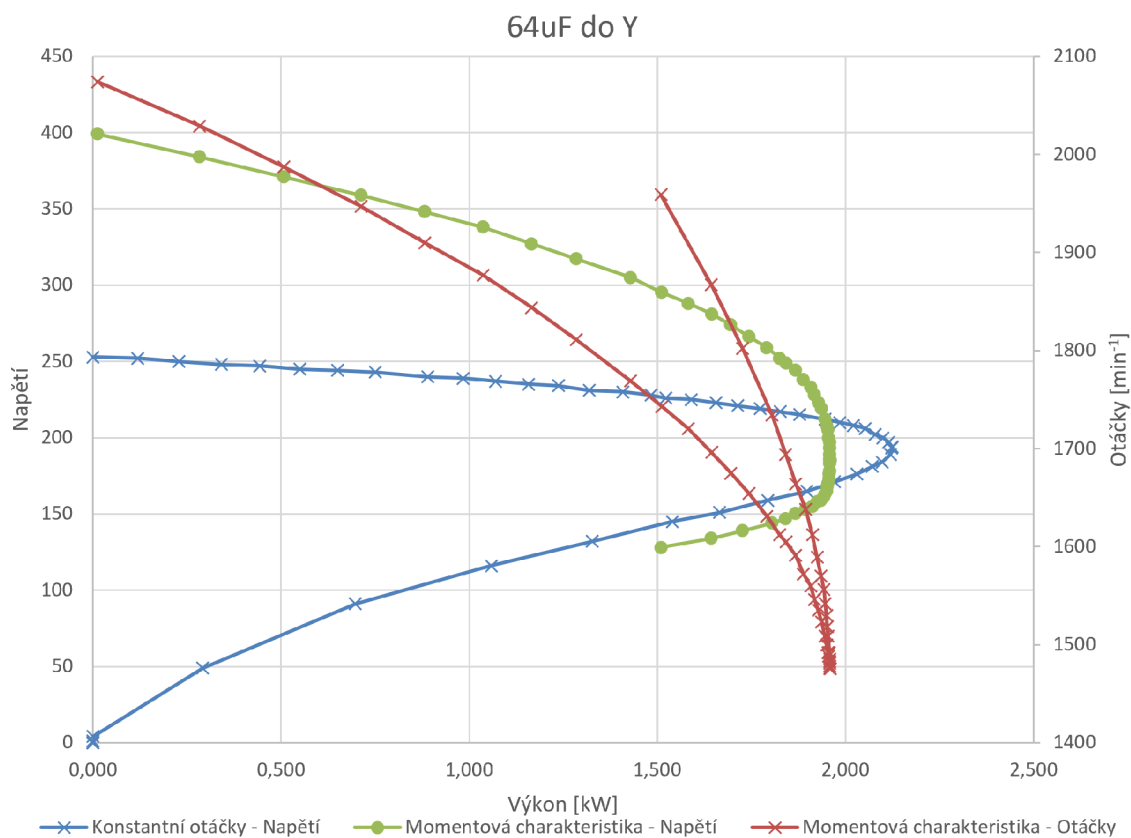
Obr. 4.1: Závislost napětí na zatížení při zvolené kapacitě

#### Zatěžovací charakteristika

Na obrázku 4.3 je zatěžovací charakteristika generátoru s konstantními otáčkami a s proměnnými otáčkami odpovídajícími momentové charakteristice turbíny. Měření probíhalo s jednou kapacitou ( $64 \mu F$  v zapojení do hvězdy). Napětí vynesené v grafu je sdružené napětí.



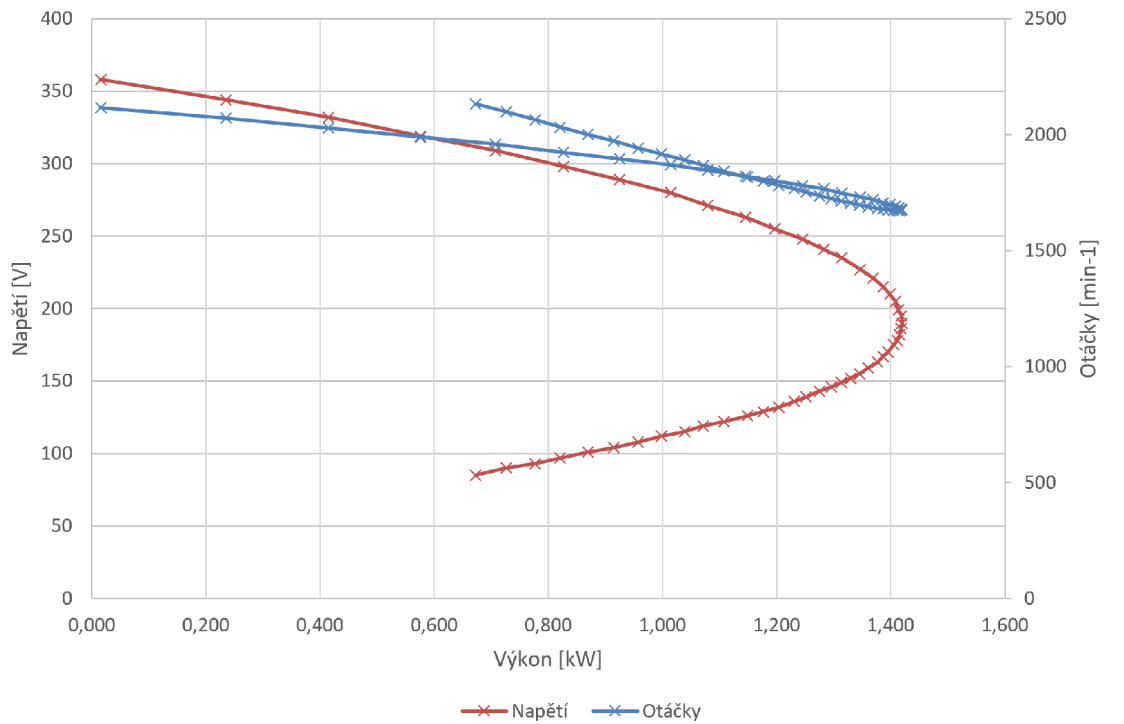
Obr. 4.2: Závislost napětí na reálném výkonu při zvolené kapacitě



Obr. 4.3: Závislost napětí a otáček na zatěžování

## 4.2 Zapojení s jednou výstupní fází

Na obrázku 4.4 je zatěžovací charakteristika generátoru s momentovou charakteristikou čerpadlové turbíny. Měření probíhalo s jednou kapacitou ( $50 \mu F$  v zapojení C2C) a se stejnou momentovou charakteristikou, jako je tomu u obrázku 4.3.



Obr. 4.4: Závislost napětí a otáček na zatěžování

## 5 Realizace silové části

Kapitola 5 popisuje návrh a realizaci silového rozvaděče pro řízení asynchronního generátoru v ostrovní síti s vodní turbínou.

### 5.1 Princip realizace

Použitý princip řízení vychází ze skutečnosti, že výkon turbíny je při konstantním průtoku a spádu (neregulační turbína) přibližně stálý v okolí jmenovitých otáček. Konstantních otáček je dosaženo pomocí konstantního zatížení generátoru. Bude tedy využito takzvané balastní (umělé) zátěže, pomocí které je možné dosáhnout konstantního zatížení generátoru i v případě, kdy není připojena k výstupu zdroje žádná zátěž. Při změně užitečného zatížení (připojení externího přístroje) dojde k rozvážení výkonové bilance a dojde ke změně otáček. Turbína však může z provozních důvodů s časem měnit svůj výkon (změna spádu a průtoku) a pouhá regulace na konstantní výkon není dostatečná pro udržování provozních parametrů ostrovní sítě. Dalším faktorem řízení je výstupní napětí, které je u samobuzeného asynchronního generátoru závislé na velikosti budící kapacity a zatěžovací impedance. Při nevhodném návrhu budících kapacit bude znemožněna otáčková regulace z důvodu chování generátoru jako měkkého zdroje napětí a turbína se pak může dostat do průběžných otáček, což není vhodné pro dlouhou životnost mikrozdroje.

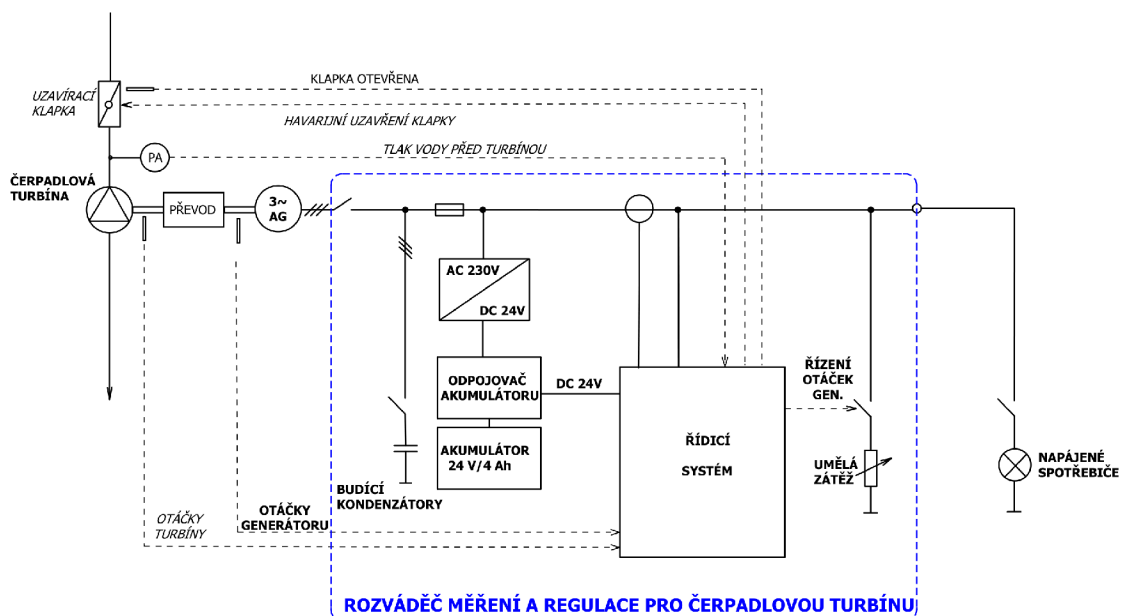
Parametry řízení pro vodní mikrozdroje nejsou definované v žádné normě, proto bude využita norma pro benzínové elektrocentrály ČSN ISO 8528-5 a z ní jednotlivé parametry pro přechodové jevy. Pro ustálený stav bude výstup zdroje porovnáván s parametry veřejné sítě určené v normě ČSN EN 50160 ed. 3.

### 5.2 Návrh silové části elektrárny

Na obrázku 5.1 je navržené blokové schéma zapojení celkové soustavy. Byla zvolena možnost s jednou výstupní fází s ohledem na požadavky firmy, jelikož pro koncového zákazníka nejsou požadovány tři výstupní fáze mikrozdroje a zjednoduší se tak i řešení nesouměrnosti zatížení jednotlivých fází a tedy i výsledný návrh. Při testování bude soustava turbína-generátor nahrazena soustavou motorgenerátor řízenou frekvenčním měničem s naprogramovanou momentovou charakteristikou turbíny (popsáno v kapitole 5.1) a řídicí systém bude umístěn v jiném rozvaděči, než silová část. Na straně 4 přílohy C začínající na straně 74 je blokové schéma odpovídající testovanému zapojení. Při koncovém návrhu bude rozvaděč optimalizován do kompaktnějších rozměrů.



Rozvaděč pro turbínu v rámci zkoušení je rozdělen do třech dílčích rozvaděčů, kde jeden obsahuje silovou část (stykače, napájení, budící kondenzátory, převodníky,...). Zbylé dva rozvaděče jsou použity pro řídicí systémy, kde jeden bude obsahovat řídicí systém s mikrokontrolérem a druhý bude se sériově vyráběným PLC. Výběr PLC je popsán v kapitole 6.1. Propojení mezi silovým a řídicím rozvaděčem je uskutečněno pomocí těžkých konektorů RockStar® od výrobce Weidmüller z řady HEE. Toto řešení bylo zvoleno z důvodu možnosti jednoduché záměny řídicího systému. Schéma zapojení je vloženo do přílohy C.



Obr. 5.1: Blokové schéma zapojení rozvaděče

Snaha o vylepšení životnosti a nižší ceny je zaměřena především na bezbateriový provoz, což klade nároky na rychlost náběhu řídicího systému a jeho pohotovost. Z tohoto důvodu je hlavně upřednostňován vlastní řídicí systém, u kterého může být náběh rychlejší než u sériově vyráběného PLC, u kterého je kladen nárok na dlouhodobý provoz a zapnutí modulárního PLC může být v řádech desítek sekund. V případě PLC s rychlým náběhem lze očekávat vyšší pořizovací náklady.

### 5.3 Návrh měřících jednotek (převodníků)

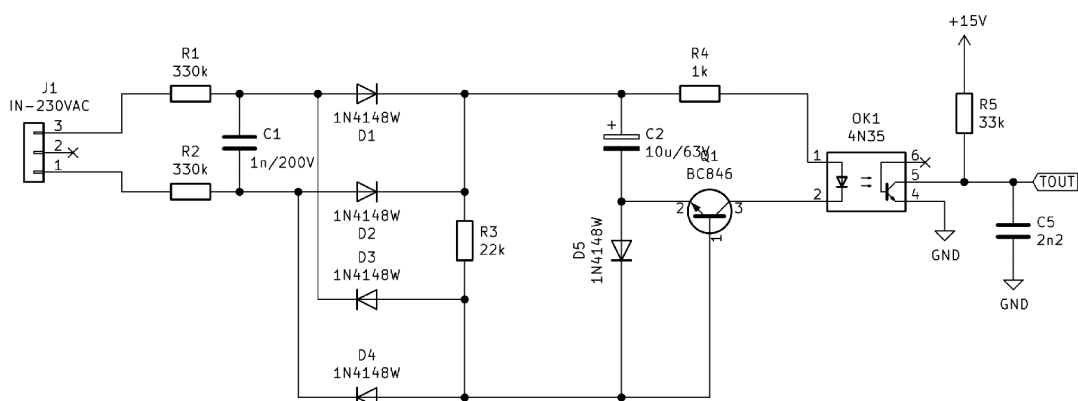
Pro potřebu měření určitých parametrů byly navrženy vlastní převodníky, jelikož převodníky dostupné na trhu byly příliš drahé nebo nevyhovující.



Obr. 5.2: Sestava vyrobených rozvaděčů

### 5.3.1 Měření frekvence

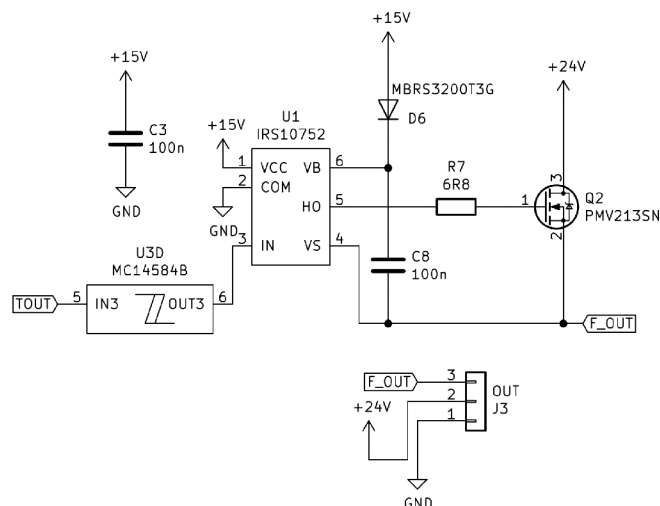
Jelikož PLC neumožňuje měřit síťové parametry, je potřebný analyzátor sítě či převodník. Převodníky frekvence dostupné na trhu jsou cenově nevyhovující a často mají pouze rozsah 45..55 Hz. Z tohoto důvodu byl navržen převodník síťové frekvence na obdélníkový signál 24 V o dvojnásobné frekvenci než je síťová (jedná se o detektor průchodu nulou).



Obr. 5.3: Zapojení převodníku frekvence: detektor nuly s galvanickým oddělením

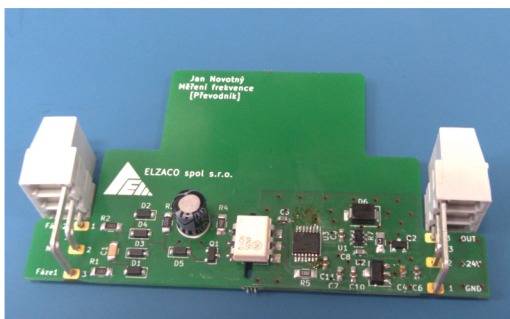
Převodník se skládá z usměrňovače, detektoru nulou [9], tvarovacího obvodu a výstupní logiky. Následně byl návrh umístěn do krabičky na DIN lištu.

Pro porovnání: Převodník síťové frekvence od firmy Rawet, který převádí síťovou



Obr. 5.4: Zapojení převodníku frekvence: digitální výstup převodníku

frekvenci  $45..55\text{ Hz}$  na proudový výstup  $4..20\text{ mA}$  (standardní průmyslový), stojí  $3190\text{ Kč}$  a jeho časová konstanta je  $300\text{ ms}$ . Realizovaný vlastní převodník frekvence stojí zhruba  $500\text{ Kč}$ . Dalším krokem může být přepracování výstupu např. s proudovým výstupem v rozsahu  $4..20\text{ mA}$  pro jednodušší implementaci pro PLC.



(a) Osazené PCB



(b) Provedení na DIN lištu

Obr. 5.5: Převodník frekvence

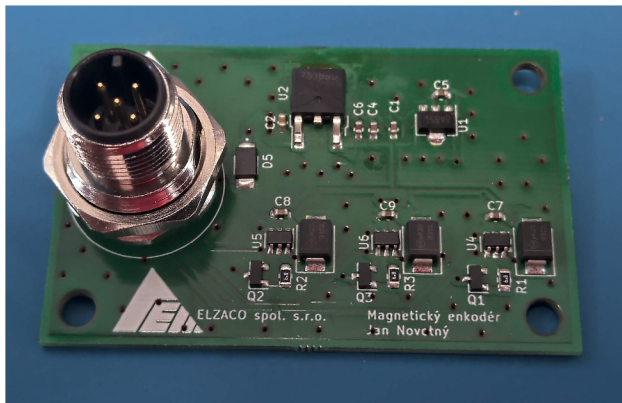
### 5.3.2 Měření otáček

Pro měření otáček soustrojí motorgenerátor stejně jako pro soustrojí turbína-generátor lze použít několik principů měření otáček. Jako nejvhodnější se nabízí měření indukčností senzorem nebo enkodérem.

Při použití indukčnostního senzoru je zapotřebí konstrukce pro uchycení senzoru ke generátoru, kde může být problém s uchycením kvůli převodům. Uchycení enkodéru k zadní straně generátoru je podstatně jednodušší. Průmyslové optické enkodéry jsou na trhu dostupné v ceně od 6000 Kč. Levnější variantou je magnetický enkodér, který se prodává jako integrovaný obvod, ke kterému je zapotřebí navrhnout PCB a výstupní periférie na 24 V. Byly vybrány snímače od firmy AMS a to AS5040 a AS5045B. Hlavní rozdíl mezi snímači je pouze v počtu impulsů na otáčku, jinak mají shodná pouzdra a jsou takto lehce zaměnitelné. Jedná se o bezkontaktní měření otáček, kde rotuje diametrálně pólovaný magnet, jehož magnetické pole vyhodnocuje čtveřice halových sond. O zpracování těchto signálů se stará přímo integrovaný obvod. Výstupem jsou signály stejné jako u inkrementálního snímače. Tyto snímače podporují i absolutní polohu, ale počet otáček motoru nemůže být příliš vysoký. Výrobce v technické dokumentaci udává maximálně  $600 \text{ min}^{-1}$  u snímání s absolutní polohou. U inkrementálního výstupu můžeme měřit otáčky motoru až do  $30000 \text{ min}^{-1}$ .

Pro uchycení osazeného PCB magnetického enkodéru (obrázek 5.6a) na generátor jsem zvolil uchycení pomocí plastové konstrukce vytištěné na 3D tiskárně (obrázek 5.6b).

Schéma zapojení převodníku je v příloze A.2 na straně 72.



(a) Osazené PCB



(b) Upevnění na generátor

Obr. 5.6: Senzor otáček

Pro správnou funkčnost obvodu IRS10752 je nutné zajistit na výstupu enkodéru nižší impedanci, než je u digitálních vstupů PLC (zhruba  $6 \text{ k}\Omega$ ), jinak při vyšších snímaných otáčkách (vyšší výstupní frekvence) nespíná obvod správně. Návrh tedy

bude následně přepracován a výstup s otevřeným kolektorem bude zaměněn za totemové zapojení, které bude řešeno např. obvodem DRV8313. Následně bude změněna krabička, která bude frézovaná z hliníku s důmyslnějším vzhledovým provedením. Další možnou úpravou je provedení jako u klasického optického enkodéru, jelikož u jiného typu motoru bude nejspíše i jiné provedení hřídele a bylo by tedy obtížné dosáhnout jednoduchého centrování magnetu proti snímajícímu čipu.

## 6 Návrh řízení pomocí PLC

Tato kapitola se zabývá výběrem a popisem vybraného PLC.

### 6.1 Výběr PLC

Jako výrobce PLC byla zvolena firma UNITRONICS, jelikož firma ELZACO spol. s r.o. nasazuje tyto PLC na vodní elektrárny a jsou výhodné z hlediska firemní politiky.

Firma UNITRONICS nabízí hlavně PLC „All-In-One“, tedy PLC, která mají HMI panel a IO přímo v jednom zařízení. Stará řada PLC Vision od UNITRONICS se rozlišuje dle typu displeje a paměti a následně se k nim nacevknou takzvaná „záda“, která obsahují IO. PLC je dále možné rozšířit o další IO pomocí externí sběrnice.

Nová řada UniStream je zcela přepracována. Nyní jsou PLC s různou velikostí displeje, k nimž je nutné zakoupit modul CPU a moduly IO jsou přidávány modulárně. Podle velikosti panelu jde přidat určité množství modulů. Další moduly je možné připojit přes rozšiřující komunikační modul a následně se moduly s IO skládají stejně jako na zadní straně panelu PLC.

Další možnost je zakoupení PLC s displejem a přesně daným počtem IO, případně další rozšíření IO je stejné jak v předchozím případě, tedy přes komunikační modul s připojenými modulárními bloky s IO. Toto řešení PLC je výhodné pokud výsledná aplikace obsahuje hodně ovládacích prvků umístěných na dveřích rozvaděče, jinak výsledný svazek vodičů, které je nutné vést z rozvaděče do dveří je objemný.

Nově firma UNITRONICS nabízí PLC a HMI zvláště, což je výhodnější pro tento návrh. Bylo vybráno PLC s označením USC-B5-T42, které nabízí 24 digitálních vstupů, 16 digitálních výstupů a 2 analogové vstupy. Dále bude k PLC přidán rozšiřující modul analogových IO s označením UIA-0402N, který má 4 analogové vstupy (vstup z převodníků napětí, proudu a výkonu) a 2 analogové výstupy, které budou v budoucnosti použity pro spojitě řízení zátěže. Jako HMI byl vybrán model s 5" displejem s označením USL-050-B05.

Z hlediska firemní logistiky byl výběr upraven na PLC s HMI US7-B10-T42, který má obdobné parametry jako vybraná sestava s USC-B5-T42. Dále je nutné doplnit PLC o komunikační modul pro rozšíření vzdálených IO a to UAG-CX-XKP300, ke kterému bude připojen modul analogových IO s označením UIA-0402N. Z důvodu omezené funkčnosti rychlých digitálních vstupů přímo na PLC jsou IO rozšířeny o modul UID-0808-THS, který má takzvané scénáře pro měření intervalu, tedy periodu signálu, což bude využito k měření frekvence či otáček s jedním impulsem na otáčku.

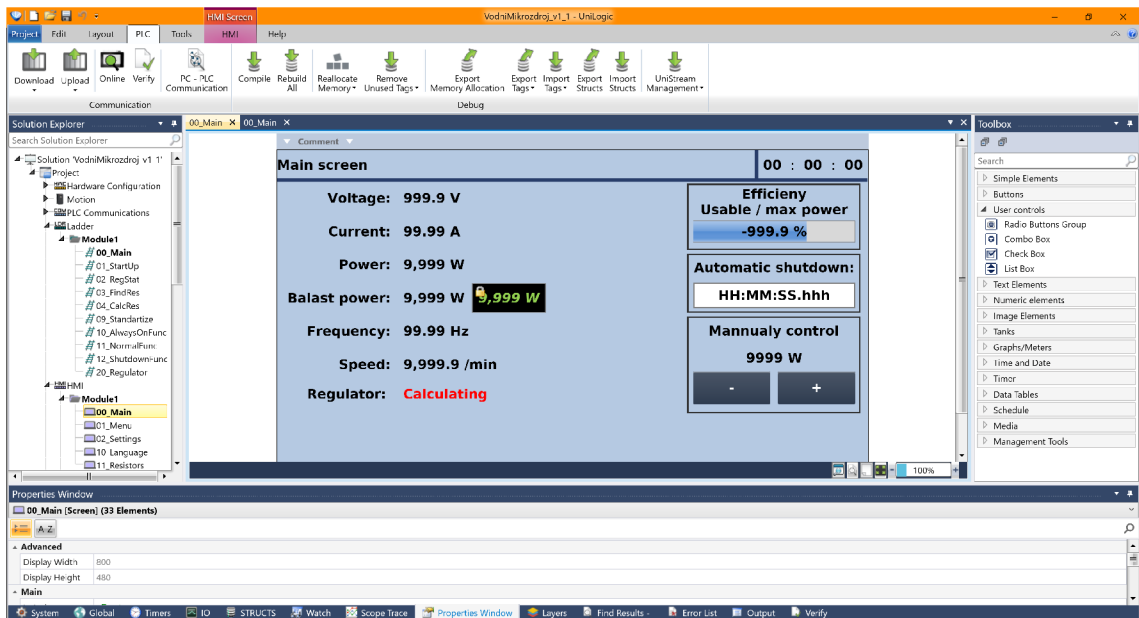
V tomto případě se tedy nejedná o neekonomičtější volbu PLC a nejvhodnější by bylo zvolit HMI panel s možností modulárního naskládání modulů IO.

PLC je možno dále rozšířit vzdálenými IO moduly, které komunikují přes ethernet, což pro tuto aplikaci nebude použito.

## 6.2 Programování PLC

Pro programování PLC od firmy UNITRONICS slouží program VisiLogic pro řadu PLC Vision a Samba. Pro řadu UniStream slouží program UniLogic, kde na obrázku 6.1 je snímek obrazovky tohoto prostředí v navrhování rozložení položek HMI.

Program VisiLogic podporuje pouze programovací jazyk ladder diagram a pracuje s pevně alokovanou pamětí (programátor musí proměnné umístit do přesně daných paměťových buněk). UniLogic navíc podporuje programovací jazyk C a paměť pro proměnné je přiřazována překladačem.



Obr. 6.1: Programovací prostředí UniLogic od firmy UNITRONICS



## 7 Návrh řízení pomocí mikrokontroléru

Zařízení PLC jsou cenově dražší a obsahují funkce, které nebudou v tomto projektu využity. Další nevýhodou PLC je, že k nim musí být připojeny další periferie pro měření, což značně zvyšuje výslednou cenu. Proto byl zvolen návrh řízení pomocí MCU. Zvoleny byly 2 MCU. Jeden hlavní, který bude mít na starosti vlastní řízení a druhý pouze pro řízení displeje.

### 7.1 Výběr mikrokontroléru

Pro vlastní řízení byl zvolen procesor typu ARM (32 – bit) od firmy *Atmel* (nyní již *Microchip*) ATSAM4E16[12] s jádrem *Cortex-M4*, který poskytuje dostatečný výpočetní výkon a periférie. MCU obsahuje i FPU, což umožní zrychlit výpočty s desetinnou čárkou. Dále obsahuje i instrukce DSP. Od stejného výrobce byl vybrán i druhý mikrokontrolér, 8 – bit MCU a to *ATTiny88*, z rodiny *ATTiny*. Tento mikrokontrolér bude využit pro řízení displeje. Komunikace mezi MCU bude přes TWI.

#### 7.1.1 ATTiny88

Tento MCU obstarává zobrazování informací na 4 místném 14 segmentovém displeji. Pro programování bude využito ICSP a TWI pro přenos zobrazovaných dat, kde hlavní MCU bude posílat textové řetězce.

#### 7.1.2 Programovací prostředí Atmel Studio 7.0

Jelikož jsou mikrokontroléry od stejného výrobce bylo umožněno používat jedno vývojové prostředí a tím bylo *Atmel Studio 7.0*. Vývojové prostředí je založeno na vývojovém prostředí *Visual Studio* od společnosti *Microsoft*, které je uživatelsky přívětivé a nabízí vše potřebné. Byl použit programátor *ATMEL-ICE*.

## 7.2 Realizace návrhu

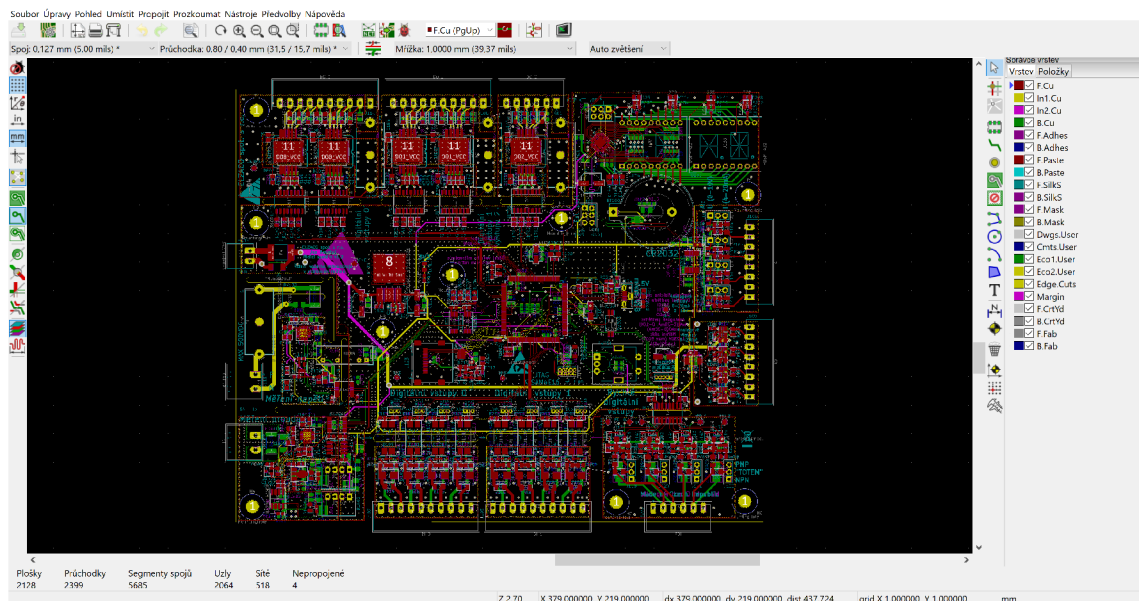
Pro realizaci řídicího systému byla zvolena čtyřvrstvá deska plošných spojů s ohledem na její složitost. Při rozmisťování komponentů byly seskupeny jednotlivé vstupně-výstupní periférie. Dalším cílem bylo dosažení přijatelných velikostí jednotlivých součástí pro ruční osazení a zapájení. Řídicí systém je realizován na jedné PCB pro jednodušší návrh a přehlednost. Jednotlivé obvody jsou popsány v kapitole 8 začínající na straně 36.



Krabička pro prototyp řídicího systému byla plánována 3D tiskem kvůli jednoduchosti a přizpůsobení výsledného vzhledu. Jediným omezením návrhu PCB byly maximální rozměry 3D tisku. V případě prokázání úspory a spolehlivosti bude řídicí systém přepracován a umístěn do krabičky z materiálu splňujícího příslušnou normu (hořlavost materiálu dle UL94-V0 a pro nosnou lištu dle ČSN EN 60715).

## 7.2.1 KICAD

Pro návrh slaboproudé elektroniky (schémata a PCB) byl použit software KICAD, který je OpenSource, což je jeho předností.



Obr. 7.1: Okno KiCad v režimu navrhování desky plošných spojů

## 7.2.2 Funkce řídicí desky

Na začátku bylo stanoveno, co by měl řídicí systém umět:

- Měření příslušných parametrů (napětí, proud, výkon, frekvence sítě, otáčky generátoru,...).
- Řízení zátěže.
- Komunikace s PC.
- Zobrazování důležitých parametrů na displeji.
- Zaznamenávání dat.

Na základě těchto požadavků byl vytvořen seznam potřebných obvodů.

- Napájecí obvody.
- Řídicí procesor SAM4E16 a příslušné obvody pro jeho funkci.

- Alfnumerický displej (4 místa, 14 segmentů) a jeho řízení.
- USB připojení pro komunikaci s PC.
- Paměť pro ukládání parametrů a dat.
- Obvody periférií digitálních a analogových IO, stejně jako u PLC.
- Obvody pro měření síťového napětí a proudu.
- Obvod pro zálohu času (RTC).

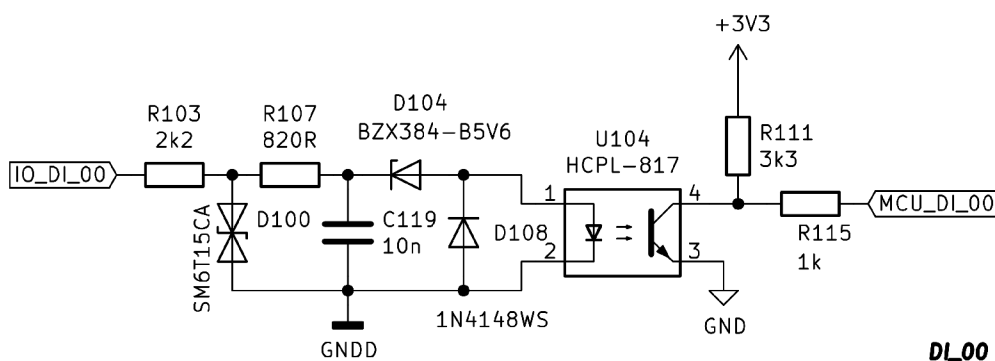
## 8 Návrh vlastního řídicího systému

Řídicí systém disponuje perifériemi:

- 16 digitálních vstupů
- 4 rychlé digitální vstupy
- 20 digitálních výstupů
- 4 analogové vstupy
- 4 analogové výstupy
- měření síťového napětí
- měření síťového proudu

### 8.1 Digitální vstupy - DI

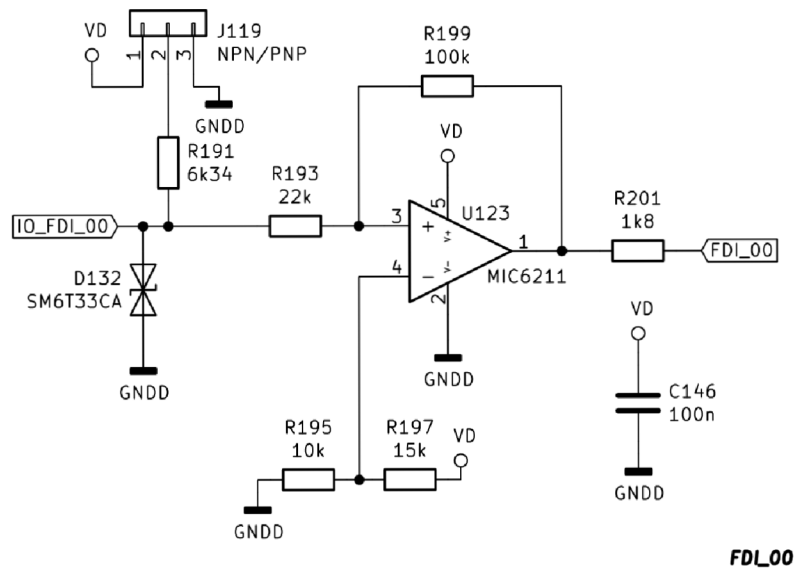
Digitální vstupy jsou navrženy na 24 V logickou úroveň a jsou galvanicky odděleny na 5 kV. Na obrázku 8.1 je zapojení jednoho digitálního vstupu.



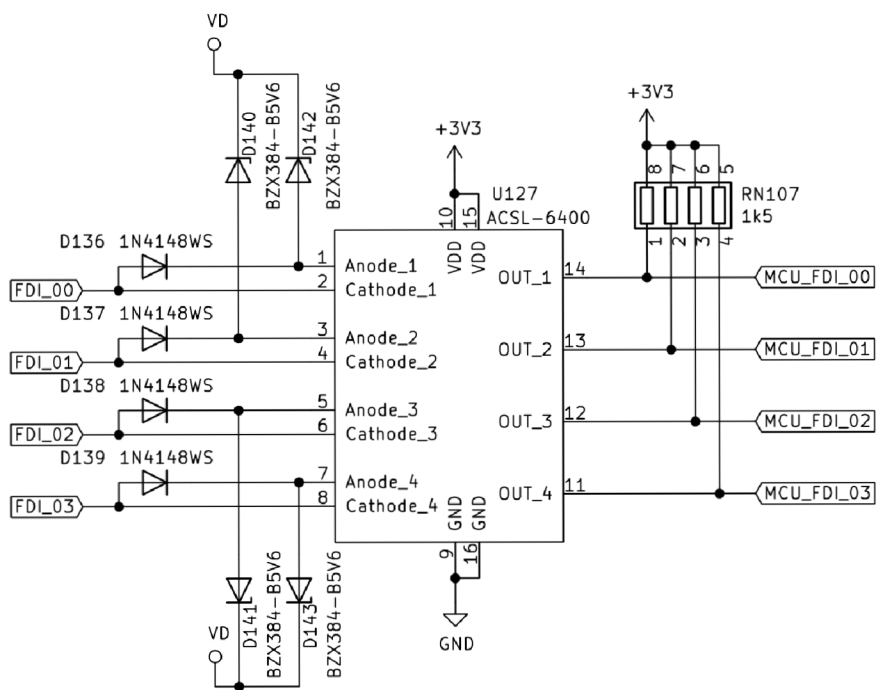
Obr. 8.1: Zapojení digitálního vstupu

### 8.2 Rychlé digitální vstupy - FDI

Rychlé digitální vstupy se proti normálním digitálním vstupům liší pouze rychlostí, vyšší impedancí, komparátorem a možností měření časových dějů a funkcí čítače bez nutnosti zásahu procesoru (využití periférií). Dále je možné zvolit, jestli je vstup brán jako PNP/NPN. Na obrázku 8.2 je zapojení komparátoru pro jeden rychlý digitální vstup a na obrázku 8.3 je zapojení optočlenu pro čtveřici rychlých digitálních vstupů.



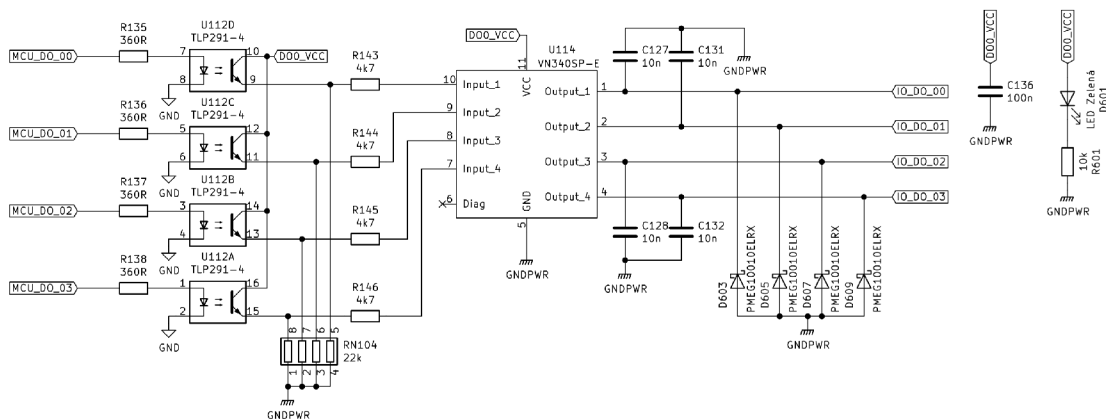
Obr. 8.2: Zapojení jednoho rychlého vstupu



Obr. 8.3: Zapojení galvanického oddělení rychlého vstupu

## 8.3 Digitální výstupy - DO

Digitální výstupy jsou řešeny jako otevřený kolektor pomocí obvodu VN340. Následně jsou výstupy vybaveny pojistkou na napájecím vstupu a jsou galvanicky odděleny na 2,5 kV. Na obrázku 8.4 je zapojení čtveřice digitálních výstupů bez pojistky.



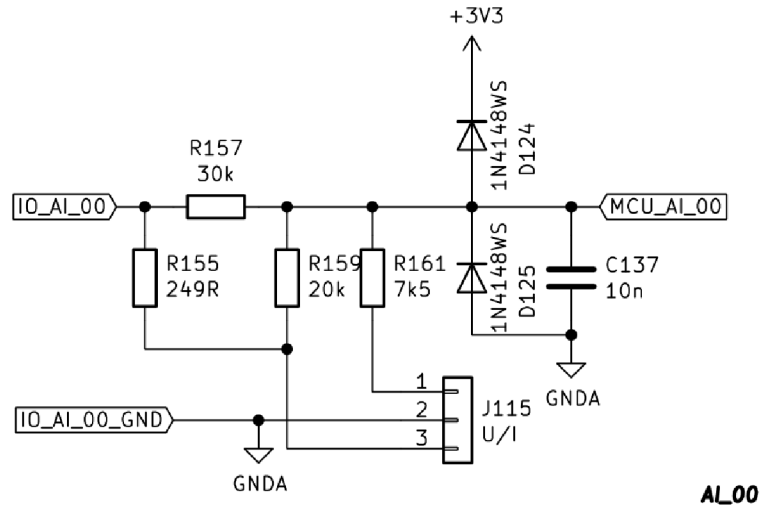
Obr. 8.4: Zapojení čtveřice digitálních výstupů

## 8.4 Analogové vstupy - AI

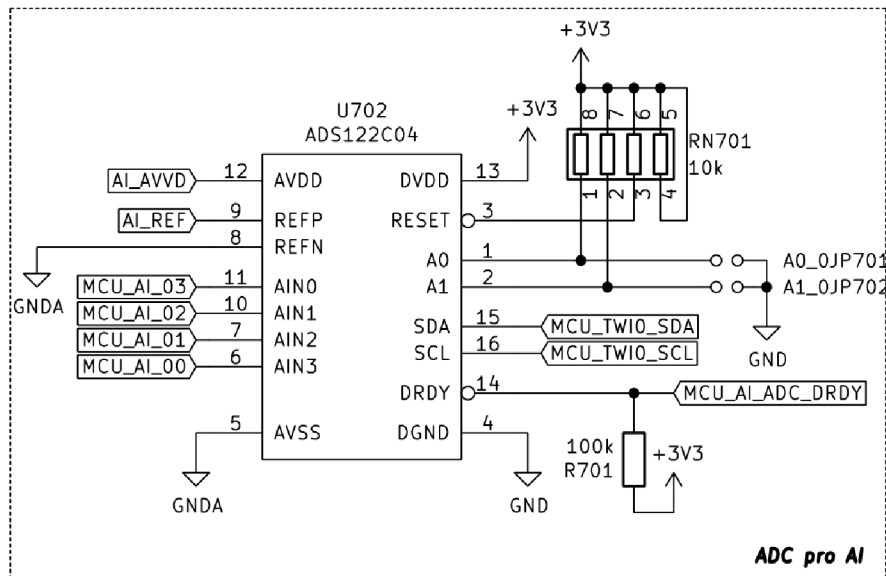
Analogové vstupy jsou proudové v rozsahu 0..20 mA nebo napěťové v rozsahu 0..10 V. Rozsahy se mohou programově upravit např. na 4..20 mA. Vstupní odpor analogového vstupu v proudovém režimu je 249 Ω, na kterém vzniká úbytek napětí úměrný protékajícímu proudu a následně je napětí děličem rozděleno na vstupním rezistoru. Při napěťovém vstupu je děličem rozděleno vstupní napětí. Na obrázku 8.5 je vyobrazeno zapojení jednoho analogového vstupu. Rozdělené napětí je přivedeno na vstup ADC, který je na obrázku 8.6.

## 8.5 Analogové výstupy - AO

Všechny analogové výstupy jsou proudové v rozsahu 0..20 mA (programově upravitelné) a jsou uskutečněny operačním zesilovačem (obrázek 8.7), kde výstupní proud je řízen napětím z DAC, který je na obrázku 8.8.



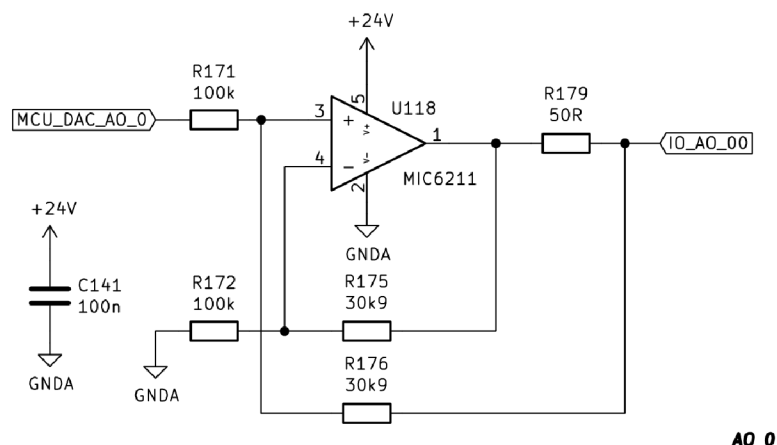
Obr. 8.5: Zapojení analogového vstupu



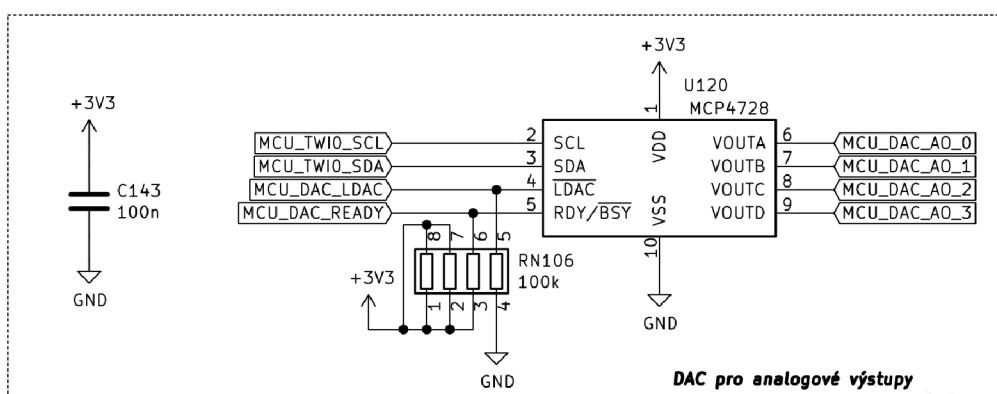
Obr. 8.6: Zapojení ADC pro analogové vstupy

## 8.6 Měření napětí

Měření napětí je realizováno děličem napětí, který je vypočítán na maximální vstupní napětí  $\pm 500 \text{ VDC}$ . Rozdělené napětí měří diferenční ADC, který komunikuje přes SPI. Kvůli bezpečnosti bylo zapotřebí galvanicky oddělit obvody měření napětí od digitálního zpracování. Galvanické oddělení je uskutečněno optočlenem ISO7741 pro komunikaci a galvanicky odděleným zdrojem napětí MEJ1S2405SC pro napájení (ob-



Obr. 8.7: Zapojení analogového výstupu

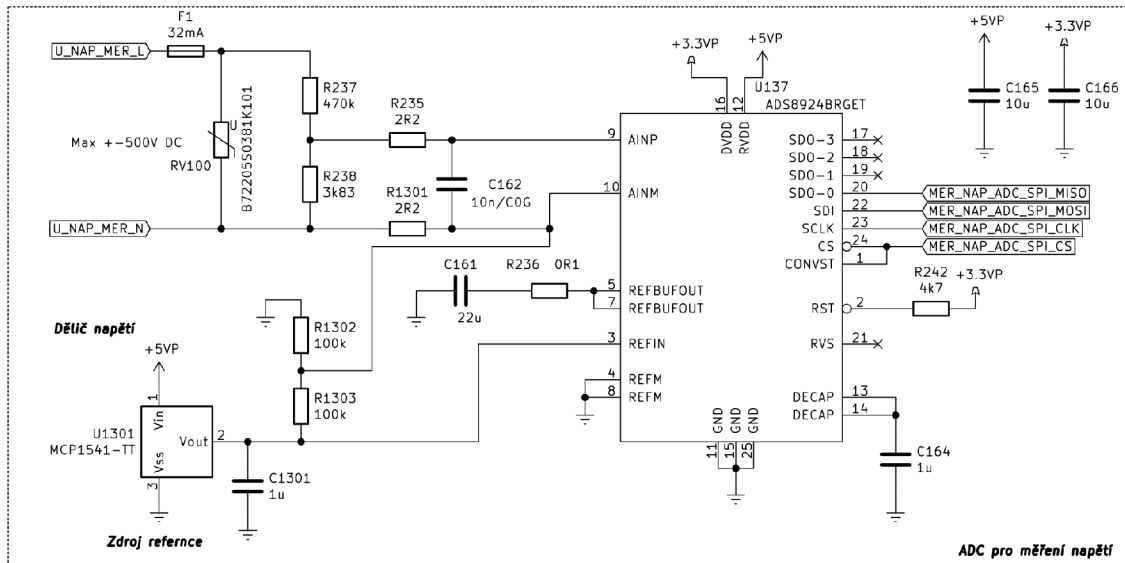


Obr. 8.8: Zapojení DAC pro analogové výstupy

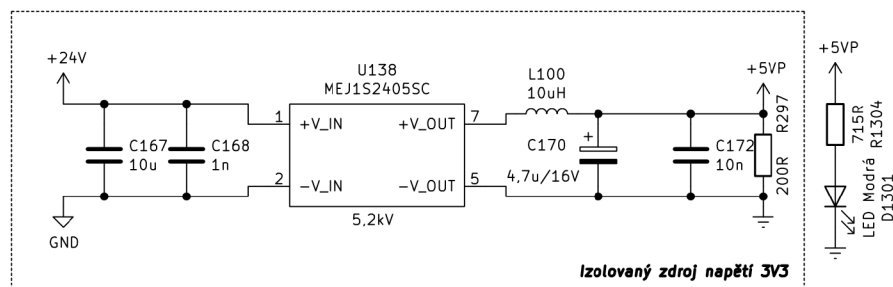
rázek 8.10). Na obrázku 8.9 je zapojení děliče s ADC a galvanickým oddělením komunikace. Napájení analogové části ADC je řešeno přes lineární stabilizátor kvůli lepší stabilitě a odolnosti vůči rušení měniče (obrázek 8.11) a jeho digitální část je napájena přímo z výstupu měniče.

## 8.7 Měření proudu

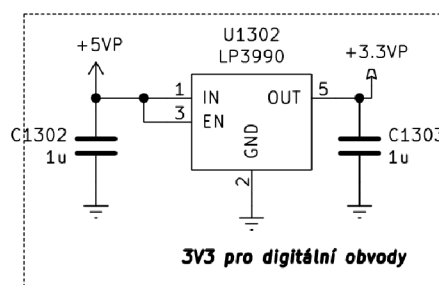
Pro měření proudu byl využit čip ACS722KMATR-20AB od firmy *Allegro microsystem*, který měří proud v rozsahu  $\pm 20 A$ , případně jsou možné varianty  $\pm 10 A$  nebo  $\pm 40 A$ , které mají stejná pouzdra a dají se tedy snadno zaměnit. Tento čip měří proud na principu Halovy sondy a je galvanicky oddělen od měřeného proudu. Jelikož délka cestičky na desce od výstupu převodníku do analogového vstupu mikrokontroléru byla poměrně velká, docházelo u první verze řídicího systému k rušení analogového



Obr. 8.9: Zapojení ADC a děliče pro měření napětí



Obr. 8.10: Zapojení galvanicky odděleného napětí pro měření napětí

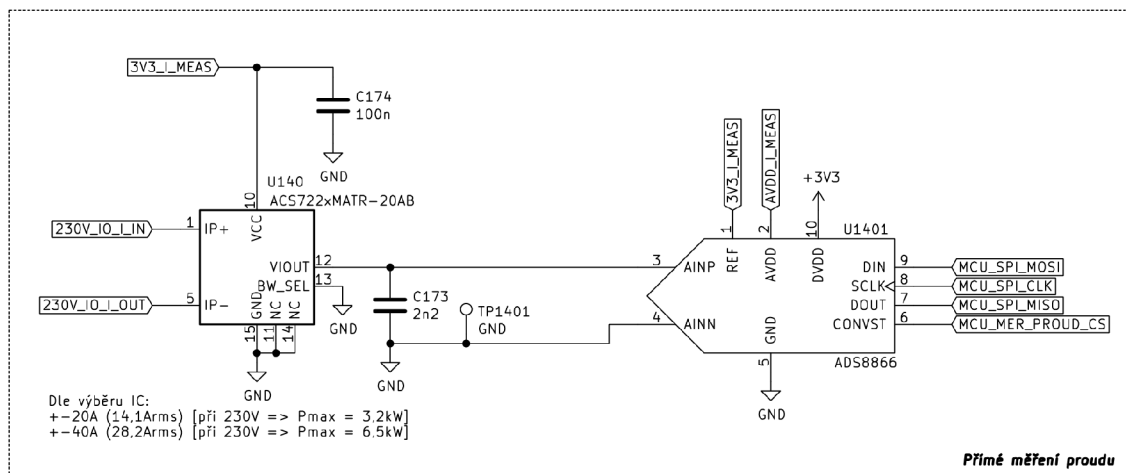


Obr. 8.11: Zapojení lineárního stabilizátoru pro napájení digitální části převodníku

signálu. Byl proto využit externí ADC ADS8866, který byl umístěn co nejbližší k výstupu převodníku (obrázek 8.12).

Po realizaci druhé verze řídicího systému se tento problém stále vyskytoval.



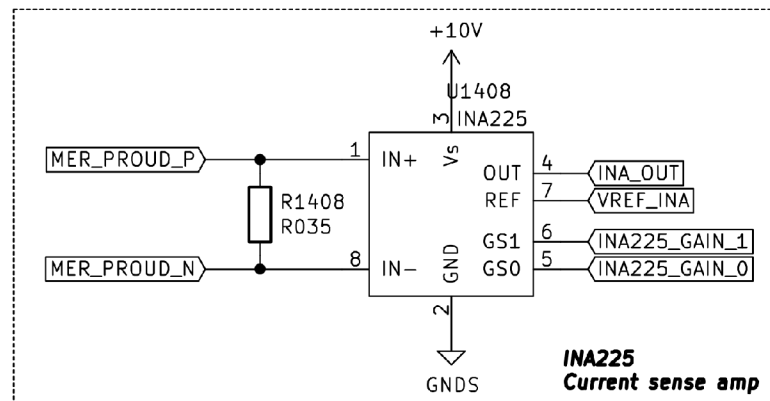


Obr. 8.12: Zapojení obvodu pro měření proudu s ACS722KMATR-20AB

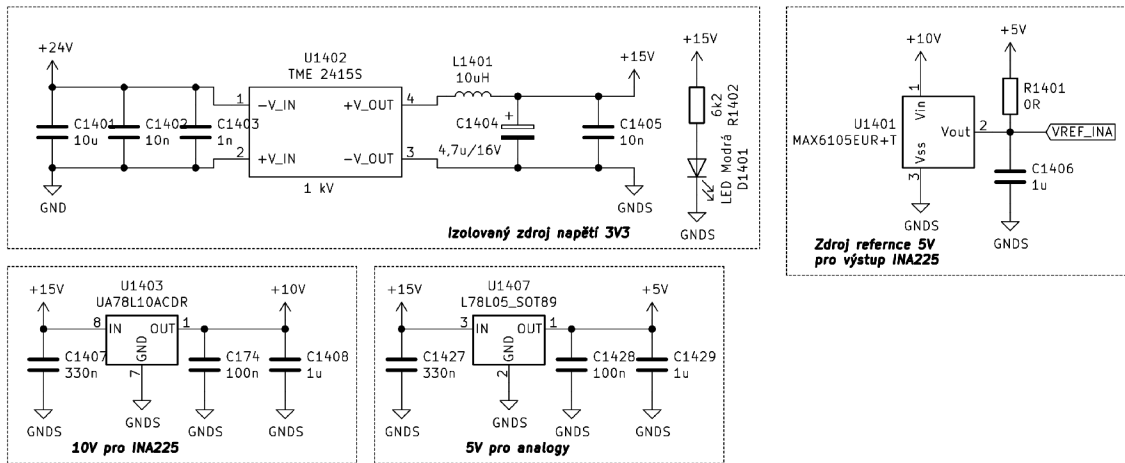
Při měření výstupu z ACS722KMATR-20AB bylo zjištěno, že výstup je rušen vysoko-frekvenčním rušením, tedy měřená křivka obsahovala šum. Tento šum se nepodařilo digitálně vyfiltrovat a jeho střední hodnota nebyla nulová, i když byly zkoušeny různé možnosti napájení a filtrace.

Po dalším měření bylo zjištěno, že ani přesnost měření nebyla dle očekávání. Proto byl způsob měření proudu změněn. Neprovádí se přímé měření proudu, ale proudový vstup je vytvořen pro měřicí proudový transformátor. Jelikož v průmyslu se používají nejčastěji proudové transformátory s výstupem 1 A nebo 5 A, byl tento vstup navržen tak, aby se dal zvolit jakýkoli transformátor s výstupem 1 A nebo 5 A. Toto se projevilo ve složitějším řešení celého měřicího obvodu. Hlavním principem je úbytek napětí na měřicím rezistoru. Maximální zatížení na výstupu proudových transformátorů bývá obvykle kolem 1 VA. Z toho plyne, že při použití 5 A transformátoru je maximální zatěžovací odpor 40 mΩ a vzniklý úbytek je 200 mV. V případě, že bude použit 1 A transformátor, bude úbytek napětí na měřicím rezistoru 40 mV. Toto napětí není možné přímo měřit zvoleným ADC a proto musí být začleněn ještě zesilovač. Vyrábí se ADC přímo s integrovaným PGA, což by byla nejlepší volba, jelikož po jedné komunikační sběrnici a hlavně na jedné adrese je možno číst data z ADC a nastavovat zesílení. Byl však použit stejný ADC jako u měření napětí z důvodu menší různorodosti komponentů na desce. Zvolený ADC ADS8924B je s diferenčním vstupem a napětovou referencí 4.096V. Pro docílení efektivního měření a nezkrácení signálu je zapotřebí, aby minimální zesílení zesilovače bylo maximálně 14 při použití 5 A transformátoru a měřicího odporu 40 mΩ. Při použití 1 A transformátoru je potřeba, aby bylo maximální zesílení zesilovače minimálně 100, aby bylo měření ADC v plném rozsahu. Diferenční operační zesilovače s programovatelným zesílením mají většinou nevyhovující parametry a jsou cenově nevýhodné.

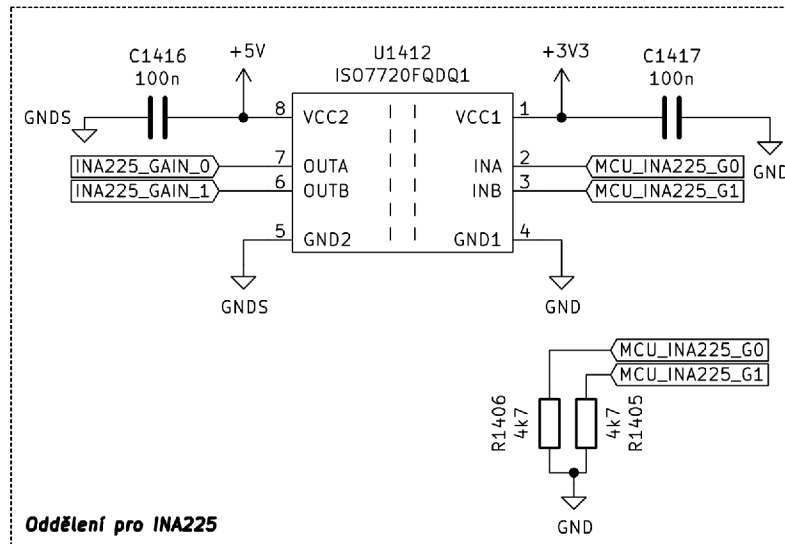
Existují obvody, které jsou určeny pro měření úbytku napětí na rezistoru pro proudová měření s předdefinovanými zesíleními. Mnoho zesilovačů má konstantní zesílení a jediný s vyhovujícími parametry je INA225. Nabízí programovatelné zesílení pomocí vstupních pinů na 25; 50; 100 a 200. Minimální zesílení je ovšem větší, než bylo vypočítané. Pokud budeme uvažovat minimální zesílení 25, tak potom dostaneme, že maximální měřící odpor, který můžeme použít je  $23,2\text{ m}\Omega$ . Pokud vybereme rezistor z výrobci nabízených řad, tak bude mít odpor  $22\text{ m}\Omega$ . Pokud přepočítáme maximální zesílení, které je zapotřebí, aby bylo nejefektivnější měření u proudového transformátoru s výstupním proudem  $1\text{ A}$ , tak dostaneme, že maximální zesílení zesilovače musí být 131. INA225 je tedy vhodným kandidátem na zesilovač pro tuto aplikaci z hlediska zesílení. Tento čip ovšem nemá diferenční výstup. Výstup INA225 je modulován okolo referenčního napětí v mezích napájecího napětí pro analogovou část obvodu. Tento problém byl vyřešen oddělením zemí mezi zesilovačem INA225 a ADC. Zapojení pro měření proudu je na obrázcích 8.13 až 8.18.



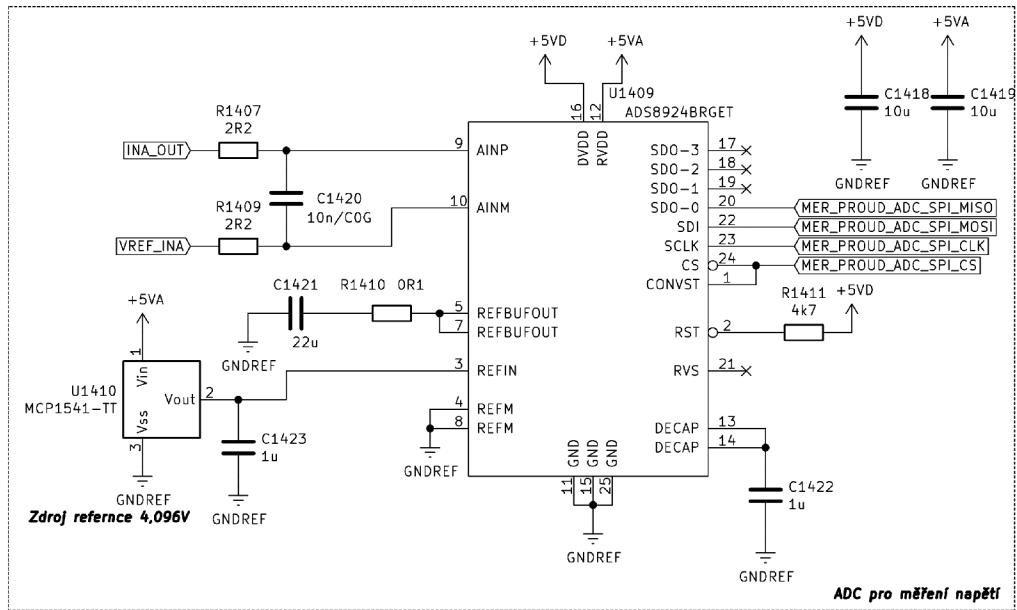
Obr. 8.13: Zapojení INA225



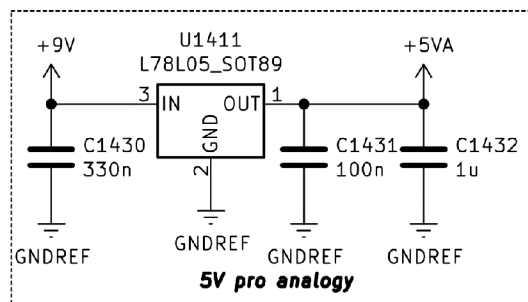
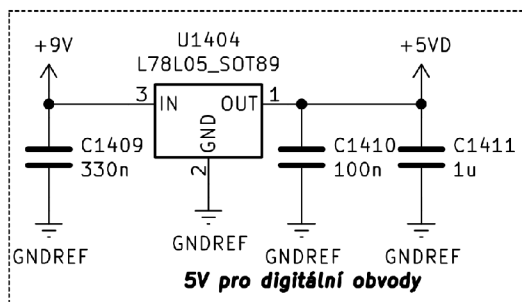
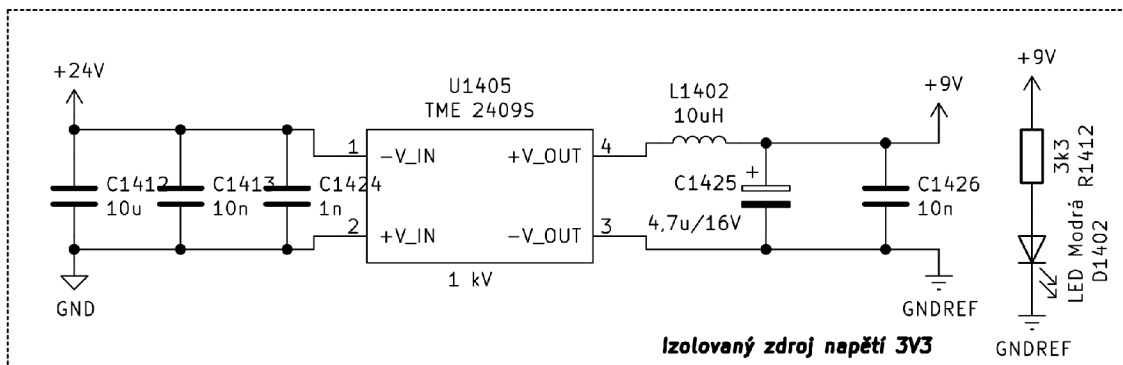
Obr. 8.14: Zapojení napájecí části pro INA225



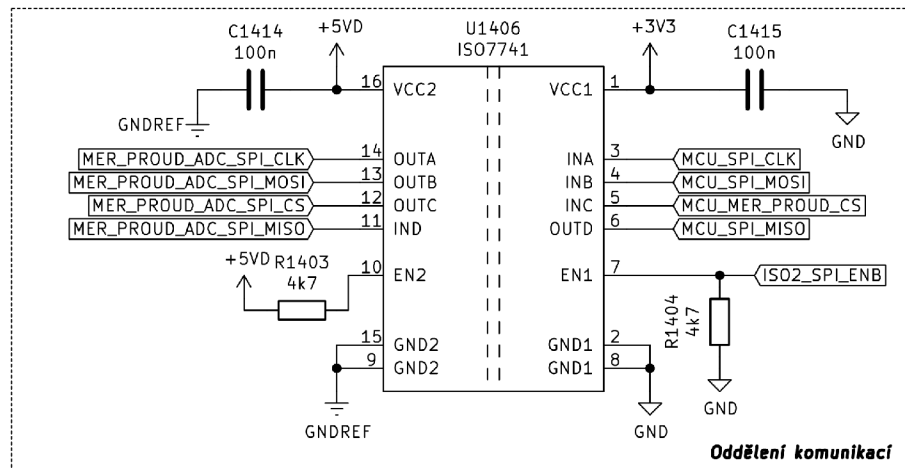
Obr. 8.15: Zapojení galvanického oddělení pro volbu zesílení s INA225 pomocí ISO7720



Obr. 8.16: Zapojení ADC pro měření výstupu z INA225



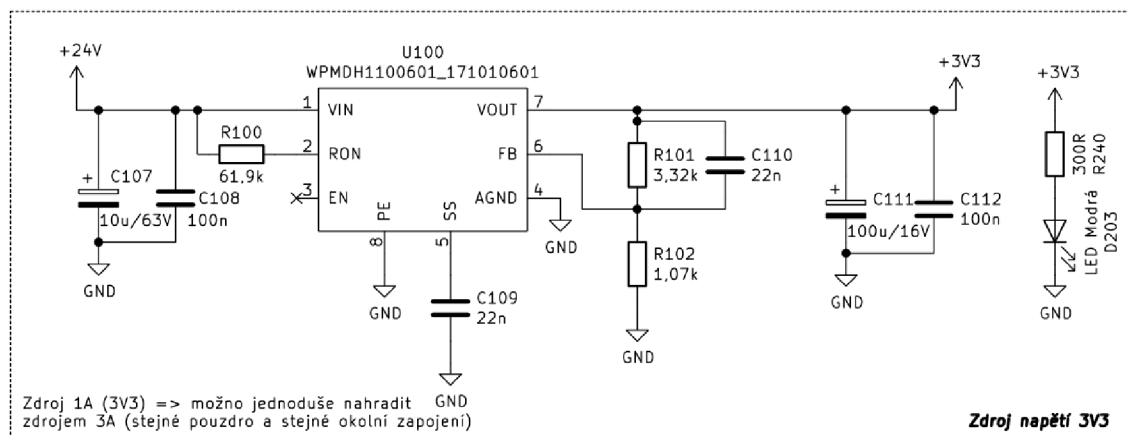
Obr. 8.17: Zapojení napájecí části pro ADC pro měření proudu



Obr. 8.18: Zapojení galvanického oddělení komunikace s ADC pomocí ISO7741

## 8.8 Napájení

Napájecí napětí řídicího systému je 24 V, které je za použití měniče sníženo na 3,3 V, kterým jsou napájeny všechny logické obvody řídicího systému (obrázek 8.19).



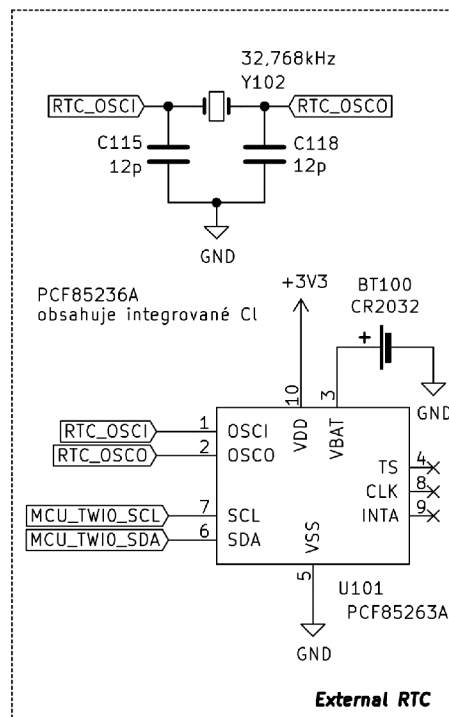
Obr. 8.19: Zapojení měniče z 24 V na 3,3 V

## 8.9 Ostatní periferie

### RTC

Z důvodu absence zálohování času u hlavního MCU z externího napájecího zdroje, kde je čas zálohovaný v režimu spánku z hlavního zdroje napájení. Bylo tedy zvoleno

externí zálohování času (PCF85263A na obrázku 8.20).



Obr. 8.20: Zapojení externího RTC zálohovaného baterií

## USB

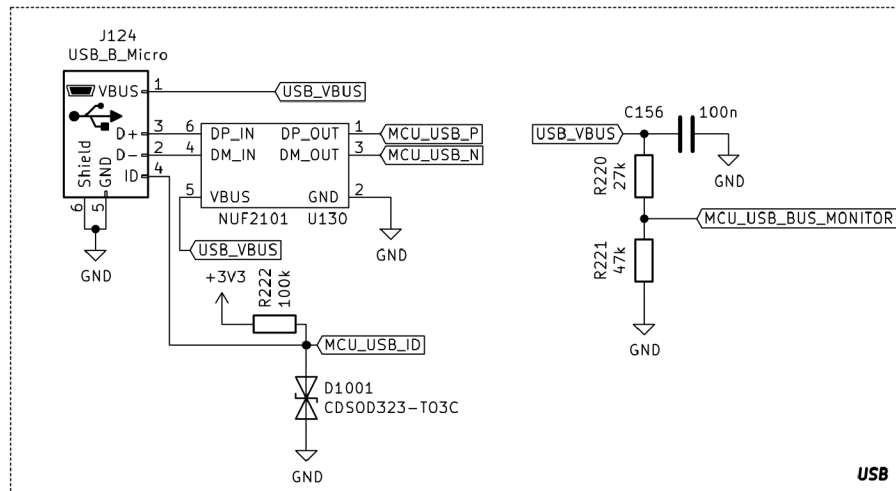
Byl zvolen *micro USB* konektor kvůli jeho rozšířenosti, i když nyní převládá konektor *USB-C*, který není vhodný pro ruční pájení vertikálního konektoru. Pro ochranu vstupu MCU byl zvolen obvod *NUF2101*, který obsahuje transily (ESD diody) a sériové odpory pro datové vodiče (obrázek 8.21).

## SD karta

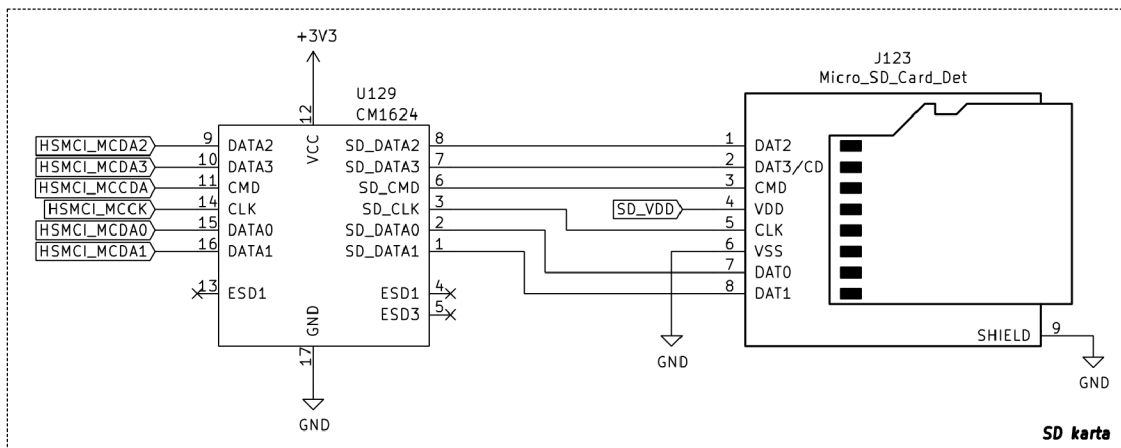
Kvůli úspoře místa a jejímu rozšíření byl zvolen typ karty *micro SD*. Hlavní MCU obsahuje periférii pro komunikaci s *SD* kartami *HSMCI*. Pro ochranu vstupů MCU byl zvolen obvod *CM1624* (obrázek 8.22). Pro *SD* kartu bylo navrženo ovládání napětí (obrázek 8.23), které ovládá MCU, aby nemohlo dojít při náběhu napětí k poškození dat. Jako souborový systém bude používán *FAT32*.

## Ovládání

Ruční nastavování parametrů řídicího systému je realizováno enkodérem s tlačítkem.



Obr. 8.21: Zapojení konektoru USB s ochranou



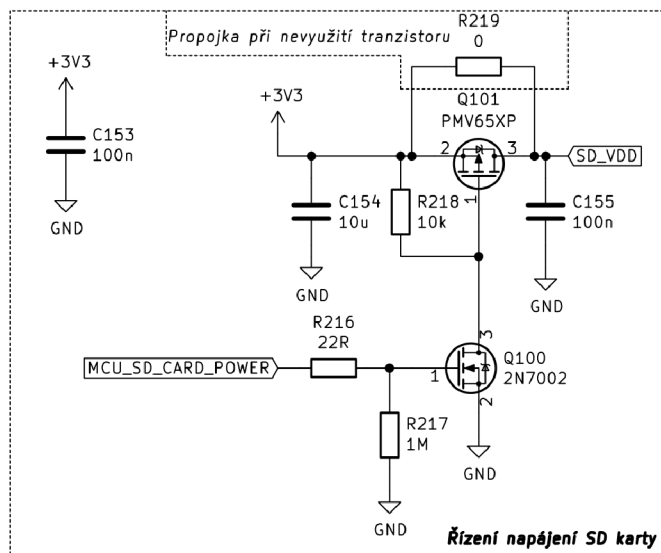
Obr. 8.22: Zapojení konektoru SD karty s ochranou

## Displej

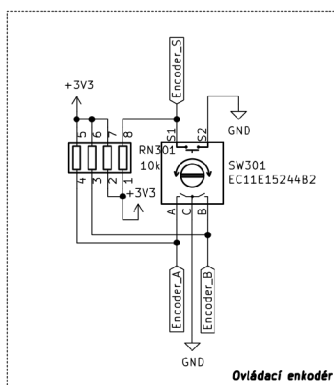
Pro zobrazování hodnot byl zvolen čtyřmístný 14 segmentový displej. Tento displej je řízen MCU ATTiny88, který komunikuje s hlavním MCU pomocí TWI. Schéma zapojení displeje je na straně 71 v přílohách jako obrázek A.1.

## 8.10 Realizace

Na obrázku 8.25 je osazený řídicí systém (*verze 1.2*). Pro označení IO a popis krabíčky bylo zvoleno gravírování, které je vidět na obrázku 8.26, kde je již řídicí systém umístěn v rozvaděči.



Obr. 8.23: Zapojení napájení SD karty s ochranou



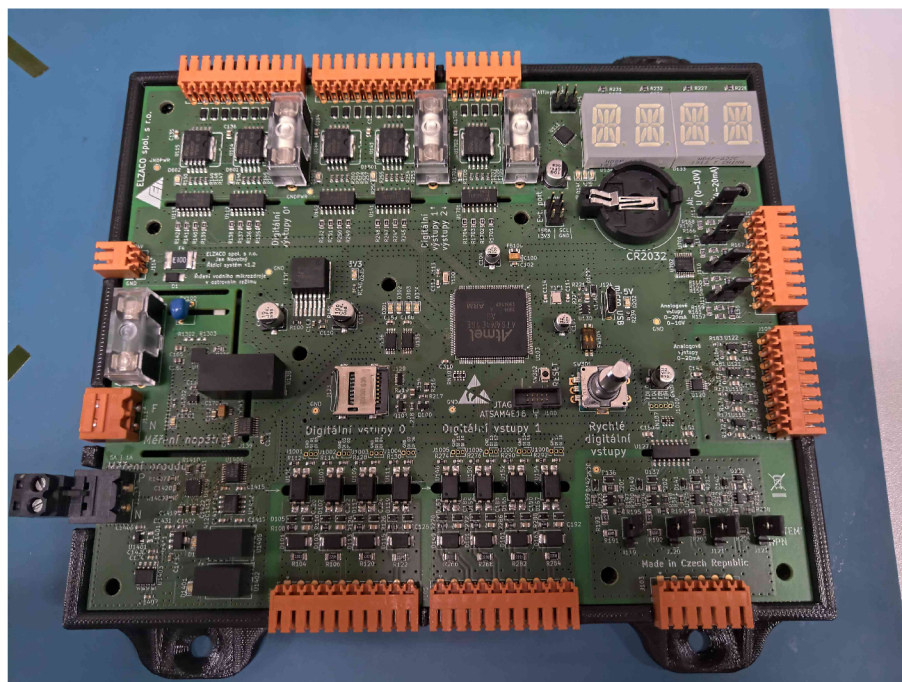
Obr. 8.24: Zapojení enkodéru s tlačítkem

### 8.10.1 Možné vylepšení řídicího systému

Do budoucna je možné vlastní řídicí systém rozšířit a vylepšit jednotlivé funkce. Do měření napětí zabudovat měření frekvence pomocí detektoru průchodu nulou zabudovaného přímo v měřící části, jelikož vzorkovací frekvence napětí neumožňovala přesné odečtení hodnoty frekvence. Umožnit napájení řídicího systému z USB pro možnost odečítání dat a nastavení bez nutnosti zapínání celého zařízení. Zajistit galvanické oddělení analogových vstupů a výstupů i celého napájení řídicího systému. Analogové vstupy a výstupy přepracovat do diferenciálního režimu s možností volby rozsahu programově. Z hlediska vzhledu by bylo vhodné předělat řídicí systém do krabičky umístěné na DIN-lištu vertikálně kvůli úspoře místa v rozvaděči.

Pokud by vlastní řídicí systém našel využití i v jiných zařízeních vyráběných





Obr. 8.25: Osazený řídicí systém



Obr. 8.26: Řídicí systém umístěný v testovacím rozvaděči

firmou ELZACO spol. s r.o., tak hlavní možností by bylo přepracování vlastního řídicího systému do modulové podoby pro lepší implementaci cílového umístění.

## 9 Software

Tato kapitola se zabývá SW vytvořeným pro funkčnost řídicího systému, což obnáší jak program pro vlastní MCU, tak i program pro počítač s možností nastavování parametrů a sledování stavu řízení. Dále bylo nutné vytvořit program pro PLC.

### 9.1 Program pro vlastní řídicí systém

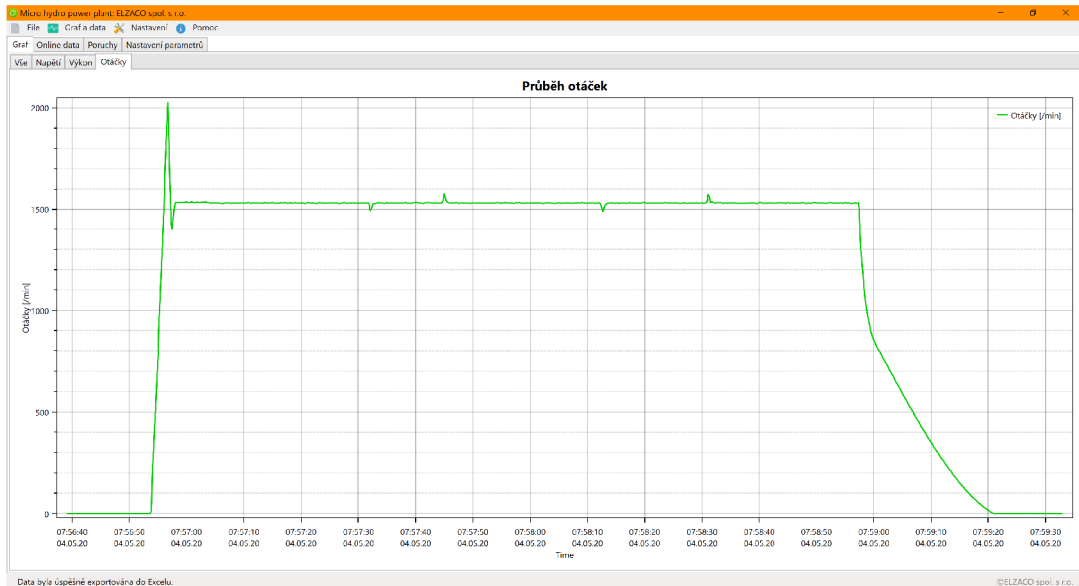
Program byl napsán pro obsluhu všech periférií na desce kromě HSMCI (tedy ukládání dat na SD kartu), komunikaci a zobrazování dat na displeji, komunikaci s PC a vlastním řízením vodního mikrozdroje.

Řídicí systém je schopen měřit otáčky, napětí, frekvenci, proud a výkon. Dále je schopen regulovat otáčky soustavy s turbínou. Do řídicího systému bylo implementováno jednoduché nastavení a jazyková sada (čeština a angličtina). Další jazykové sady mohou být doplněny podle požadavků koncového zákazníka (omezeno na jazyky s latinkou).

### 9.2 Obslužná aplikace

Pro vizualizaci dat a možnost nastavení parametrů byla vytvořena aplikace napsaná v jazyku C#[4] a WPF pro PC. Hlavní funkcí aplikace je především komunikace s řídicím procesorem v podobě konfigurace parametrů, zobrazení záznamů (poruchy, naměřená provozní data, historie událostí a data pro vyhodnocení) a „živý“ přenos dat, pro který byla využita knihovna OxyPlot[5][6]. Naměřená data je možné exportovat do souboru jako PNG (jednotlivé obrázky grafů z aplikace), PDF (soubor všech grafů naměřených v aplikaci), CSV (jednoduchý textový soubor naměřených dat oddělený středníky) a jako xlsx (soubor aplikace EXCEL s generováním grafů ze všech dat, kde je nutnost mít nainstalovanou aplikaci EXCEL). Na obrázku 9.1a je vidět vykreslení průběhu otáček v online zobrazení grafů a na obrázku 9.1b je snímek obrazovky aplikace pro nastavení parametrů.

Pro komunikaci s řídicím systémem bylo zvoleno rozhraní USB pro jeho rozšířenost (disponují jím všechna přenosná zařízení a PC). Pro přenos dat byl zvolen standard zařízení USB HID díky jeho snadné implementaci. Standard HID se osvědčil i po stránce spolehlivosti, jelikož při snaze implementovat standard CDC byl zjištěn problém s ovladačem v operačním systému WINDOWS, kde po nějaké době ovladač odpojil zařízení a nebylo možné zjistit toto odpojení, dokud nedošlo k fyzickému odpojení od PC. Po připojení zařízení k PC mohlo dojít k jeho znovupřipojení.



(a) Průběh otáček (graf online zobrazení)

(b) Nastavovací obrazovka

Obr. 9.1: Obslužná aplikace pro vlastní řídicí systém

## 10 Regulace

Tato kapitola se zabývá popisem regulace asynchronního generátoru v ostrovní síti v součinnosti s vodní turbínou.

### 10.1 Limity regulace

Z měření zatěžovací charakteristiky soustavy (obrázek 4.4 na straně 24) je patrné, že při nesprávné volbě budících kapacit je nemožné urdit soustavu na konstantní otáčky (nelze docílit požadovaných otáček) v závislosti výkonové balance. Tedy výkon turbíny při jmenovitých otáčkách neodpovídá maximálnímu výkonu dosaženému s aktuálně zvolenou budící kapacitou. Při regulaci na konstantní otáčky se může stát, že turbínu dlouhodobě přetížíme, dojde k postupnému odbuzení generátoru a generátor se tak dostane do průběžných otáček, což způsobuje navyšování výstupního akčního zásahu regulátoru, který není možný a vznikne takto kladná zpětná vazba.

### 10.2 Identifikace soustavy

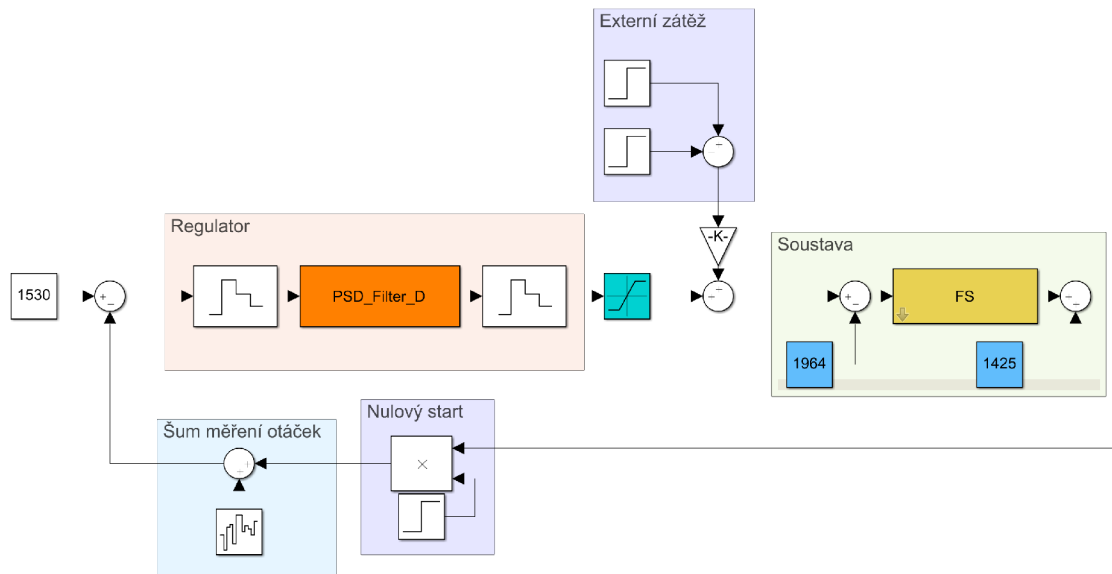
Pro návrh regulátoru bylo nutné správně identifikovat soustavu. Identifikace proběhla na soustavě simulované pomocí FM s momentovou charakteristikou turbíny a pro její vyčíslení bylo použito rozšíření programu *Matlab System identification*.

Přenos identifikované soustavy je:

$$G_S(s) = \frac{-0.3576}{s + 1.401} \quad (10.1)$$

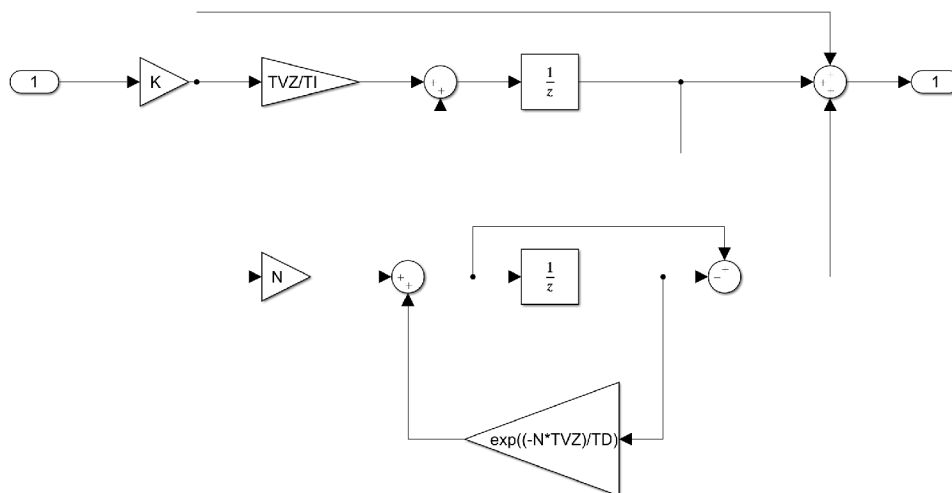
### 10.3 Modelační schéma

Pro ověření byla vytvořena simulace v prostředí *Simulink*, které je součástí programu *Matlab*. Na obrázku 10.1 je modelovací schéma z tohoto prostředí. Jako regulátor byl zvolen PSD s filtrací derivační složky, který je v bloku *Regulátor*. Blok *Soustava* představuje soustavu turbíny s generátorem (motor-generátor). Pro simulaci činnosti regulátoru slouží blok *Externí zátěž*, který simuluje připojení zátěže uživatelem, tedy užitečnou zátěž. Z důvodu „nulového startu“, tedy otáčky soustavy jsou v době zapnutí řídicího systému nulové a regulace není možná, byl vložen blok *Nulový start*. Po provedení reálného měření byla zjištěna míra šumu při měření otáček. Byl tedy zanesen generátor šumu do simulačního schématu, jehož výstup je přičítán do zpětné vazby, aby bylo možné zjistit jak bude regulátor reagovat na obdobnou míru šumu v reálném měření.



Obr. 10.1: Modelové schéma systému

Samotný regulátor byl vytvořen jako funkční blok, kde jeho vnitřní zapojení je na obrázku 10.2. Pro ověření správné funkčnosti byl přepsán jako kód do S-Funkce, která umožnila ověřit správné zapsání kódu v programu pro MCU.



Obr. 10.2: Modelové schéma regulátoru

# 11 Měření regulované soustavy

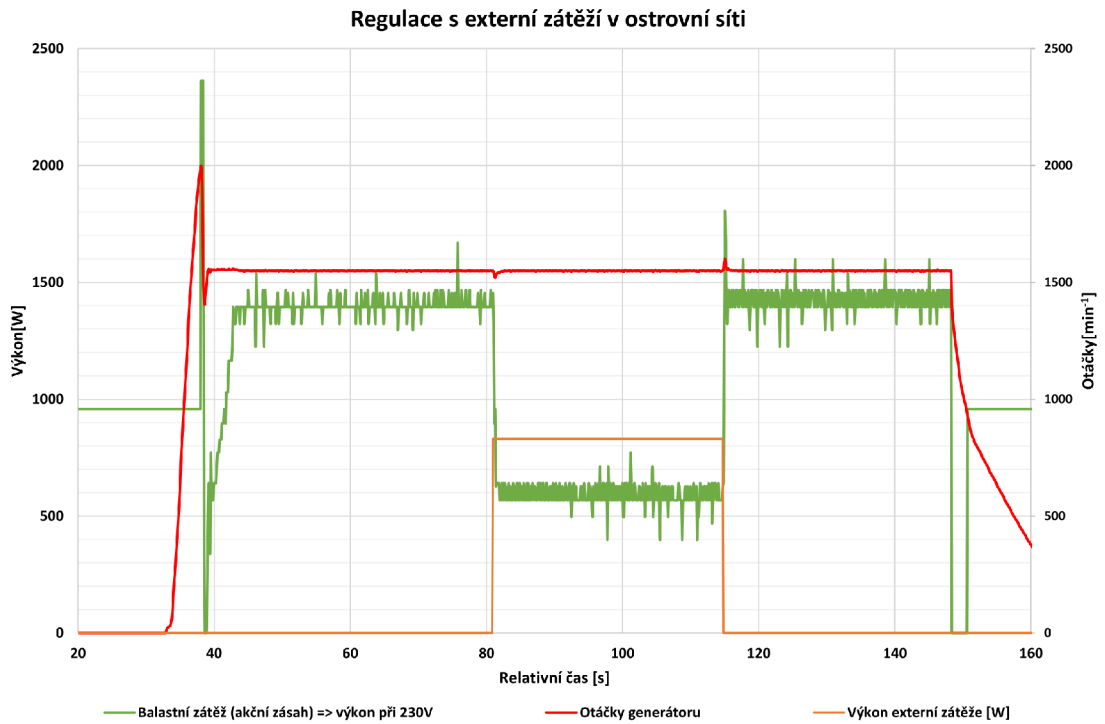
Pro prvotní porovnávání měření byl jako externí zátěž zvolen odporník s výkonem 830 W (nahrazující spotřebiče uživatele), což odpovídá zhruba polovině jmenovitého výkonu. Pro vyhodnocení dle normy ČSN ISO 8528-5 je zapotřebí změřit přechodové charakteristiky se zátěží odpovídající jmenovitému výkonu. Jelikož nebylo možné dosažení přesného jmenovitého výkonu soustavy, byla externí zátěž realizována odporníky s výkonem přibližně 1340 W při 230 V a pokojové teplotě. Zátěž byla přepínána ručně nezávisle na řídicím systému. Zobrazená hodnota výkonu externí zátěže je přibližná a je určena z průběhu proudu, na kterém se prvotní změna zátěže projevila nejrychleji.

## 11.1 Regulace pomocí vlastního řídicího systému

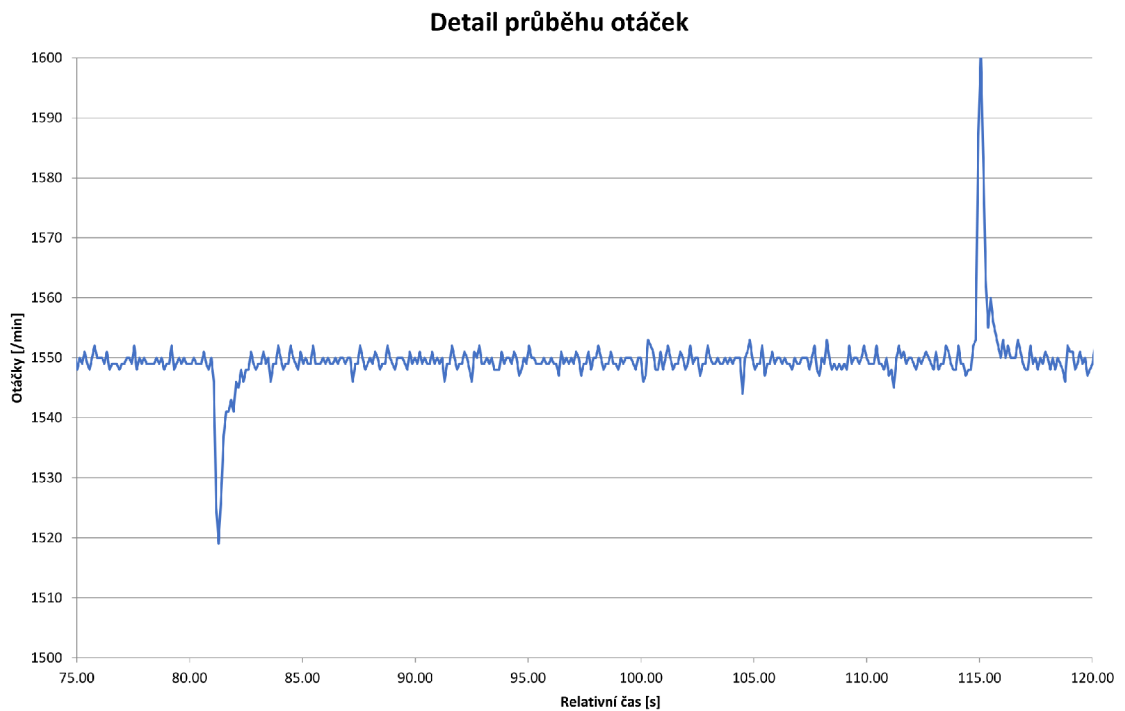
Na obrázku 11.1 je záznam z měření pouze při použití jednoduchého PSD regulátoru. Při náběhu dochází k velkému překmitu otáček generátoru, který je způsoben nemožností regulace vlivem nenabuzeného generátoru. Tento překmit lze omezit použitím kompenzačního stykače s 24 V cívkou, díky kterému bychom zajistili vyšší kapacitu při náběhu a na generátoru by se indukovalo napětí při nižších otáčkách. Náběh simulovaný pomocí motoru byl relativně rychlý a je tedy možné, že v praxi se bude moci předejít překmitu při startu pozvolnějším zvyšováním průtoku vody.

Obrázek 11.2 zobrazuje detailnější pohled na měřené otáčky v době připnutí a odepnutí externí zátěže. Při připnutí zátěže dojde k poklesu otáček o 2 % a při odepnutí externí zátěže dojde k navýšení otáček o 3 % oproti jmenovitým otáčkám.

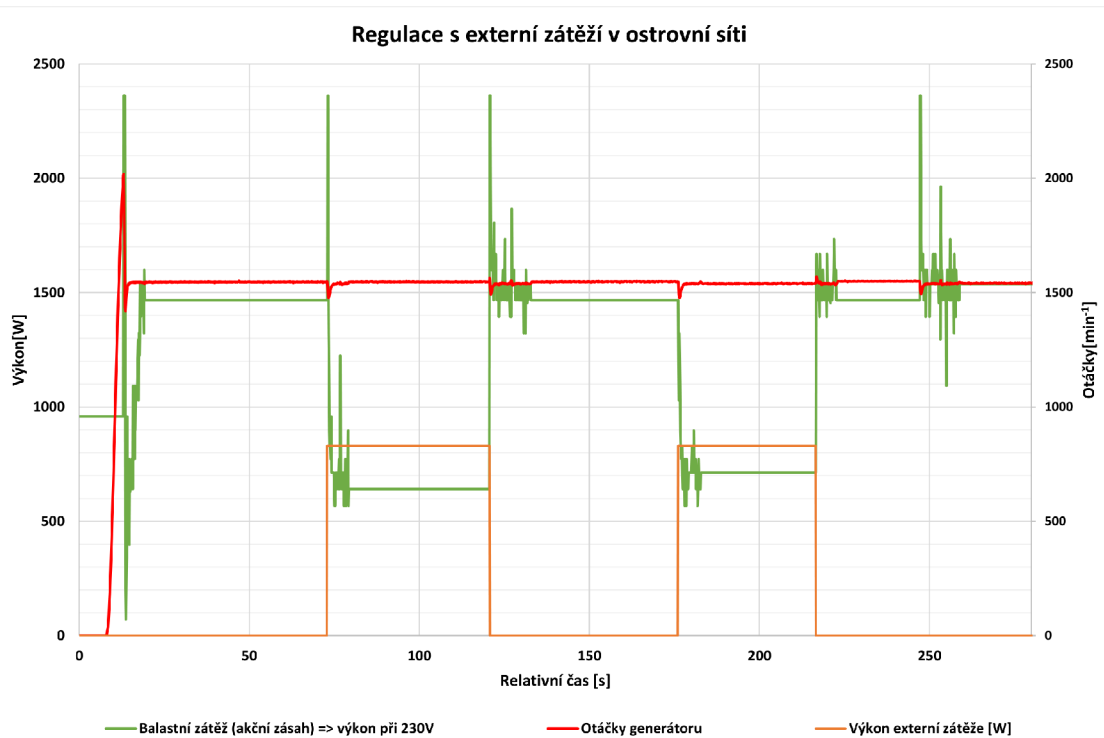
Při analýze akčního zásahu na obrázku 11.1 je patrné, že výstupní akční zásah je relativně hodně zašumělý a v závislosti na životnosti akčních prvků by mělo být snahou omezit šum tohoto akčního zásahu. Aby byla splněna podmínka rychlé regulace, bylo implementováno udržování konstantního akčního zásahu. Pokud jsou tedy otáčky generátoru v určených mezích po určitou dobu, je možné držet tuto hodnotu konstantní. Pokud jsou otáčky generátoru mimo tyto hranice, je opět zvolen akční zásah PSD regulátoru. Na obrázku 11.3 je záznam měření s takto uzpůsobeným regulátorem. Obrázek 11.4 vykresluje detail prvního připnutí a odepnutí externí zátěže. Podařilo se tedy ustálit výstup regulátoru. Při porovnání obrázku 11.1 a 11.3 je rozdíl v okamžiku odepnutí externí zátěže, kde nedojde k razantnímu zvýšení otáček, nýbrž ke snížení. Způsobila to integrační složka PSD regulátoru, jelikož jeho funkčnost není pozastavena v průběhu přepínání výstupu akčního zásahu a nenulová regulační odchylka, jelikož při konstantním akčním zásahu byly otáčky v rámci mezí, ale nikoli stejné jako požadované.



Obr. 11.1: Měřený průběh regulovaných otáček při zatěžování externí zátěží



Obr. 11.2: Detail měřeného průběhu regulovaných otáček při zatěžování



Obr. 11.3: Měřený průběh regulovaných otáček při zatěžování s potlačením šumu PSD regulátoru

Pro zlepšení funkčnosti by musel být PSD regulátor pozastaven, aby byla udržována konstantní hodnota a puštěn v době, kdy dojde k vychýlení z nominálních otáček. Toto není nejvhodnější, jelikož vlivem ohřívání odporů či krátkodobé změny průtoku by byl neustále zapnut PSD regulátor. Byla proto zvolena metoda změny parametrů PSD regulátoru, kde má regulátor hlavně zmenšenou proporcionalní složku a zcela vynechanou derivační složku. Ve výsledku bude mít pomalejší odezvu na jednotkový skok. Pokud dojde k vychýlení otáček mimo mez, hodnoty regulátoru se vrátí zpět pro rychlé vyregulování přechodového jevu. Záznam z měření je zobrazen na obrázku 11.5. Šum akčního zásahu je způsoben pouze přepínáním nejmenším odporníkem a bude odstraněn hysterezí. Na obrázku 11.6 je vyobrazen detail průběhu otáček v okolí připnutí a odepnutí externí zátěže.

Pro analýzu sítě je však nutné vyhodnotit průběhy napětí a frekvence, které jsou na obrázku 11.7.

Pro porovnání výsledných parametrů přechodových jevů bude využita norma pro benzínové elektrocentrály ČSN ISO 8528-5:2013(E). Tato norma definuje různé limity parametrů pro čtyři třídy označené G1 až G4, kde G1 je nejméně přísná a G3 je nejpřísnější. Třída G4 je vyhrazena pro dohodu mezi výrobcem a zákazníkem. Při vyhodnocení z hlediska přechodových jevů je tedy možné zařadit simulované





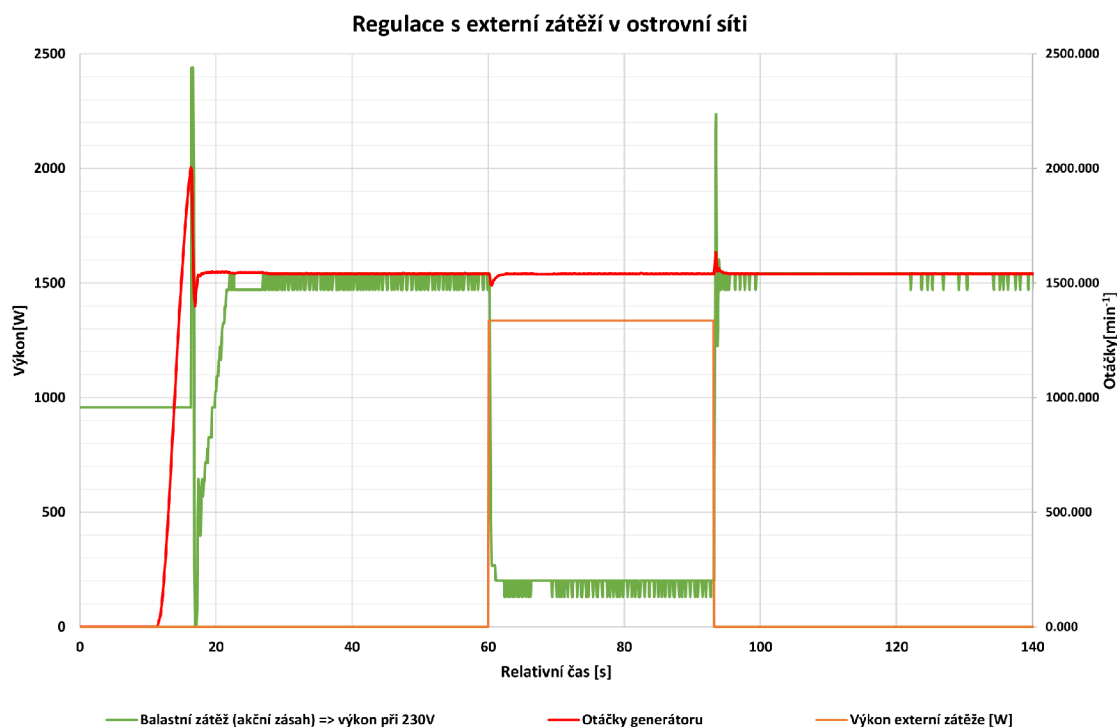
Obr. 11.4: Detail měřeného průběhu regulovaných otáček při zatěžování s potlačením šumu PSD regulátoru

soustrojí do třídy **G3**.

Jelikož se jedná o asynchronní generátor, tak jeho výstupní frekvence není přímo závislá na jeho otáčkách, ale závisí na skluzu, který je úměrný výstupnímu výkonu. Pokud by byla podmínkou regulace na konstantní otáčky kvůli přesnosti měření, je možné implementovat regulátor, který bude řídit požadované otáčky v závislosti na frekvenci. Nejlepší variantou by byl regulátor přímo od frekvence a údaje o otáčkách by sloužili pouze pro řízení procesu a vyhodnocení odbuzení generátoru, jelikož frekvenci je možné měřit až od určitého prahového napětí.

## 11.2 Regulace pomocí PLC

Používané PLC od firmy UNITRONICS nemá implementovaný požadovaný PSD regulátor. PLC obsahuje pouze PSD regulátor, který je spíše vhodný pro pomalé děje a nenese sebou žádné výhody používání. Byl tedy implementován stejný regulátor jako ve vlastním řídicím systému. Na obrázku 11.8 je záznam měření za stejných podmínek, jako u obrázku 11.5. Při porovnání těchto průběhů můžeme konstatovat, že výsledky regulace jsou ekvivalentní.



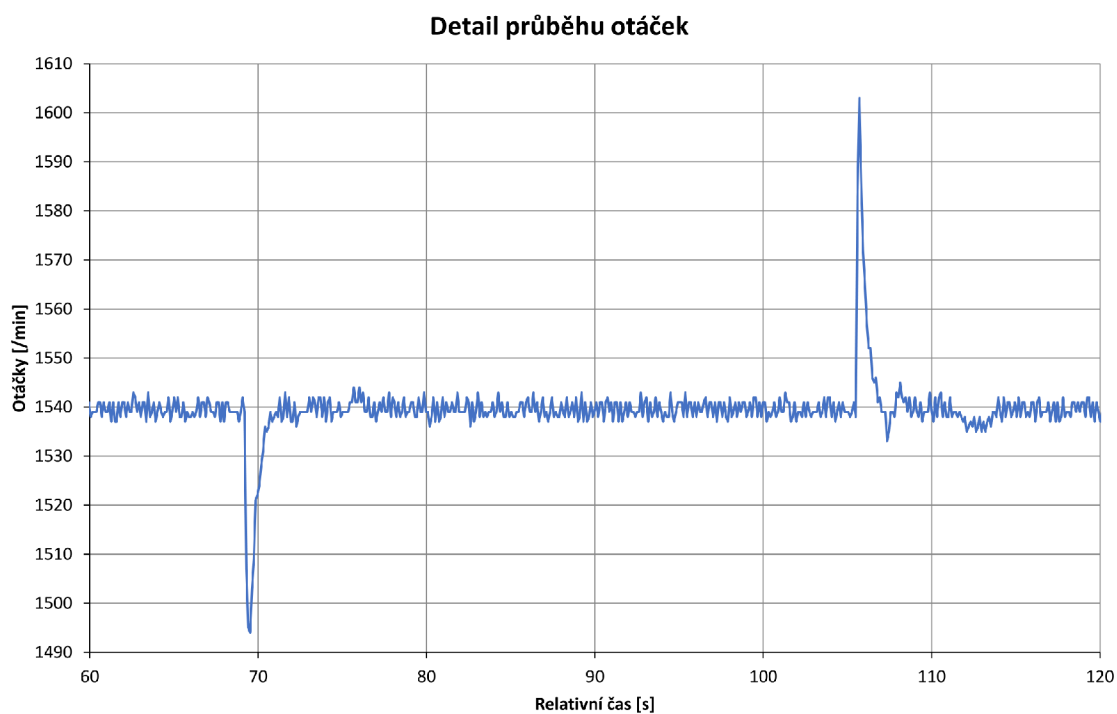
Obr. 11.5: Měřený průběh regulovaných otáček při zatěžování se změnou parametrů PSD regulátoru

### 11.3 Měření na reálné soustavě

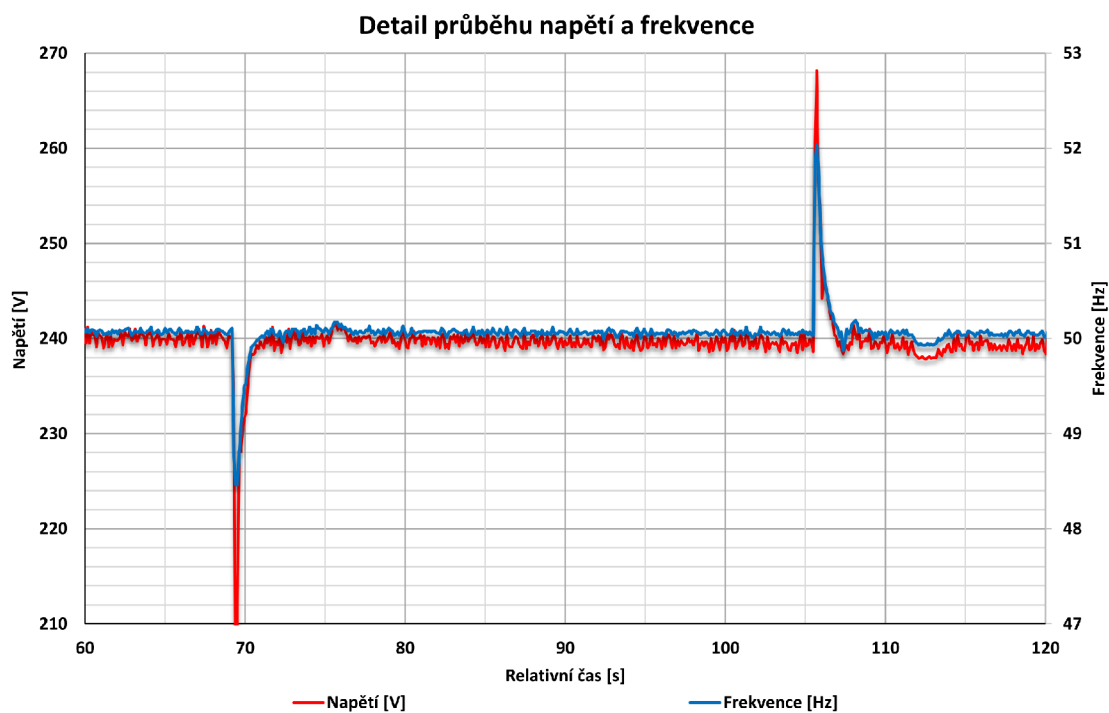
Zkoušky byly provedeny na vybrané lokalitě v obci Sobotín na řece Merta. Na obrázku 11.9a je vidět umístění turbíny s generátorem a jejím náhonem. Jelikož turbína s generátorem nebyla součástí této práce a byl použit jiný typ generátoru, muselo se přizpůsobit i upevnění magnetického enkodéru (obrázek 11.9b. S turbínou byl spojen asynchronní generátor s výkonem  $3 \text{ kW}$  a jmenovitými otáčkami  $1460 \text{ min}^{-1}$ . Maximální výkon vodní turbíny je přibližně  $1,7 \text{ kW}$ . Rozvaděč pro řízení byl umístěn opodál (obrázek 11.10).

Průběh měření probíhal stejně jako při testování v laboratoři na soustavě motor-generátor. Na obrázku 11.11 je záznam měření s regulátorem na otáčky. Oproti simulované soustavě je náběh turbíny pozvolnější a nedochází k překmitům otáček, které způsobovaly vysoké napětí při náběhu. Na obrázku 11.12 je detail měření s vyobrazeným průběhem napětí a frekvence. Dle přechodového jevu můžeme soustavu zařadit do kategorie G3.

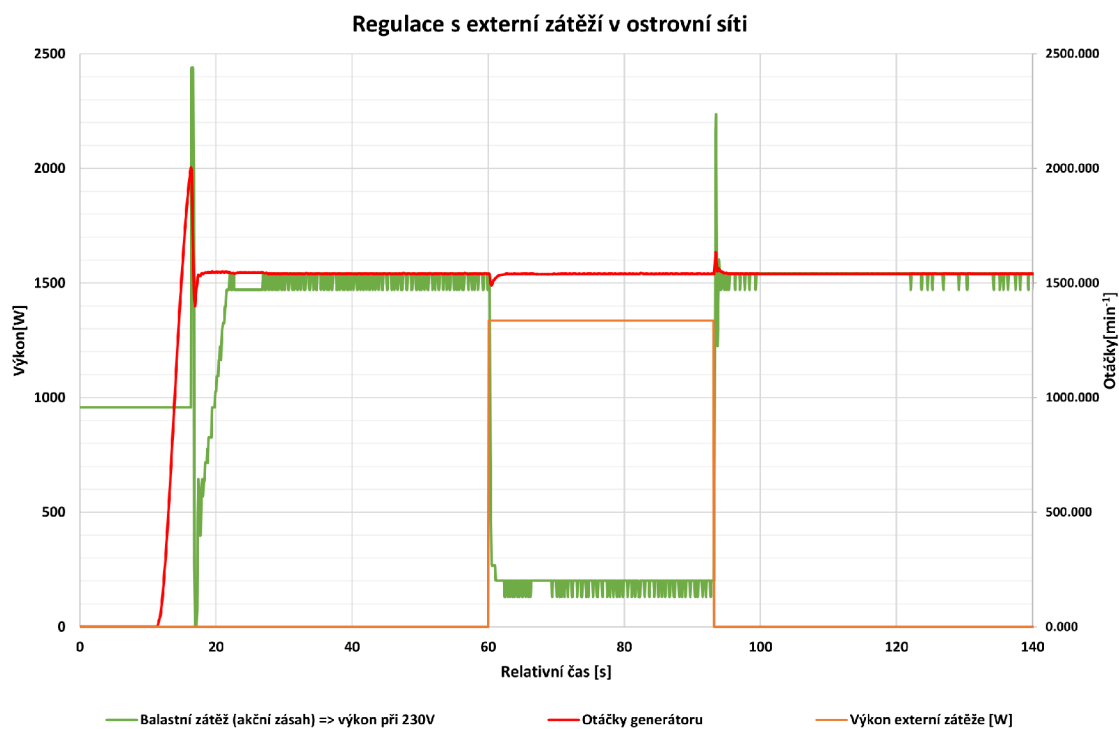
Na obrázku 11.13 je celý záznam měření, kde byl regulátor upraven pro regulaci na požadovanou frekvenci tak, aby byla zajištěna regulace na konstantní frekvenci vlivem proměnného skluzu, jak bylo popsáno v kapitole 2.2. Vlivem změny regulo-



Obr. 11.6: Detail měřených otáček z obrázku 11.5



Obr. 11.7: Detail napětí a frekvence z měření zobrazeného na obrázku 11.6



Obr. 11.8: Měřený průběh regulovaných otáček při zatěžování se změnou parametrů PSD regulátoru s PLC

vané veličiny se zpřesnil i akční zásah regulátoru a omezil se i napěťový překmit v době změny zátěže. Soustava splňuje tedy stále požadavky pro kategorii G3.



(a) Náhon k turbíně



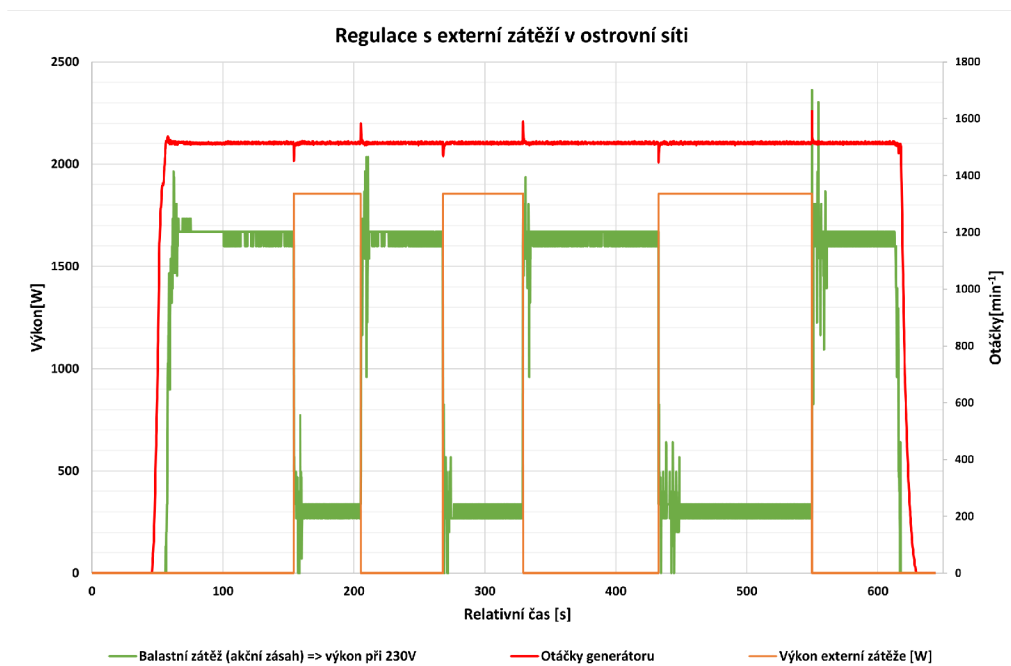
(b) Magnetický enkodér

Obr. 11.9: Turbína s generátorem na vybrané lokalitě

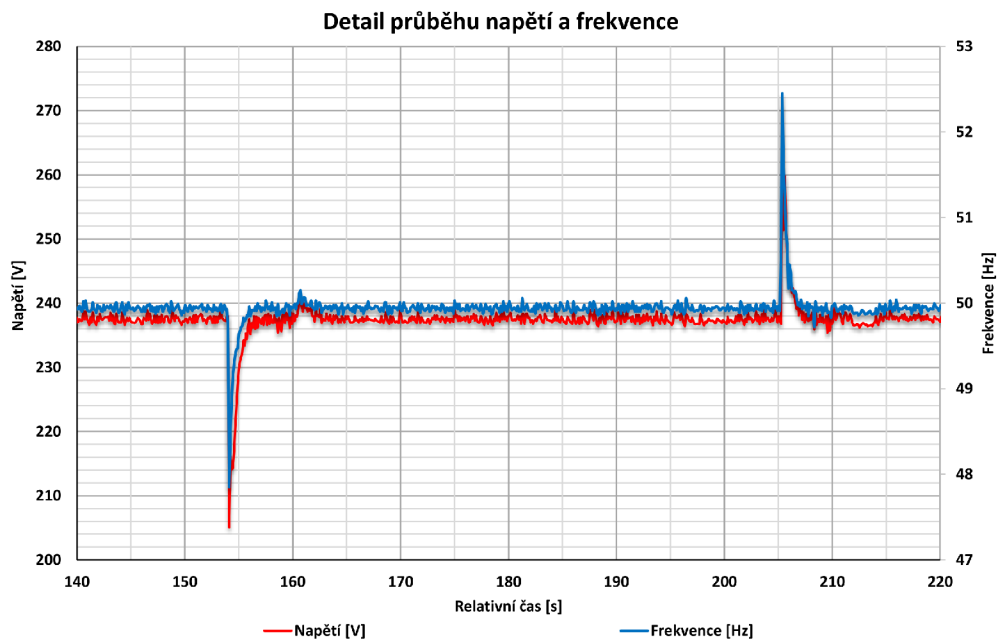


Obr. 11.10: Rozvaděč řízení na vybrané lokalitě

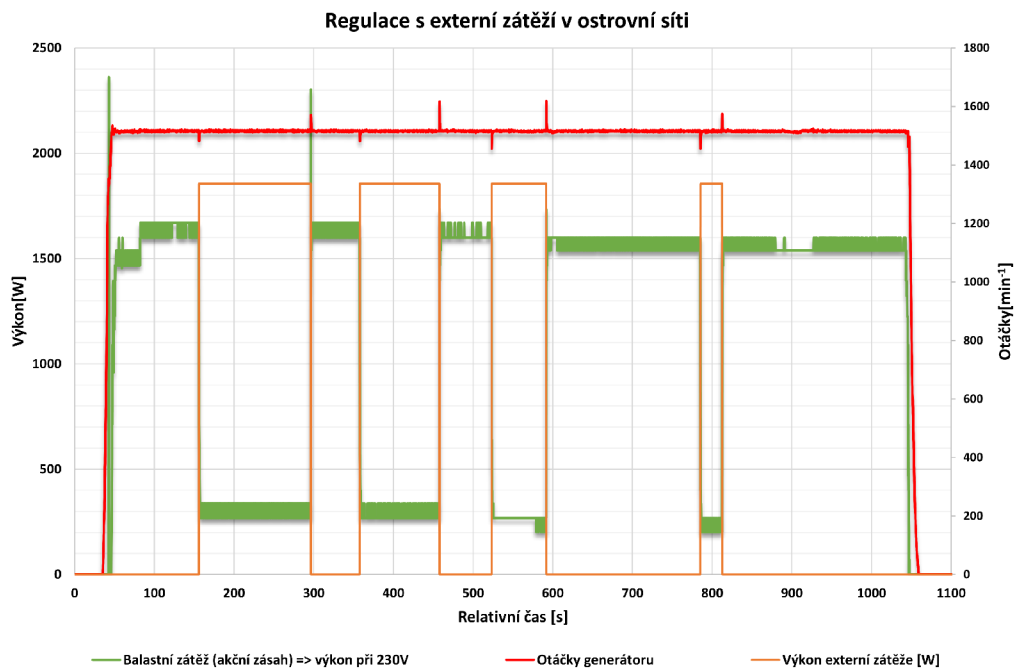




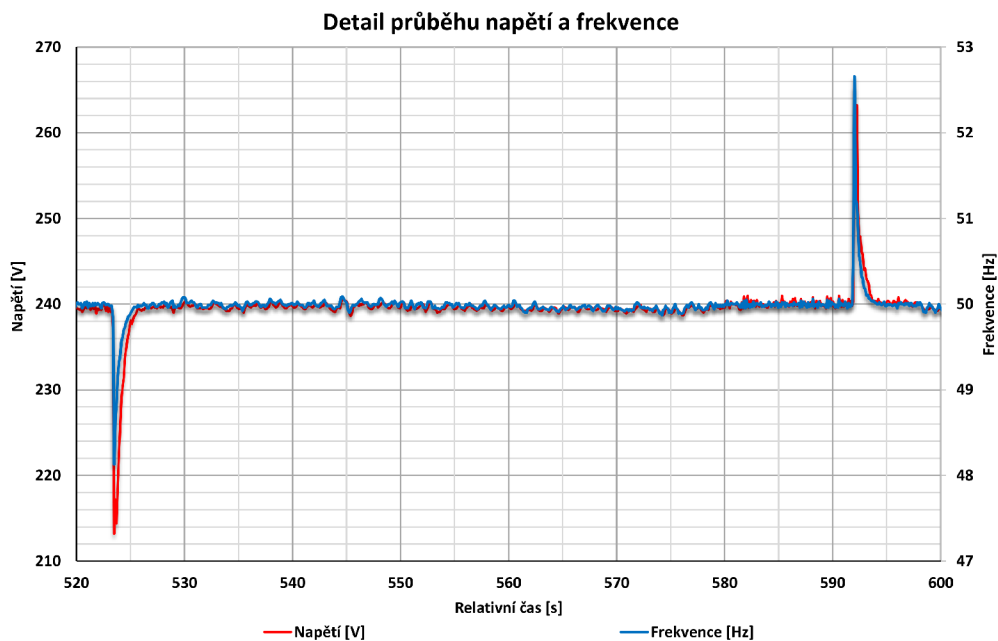
Obr. 11.11: Měřený průběh regulovaných otáček při zatěžování na dané lokalitě



Obr. 11.12: Detail přechodových jevů z obrázku 11.11



Obr. 11.13: Měřený průběh regulované frekvence při zatěžování na dané lokalitě



Obr. 11.14: Detail přechodových jevů z obrázku 11.13

## 12 Závěr

V této práci byly popsány možnosti získávání energie z obnovitelných zdrojů a následně byl proveden průzkum trhu pro mikrozdroje. Na trhu převládají malé fotovoltaické elektrárny pro provoz v ostrovní síti. V malé míře jsou na trhu dostupné větrné elektrárny, které mívají většinou výstup se stejnosměrným napětím. V současné době nebyl nalezen žádný výrobce, který by nabízel vodní mikrozdroje pro ostrovní použití.

Podařilo se navrhnout, vytvořit a oživit vlastní řídicí systém pro řízení asynchronního generátoru v ostrovní síti poháněný vodní turbínou. Dále byla navržena silová část řízení pro trojfázový asynchronní generátor s jednou výstupní fází pomocí zapojení C2C. Jako celek bylo řízení otestováno v laboratoři, kde soustavu turbína-generátor nahradila soustava motor-generátor, která byla řízena frekvenčním měničem. Pro ověření funkčnosti bylo provedeno měření v přidělené lokalitě.

Při realizaci vlastního řídicího systému byl nejsložitější průzkum trhu s elektronickými součástkami a následně správný výběr jednotlivých komponentů. U měřících částí byly problémy s jejich přesností, které byly v průběhu realizace vylepšovány. Největší chyba měření byla u převodníku proudu ACS722KMATR-20AB, který měl vysokofrekvenční rušení na výstupu. Rušení mohlo vzniknout u první verze desky nevhodným návrhem PCB, kde byl analogový signál veden přes půl desky bez stínění. Následný návrh spočíval v umístění externího ADC co nejbližší k výstupu převodníku. Toto řešení bylo také nevhodné, jelikož rušení produkoval přímo převodník. V dalším návrhu byl změněn princip měření proudu pomocí Hallovy sondy na nepřímé měření proudu s proudovým transformátorem.

Řízení pomocí navrženého řídicího systému a pomocí PLC bylo stejné, jelikož byl implementován vlastní regulátor v PLC kvůli nevyhovujícímu PSD regulátoru implementovanému v PLC. Při porovnání navrženého řídicího systému a PLC z hlediska ekonomické náročnosti je výhodnější navržený řídicí systém, jelikož implementuje převodníky, kterými PLC nedisponuje, avšak přímá implementace PLC je mnohem jednodušší a rychlejší, než v případě navrženého řídicího systému. Nevýhodou navrženého řídicího systému je cena, do které se promítla cena vývoje při výrobě jednoho kusu řídicího systému. Případná sériová výroba cenu výrazně sníží. Dále je počítáno s tím, že navržený řídicí systém bude jednou naprogramován pro určitou aplikaci a bez nutnosti změn v programu fungovat po celou životnost zařízení.



## Literatura

- [1] Solidsun s.r.o.: *SolidSun.cz* [online]. Firma zabývající se montáží fotovoltaických elektráren Frýdek-Místek, Česká republika: 2019, poslední aktualizace 18. 12. 2019 [cit. 18. 12. 2019]. Dostupné z: <https://www.solidsun.cz/>.
- [2] *Obnovitelné zdroje energie*. BENDA, Vítězslav, Helena DOLEŽALOVÁ, Peter DUŠIČKA, et al. 2. upr. a dopl. vyd. Praha: Profi Press, 2012. 208 s : ilustrace (převážně barevné). ISBN 978-80-86726-48-9.
- [3] HORNÍK, Vincenc. Problematika provozu asynchronních generátorů malých vodních elektráren v praxi a možnosti jejich využití pro napájení ostrovních sítí [online]. Brno, 2013 [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/24855>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Ondřej Vítek.
- [4] Microsoft: „.NET documentation“ [online]. Dokumentace .NET pro programování v C# . Redmond, Washington, USA: 2019, poslední aktualizace 1. 4. 2019 [cit. 15. 4. 2019]. Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/>.
- [5] Uživatel GitHub objorke: *Dokumentace OxyPlot* [online]. Knihovna Oxyplot přístupná ze serveru NuGet. USA: 2015, poslední aktualizace 24. 5. 2016 [cit. 15. 4. 2019]. Dostupné z: <http://www.oxyplot.org/announcements/nuget-packages>.
- [6] Uživatel GitHub objorke: *Dokumentace Oxyplot* [online]. Online dokumentace ke knihovně Oxyplot. USA: 2015, poslední aktualizace 25. 4. 2015 [cit. 15. 4. 2019]. Dostupné z: <http://docs.oxyplot.org/en/latest/>.
- [7] Environmental Justice Atlas: *Fotka koncentrační solární elektrárny Ivanpah v Kalifornii* [online]. Online atlas. US National Park Services, USA: 2019, poslední aktualizace 5. 11. 2019 [cit. 16. 12. 2019]. Dostupné z: <https://ejatlas.org/conflict/ivanpah-solar-electric-generating-system-california-usa>.
- [8] EKANAYAKE, Janaka: *Induction generators for small hydro schemes* [online]. Power Engineering Journal. 16, str. 61-67, 2002, poslední aktualizace 5. 11. 2019 [cit. 16. 12. 2019]. Dostupné z: <https://ejatlas.org/conflict/ivanpah-solar-electric-generating-system-california-usa>.
- [9] Uživatel ResearchGate Yongdong Wu: *Zapojení detektoru průchodu nulou* [online]. ResearchGate. Berlín, Německo: 2020, poslední aktualizace 1. 2. 2018 [cit. 3. 1. 2020]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/figure/>

Zero-crossing-detection-circuit-The-voltage-zero-crossing-signal/  
is-sent-to-MCU-port-RB0\_fig6\_323004890.

- [10] MECHANIKA Králův Dvůr s.r.o.: *Informace o turbíně Setur* [online]. Výrobce turbín Setur. Králův Dvůr, Česká republika: 2019, poslední aktualizace 16. 3. 2005 [cit. 16. 12. 2019]. Dostupné z URL: <http://www.mechanikakd.cz/turbina.html>.
- [11] HORNÍK, Vincenc. Problematika provozu asynchronních generátorů malých vodních elektráren v praxi a možnosti jejich využití pro napájení ostrovních sítí. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013, 65 l. : il. + 1 CD-ROM.
- [12] Atmel. ATMEL AT03088: Getting Started with SAM4E [online]. 2013 [cit. 11. 3. 2020]. Dostupné z: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/Appnotes/Atmel-42145-SAM-AT03088-Getting-Started-with-SAM4E\\_Application-Note.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/Appnotes/Atmel-42145-SAM-AT03088-Getting-Started-with-SAM4E_Application-Note.pdf)

## Seznam symbolů, veličin a zkratek

<b>.NET</b>	Rozhraní .NET Framework. Je to sada softwarových technologií a nástrojů.
<b>AVR</b>	Z anglického Automatic Voltage Regulator, je elektronika pro regulaci napětí u synchronních generátorů.
<b>ADC</b>	Z anglického Analog Digital Converter, je analogově digitálně převodník.
<b>CSV</b>	Comma Separated Values.
<b>CDC</b>	Communication Device Class je třída USB používaný převážně jako virtuální sériový port.
<b>DAC</b>	Z anglického Digital Analog Converter, je digitálně analogový převodník.
<b>DSP</b>	Digital Signal Processor - MCU optimalizovaný na zpracování velkého množství průběžných dat s přidávanými instrukcemi např. násobení s přičtením.
<b>FM</b>	Frekvenční měnič.
<b>FPU</b>	Z anglického Floating Point Unit, je rozšíření jádra procesoru o práci s čísly s desetinou čárkou typu float a urychlí tak tyto výpočty.
<b>HID</b>	Human Interface Device je třída USB převážně používána v zařízeních jako jsou myši, klávesnice, atd.
<b>HMI</b>	Z anglického Human-Machine Interface je název pro dotykový panel s displejem pro ovládání strojů.
<b>HSMCI</b>	Z anglického High Speed Memory Card Interface, je interface pro komunikaci s SD kartami.
<b>I2C</b>	Je univerzální komunikační protokol pro mikrokontroléry.
<b>ICSP</b>	In-Circuit Serial Programming slouží pro programování MCU.
<b>IO</b>	Z anglického Input Output => vstupně výstupní periférie.
<b>kWp</b>	Jednotka výkonu v kW a jedná se o maximální výkon, který elektrárna dokáže poskytnout za přesně specifikovaných podmínek. Využívá se hlavně se spojením s výkonem fotovoltaických elektráren.
<b>MCU</b>	Z anglického Micro Controller Unit je integrovaný obvod obsahující procesor a vstupně výstupní periférie.
<b>MVE</b>	Malá vodní elektrárna.
<b>PCB</b>	Z anglického Printed Circuit Board, je deska plošných spojů, neboli DPS.
<b>PDF</b>	Portable Document Format.
<b>PGA</b>	Z anglického Programmable Gain Amplifier, je zesilovač s proměnným zesílením. Může být součástí ADC.

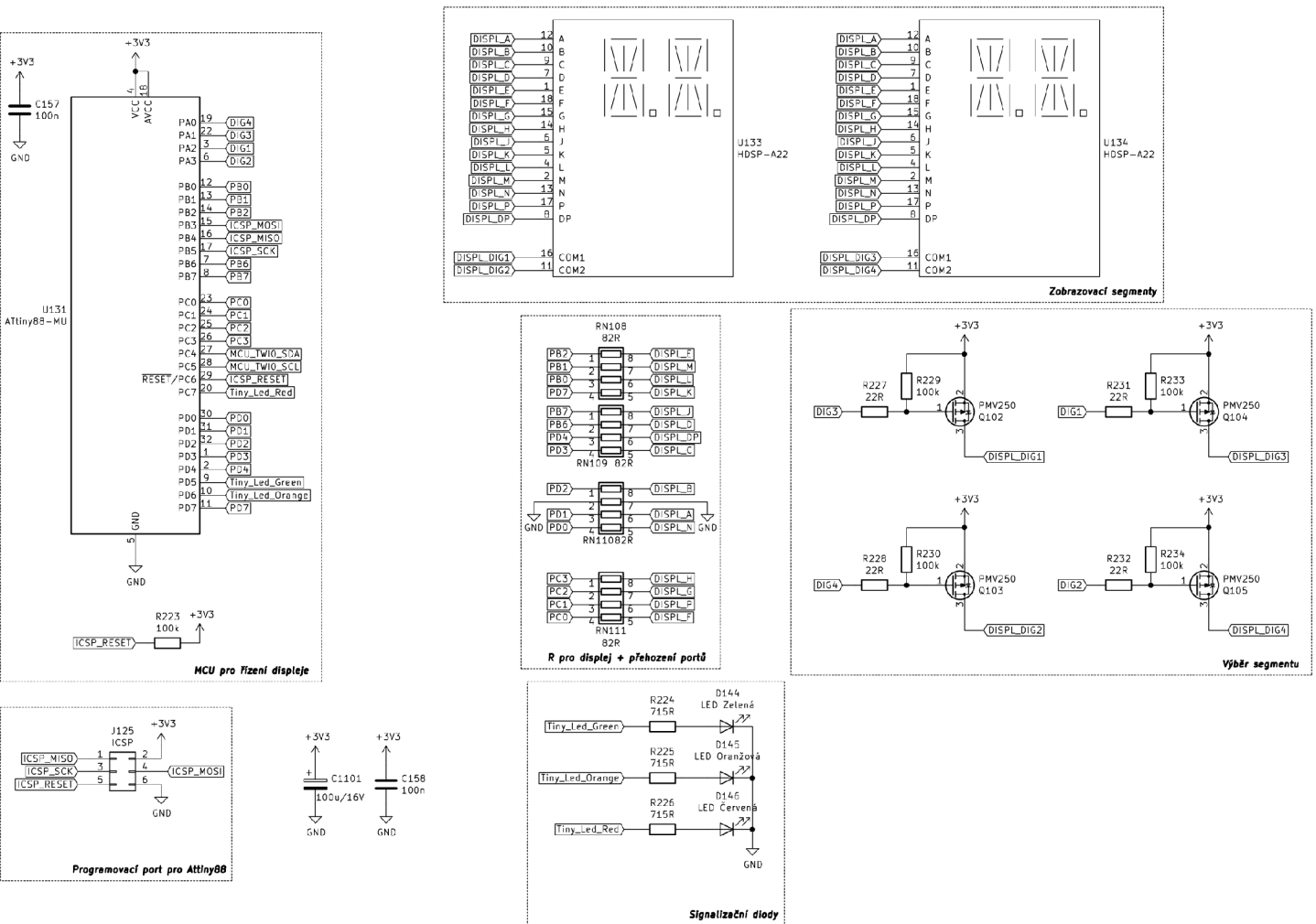
<b>PLC</b>	Z anglického <b>Programable Logic Controller</b> je název pro průmyslový počítač. Tento název se používá, jelikož je zažitý, jinak dle složitosti by se měl používat již název <b>PAC</b> z anglického <b>Programmable Automation Controller</b> .
<b>PNG</b>	<b>Portable Network Graphics</b> je grafický formát pro bezztrátovou kompresi.
<b>PSD</b>	Je složení tří složek regulátoru (Proporcionální, Sumační a Derivační) a je obdobou pro analogový PID regulátor. Mohou být i jeho odvozeniny, jako např. PS, PD, PS, S.
<b>RTC</b>	Z anglického <b>Real Time Clock</b> => jedná se o obvod pro měření času.
<b>SPI</b>	Z anglického <b>Serial Peripheral Interface</b> je komunikační protokol pro mikrokontroléry.
<b>TWI</b>	Z anglického <b>Two Wire Interface</b> je pouze jiný název pro I2C.
<b>UART</b>	Z anglického <b>Universal Asynchronous Receiver Transmitter</b> je komunikační protokol.
<b>WPF</b>	<b>Windows Presentation Foundation</b> .
<b>XAML</b>	<b>Extensible Application Markup Language</b> .
<b>xlsx</b>	Soubor aplikace <b>Microsoft EXCEL</b> .
<b>XML</b>	<b>Extensible Markup Language</b> .

# Seznam příloh

<b>A Schémata zapojení</b>	<b>71</b>
A.1 Zapojení displeje na řídicím systému . . . . .	71
A.2 Zapojení snímače otáček (enkodéru) . . . . .	72
<b>B Elektronická příloha CD</b>	<b>73</b>
<b>C Schéma zapojení rozvaděčů</b>	<b>74</b>

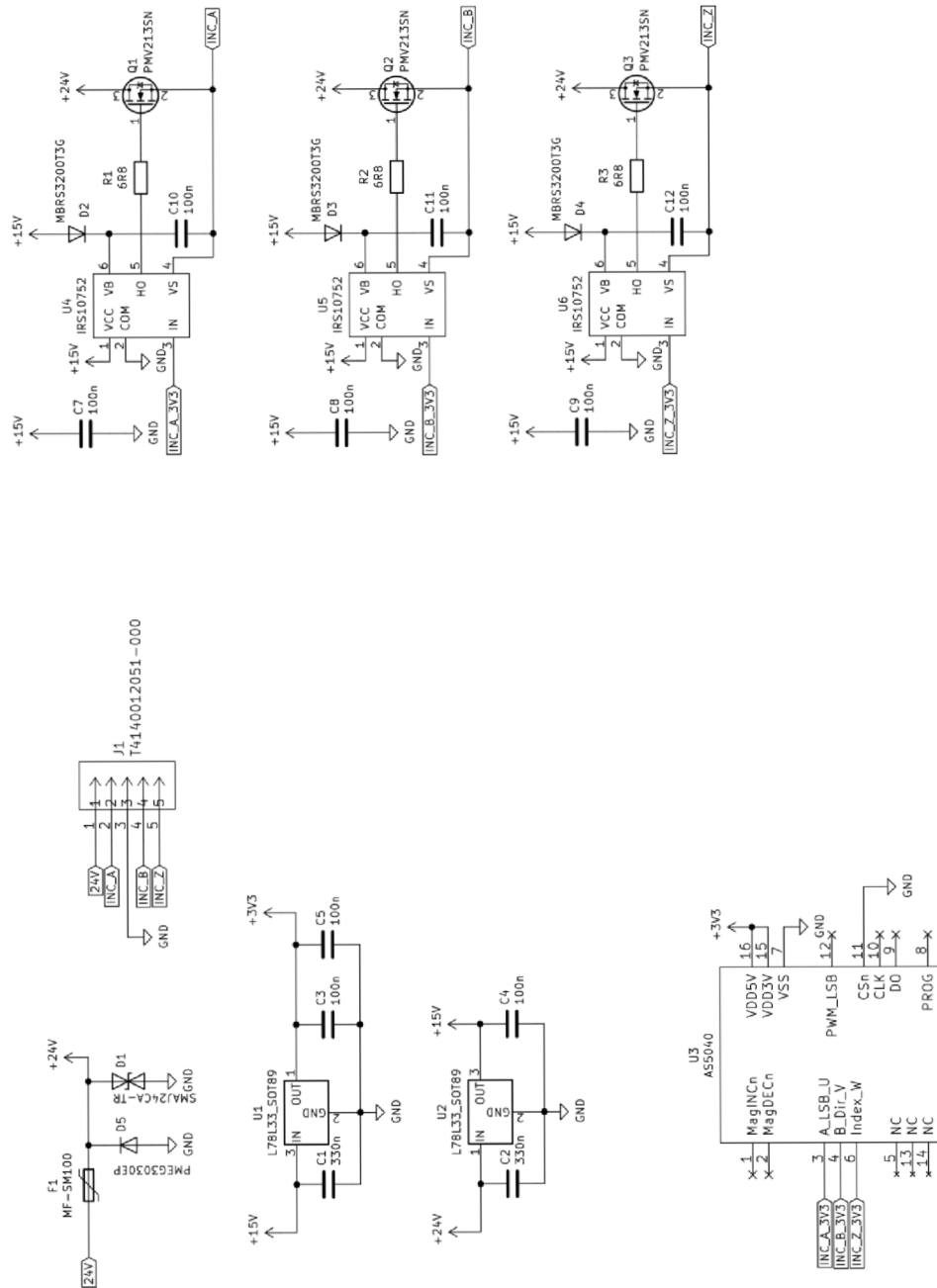
# A Schémata zapojení

## A.1 Zapojení displeje na řídicím systému



Obr. A.1: Zapojení displeje

## A.2 Zapojení snímače otáček (enkodéru)



Obr. A.2: Zapojení enkodéru

## B Elektronická příloha CD

- /
- └ Schéma zapojení rozvaděče
- └ Projekty KiCad
  - └ Řídicí systém
  - └ Převodník frekvence
  - └ Magnetický enkodér
- └ Program pro vlastní řídicí systém
- └ Program pro PLC



## **C Schéma zapojení rozvaděčů**



## ELZACO spol. s r.o

Boženy Němcové 727/10  
787 01 Šumperk  
Tel.: +420 583 213 394  
Email: elzaco@elzaco.cz  
Web: www.elzaco.cz

Zákazník:

Název projektu:

Řízení ostrovní síť

Číslo výkresu:

Č. zakázky ELZACO:

Výrobce:

ELZACO s.r.o.

Projekční stupeň:

Popis projektu:

Výrobek:

Rozvaděč

Typ:

Samostatně stojící skříňový rozvaděč

Místo instalace:

Testovací rozvaděč

Osoba odpovědná za projekt:

Ing. Roman Kubiček

Zpracoval:

Jan Novotný

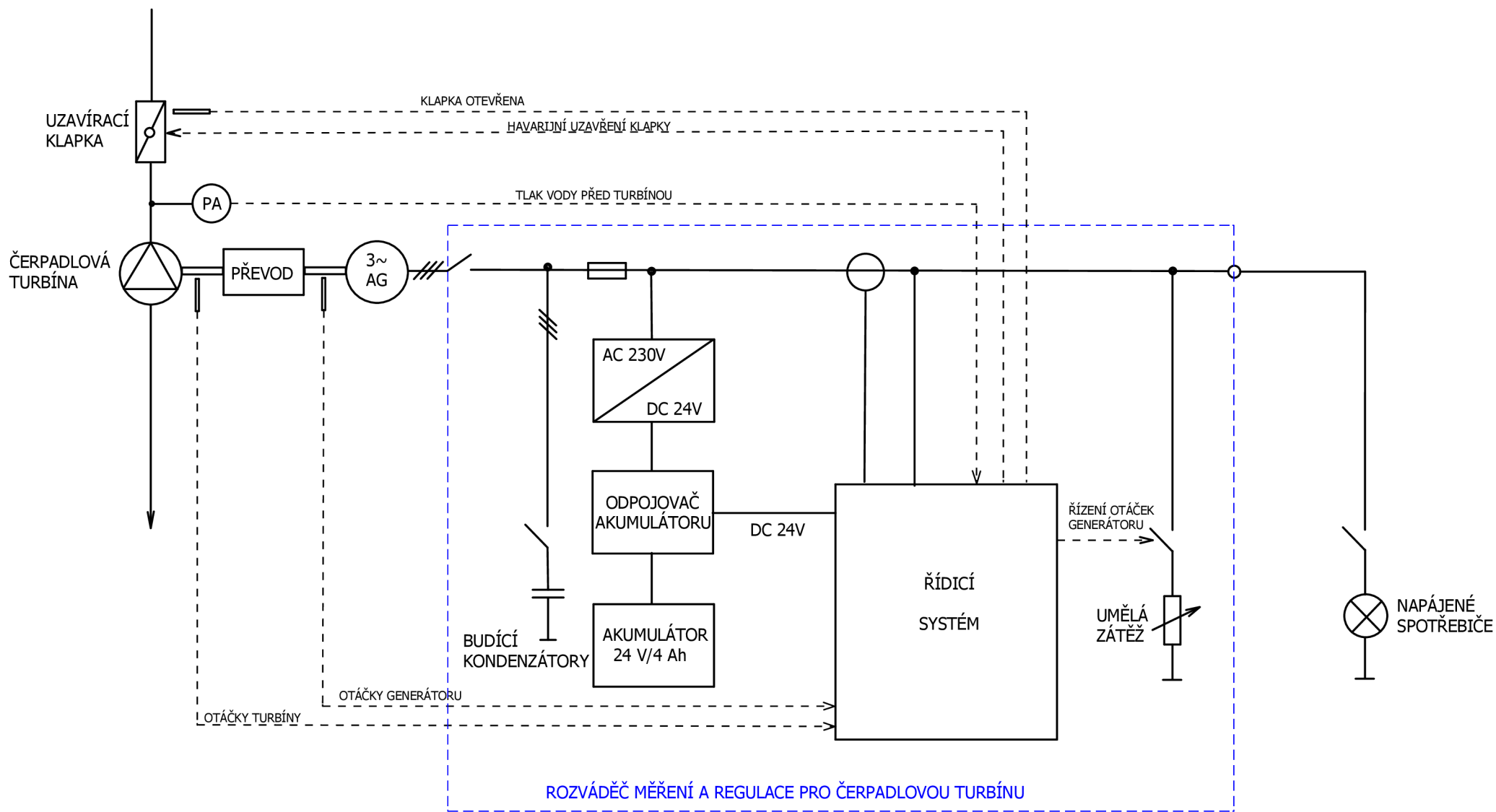
Zpracováno dne:

2.9.2019

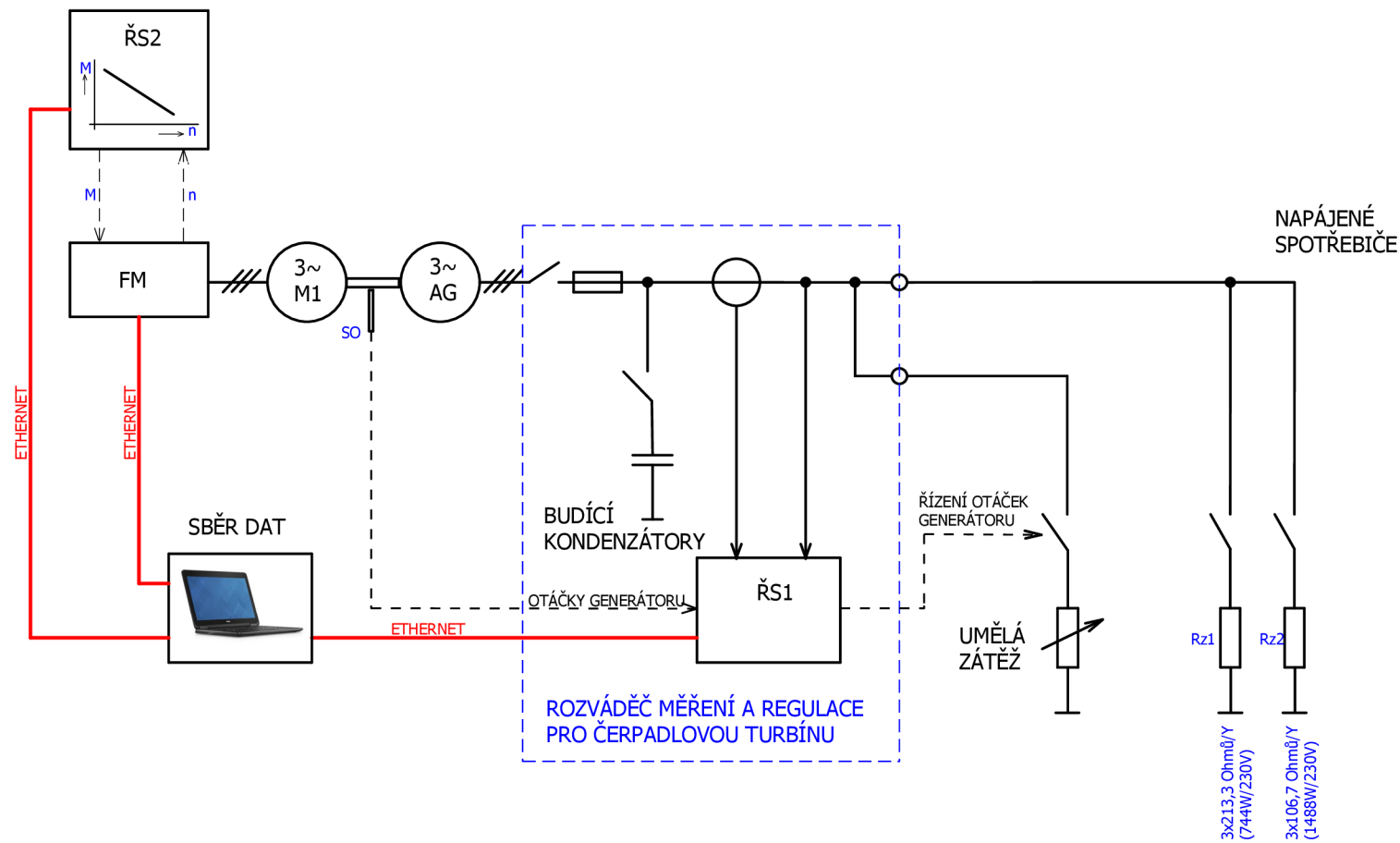
# Tabulky

## Barevné značení vodičů

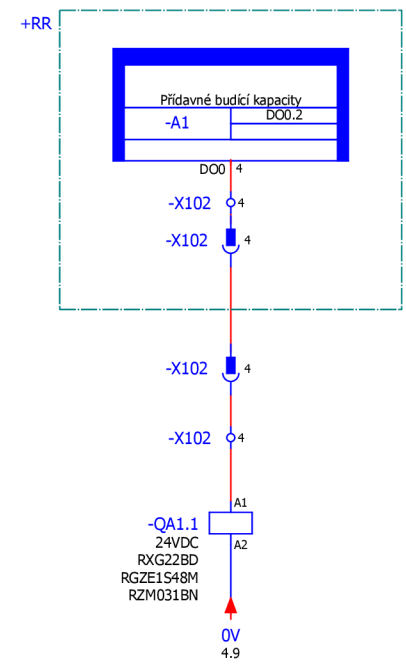
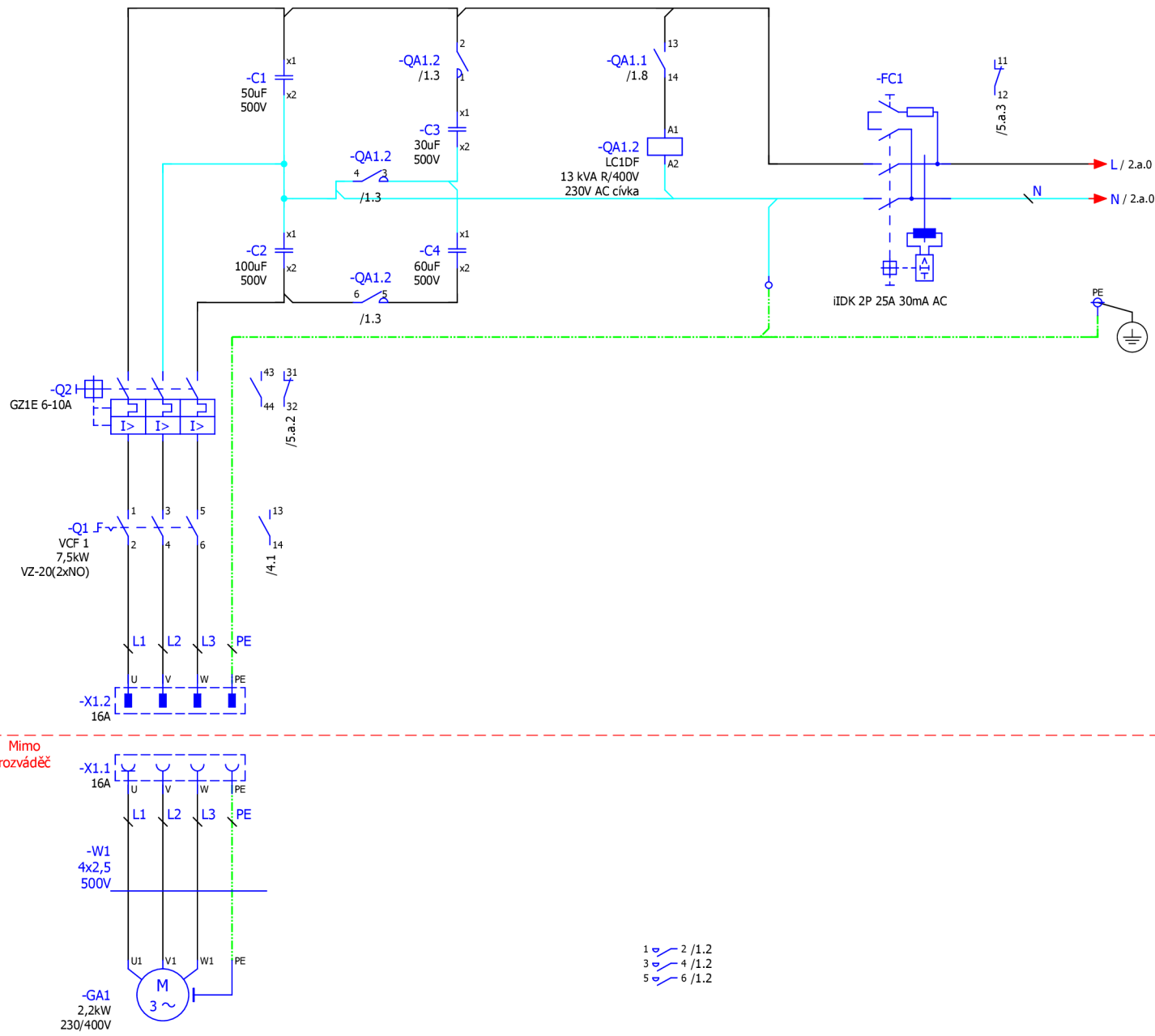
	EN	DE	CZ	RU
WH	WHITE	WEISS	BÍLÁ	БЕЛАЯ
BN	BROWN	BRAUN	HNĚDÁ	КОРИЧНЕВАЯ
GN	GREEN	GRÜN	ZELENÁ	ЗЕЛЁНАЯ
YE	YELLOW	GELB	ŽLUTÁ	ЖЁЛТАЯ
GY	GRAY	GRAU	ŠEDÁ	СЕРАЯ
PK	PINK	ROSA	RŮŽOVÁ	РОЗОВАЯ
BU	BLUE	BLAU	MODRÁ	СИНЯЯ
RD	RED	ROT	ČERVENÁ	КРАСНАЯ
BK	BLACK	SCHWARZ	ČERNÁ	ЧЁРНАЯ
VT	VIOLET	VIOLETT	FIALOVÁ	ФИОЛЕТОВАЯ
OR	ORANGE	ORANGE	ORANŽOVÁ	ОРАНЖЕВАЯ
GNYE	GREEN/YELLOW	GRÜN/GELB	ZELENO/ŽLUTÁ	ЗЕЛЁНАЯ/ЖЁЛТАЯ
BN/GN	BROWN/GREEN	BRAUN/GRÜN	HNĚDO/ZELENÁ	КОРИЧНЕВАЯ/ЗЕЛЁНАЯ
WH/GN	WHITE/GREEN	WEISS/GRÜN	BÍLO/ZELENÁ	БЕЛАЯ/ЗЕЛЁНАЯ
GN/BK	GREEN/BLACK	GRÜN/SCHWARZ	ZELENO/ČERNÁ	ЗЕЛЁНАЯ/ЧЁРНАЯ
YE/BK	YELLOW/BLACK	GELB/SCHWARZ	ŽLUTO/ČERNÁ	ЖЁЛТАЯ/ЧЁРНАЯ
BU/BK	BLUE/BLACK	BLAU/SCHWARZ	MODRO/ČERNÁ	СИНЯЯ/ЧЁРНАЯ
RD/BK	RED/BLACK	ROT/SCHWARZ	ČERVENO/ČERNÁ	КРАСНАЯ/ЧЁРНАЯ



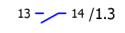
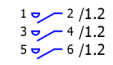
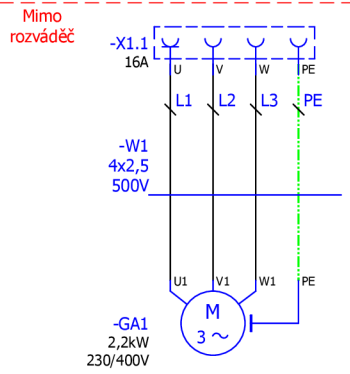
<b>ELZACO spol. s r.o.</b> Boženy Němcové 727/10 CZ - 787 01 Šumperk <a href="http://www.elzaco.cz">http://www.elzaco.cz</a>	Datum	20.01.2020	Název:	<b>Řízení ostrovní sítě</b>	Popis strany:	ČÍSLO ZAKÁZKY	Název strany:	ROZVÁDĚČ	=	Info
	Vypracoval	Jan Novotný	Kontroloval	Ing. Roman Kubiček	Blokové schéma	ARCHIVNÍ ČÍSLO	<b>3</b>	POLE	+	
	Schválil	Jiří Vénos	Investor:			ČÍSLO VÝKRESU		Posl. strana st.:	4	Strana:
								Stran struktury:	4	Celkem:



<b>ELZACO spol. s r.o.</b> Boženy Němcové 727/10 CZ - 787 01 Šumperk <a href="http://www.elzaco.cz">http://www.elzaco.cz</a>	Datum	20.01.2020	Název:	<b>Řízení ostrovní sítě</b>	Popis strany:	ČÍSLO ZAKÁZKY	Název strany:	ROZVÁDĚČ	=	Info	
	Vypracoval	Jan Novotný	Kontroloval		Ing. Roman Kubiček	Schéma zapojení měřicího pracoviště	ARCHIVNÍ ČÍSLO	ČÍSLO VÝKRESU	POLE	+	
	Schválil	Jiří Vénos	Investor:						Posl. strana st.:	4	Strana: 4
									Stran struktury:	4	Celkem: 26

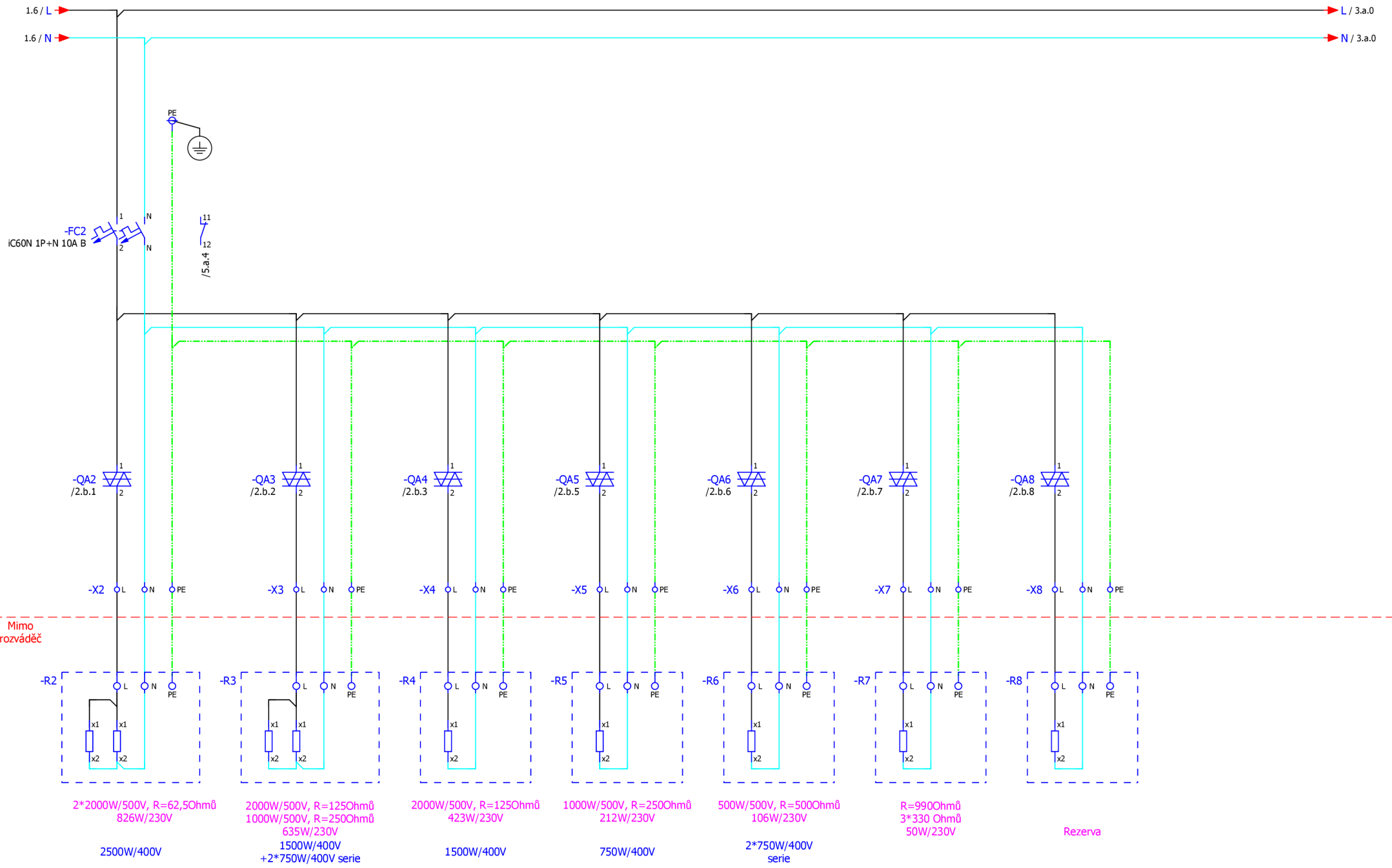


Přídavné budiče kondenzátory

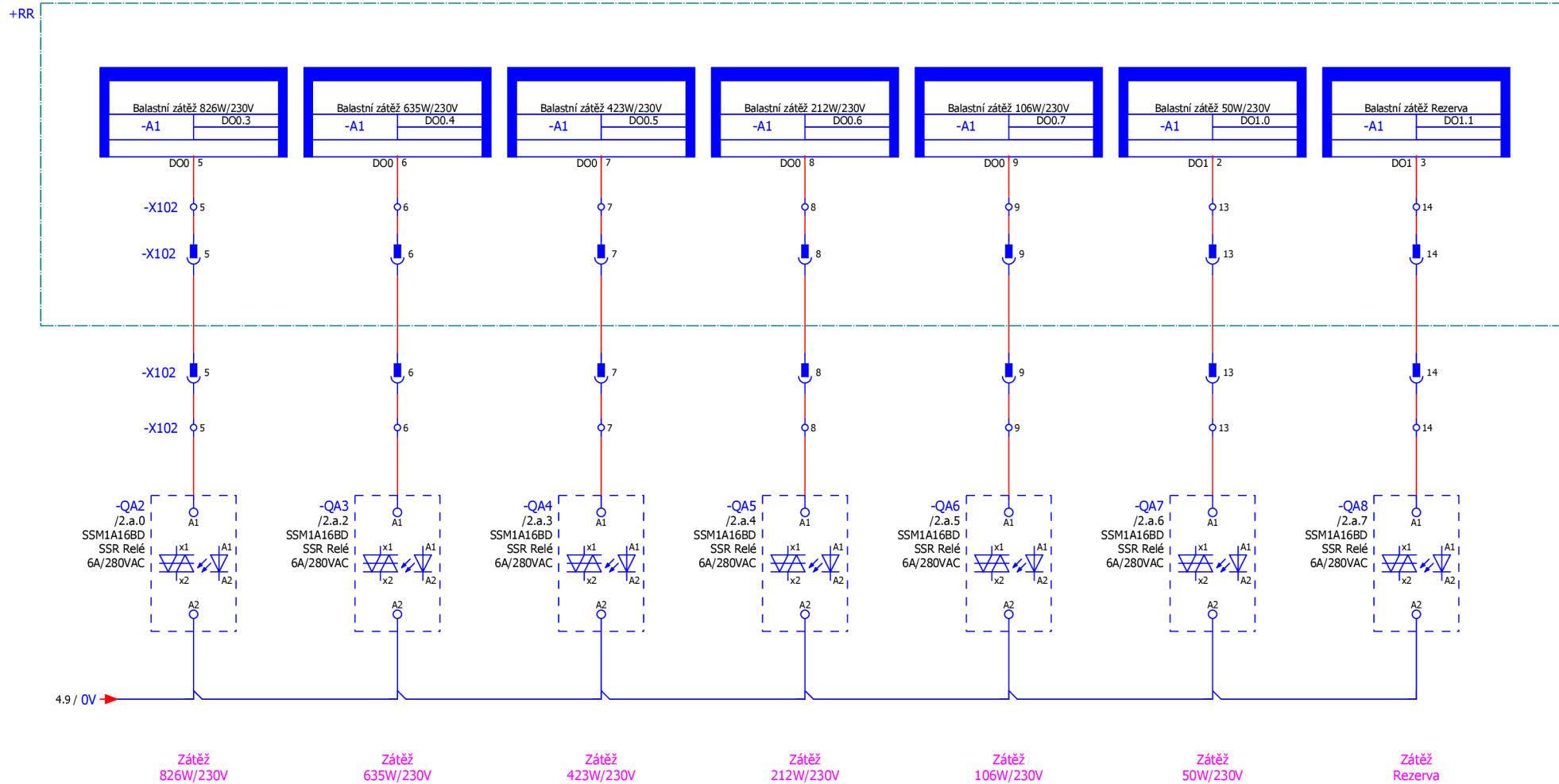


=Info+/4

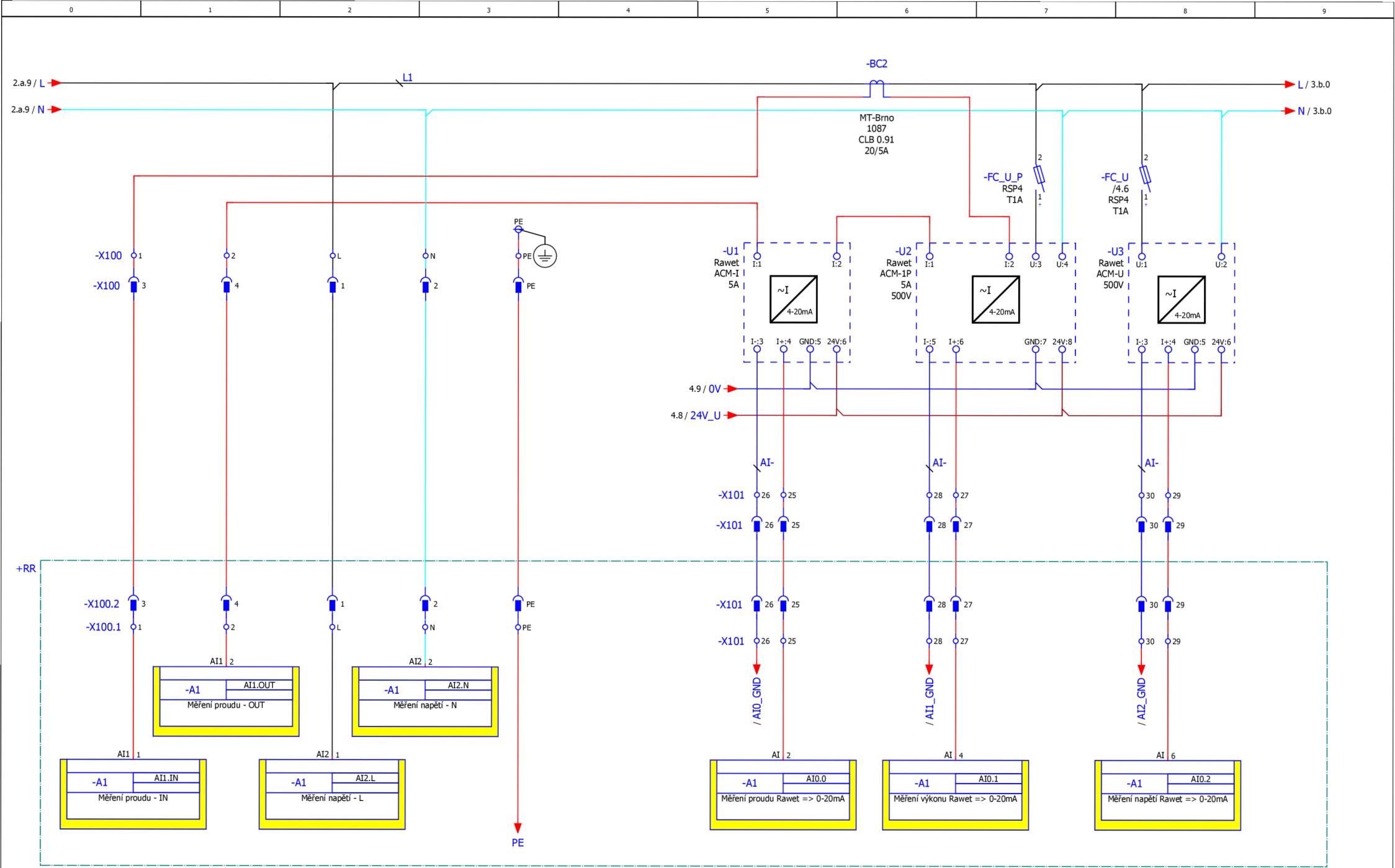
<b>ELZACO spol. s r.o.</b> Boženy Němcové 727/10 CZ - 787 01 Šumperk http://www.elzaco.cz	Datum	13.02.2020	Název:	Řízení ostrovní sítě	Popis strany:	ČÍSLO ZAKÁZKY	Název strany:	ROZVÁDĚČ	=	RG
	Vypracoval	Jan Novotný	Kontroloval	Ing. Roman Kubiček	Generátor	ARCHIVNÍ ČÍSLO	ČÍSLO VÝKRESU	POLE	+	R1
Investor:	Schwánil	Jiří Vénos	Stran struktury:	9	Strana:	5	Stran struktury:	9	Celkem:	26

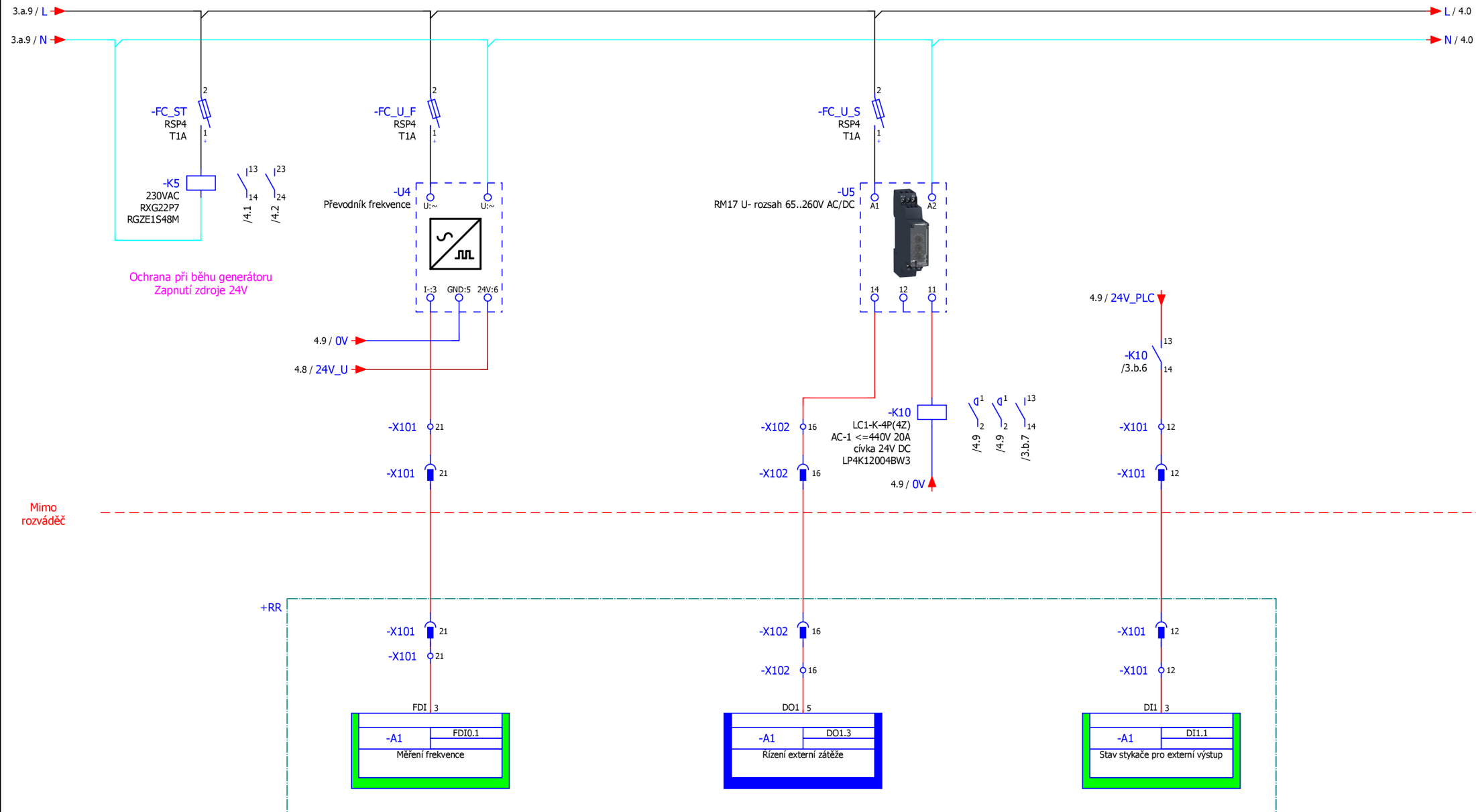


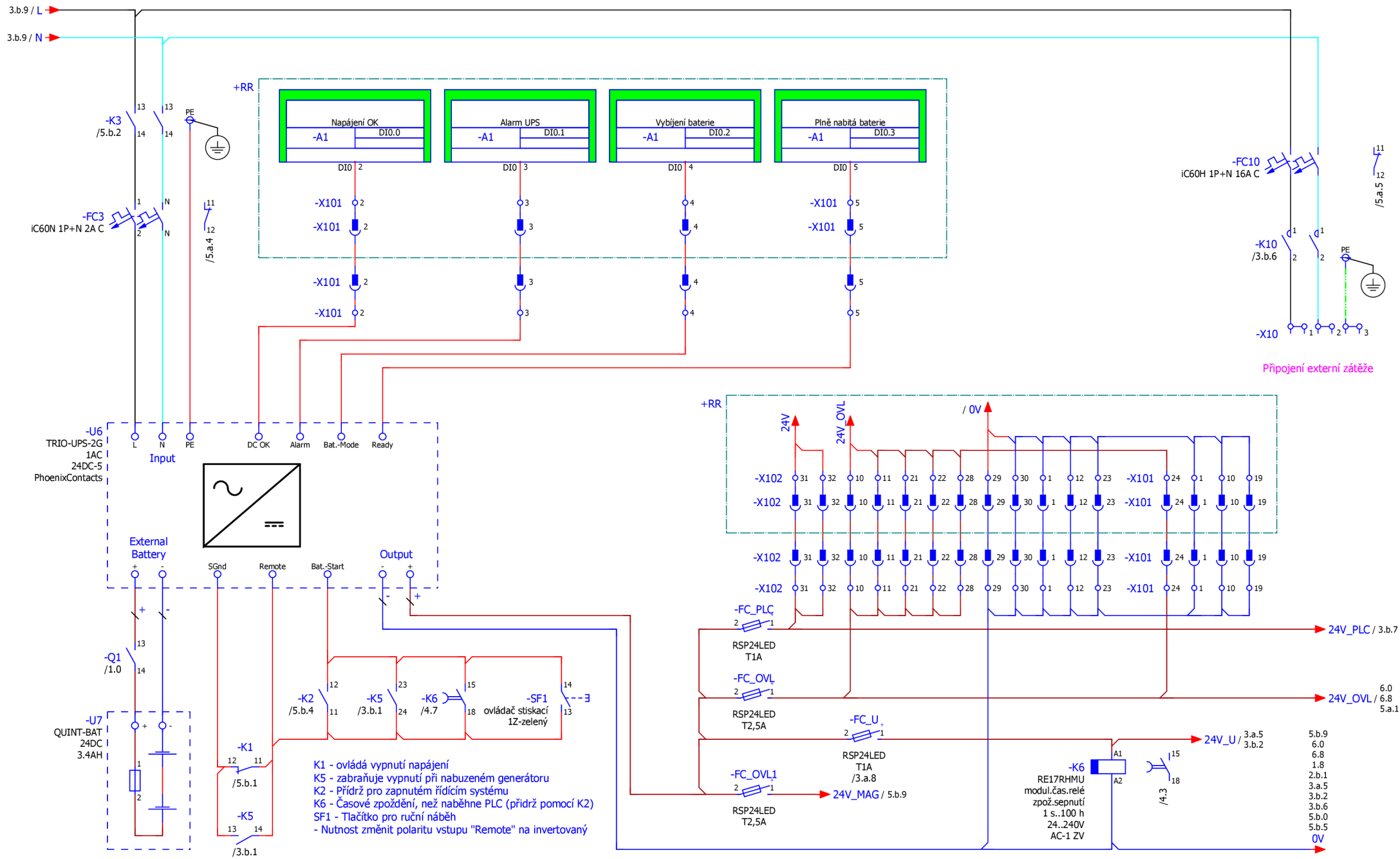
<b>ELZACO spol. s r.o.</b> Boženy Němcové 727/10 CZ - 787 01 Šumperk <a href="http://www.elzaco.cz">http://www.elzaco.cz</a>	Datum	13.02.2020	Název:	Řízení ostrovní sítě	Popis strany:	ČÍSLO ZAKÁZKY	Název strany:	ROZVÁDĚČ	=	RG	
	Vypracoval	Jan Novotný	Kontroloval	Ing. Roman Kubiček	Balastní zátěž	ARCHIVNÍ ČÍSLO	ČÍSLO VÝKRESU	POLE	+	R1	
	Schválil	Jiří Vénos	Investor:					Posl. strana st.:	6	Strana:	6
								Stran struktury:	9	Celkem:	26

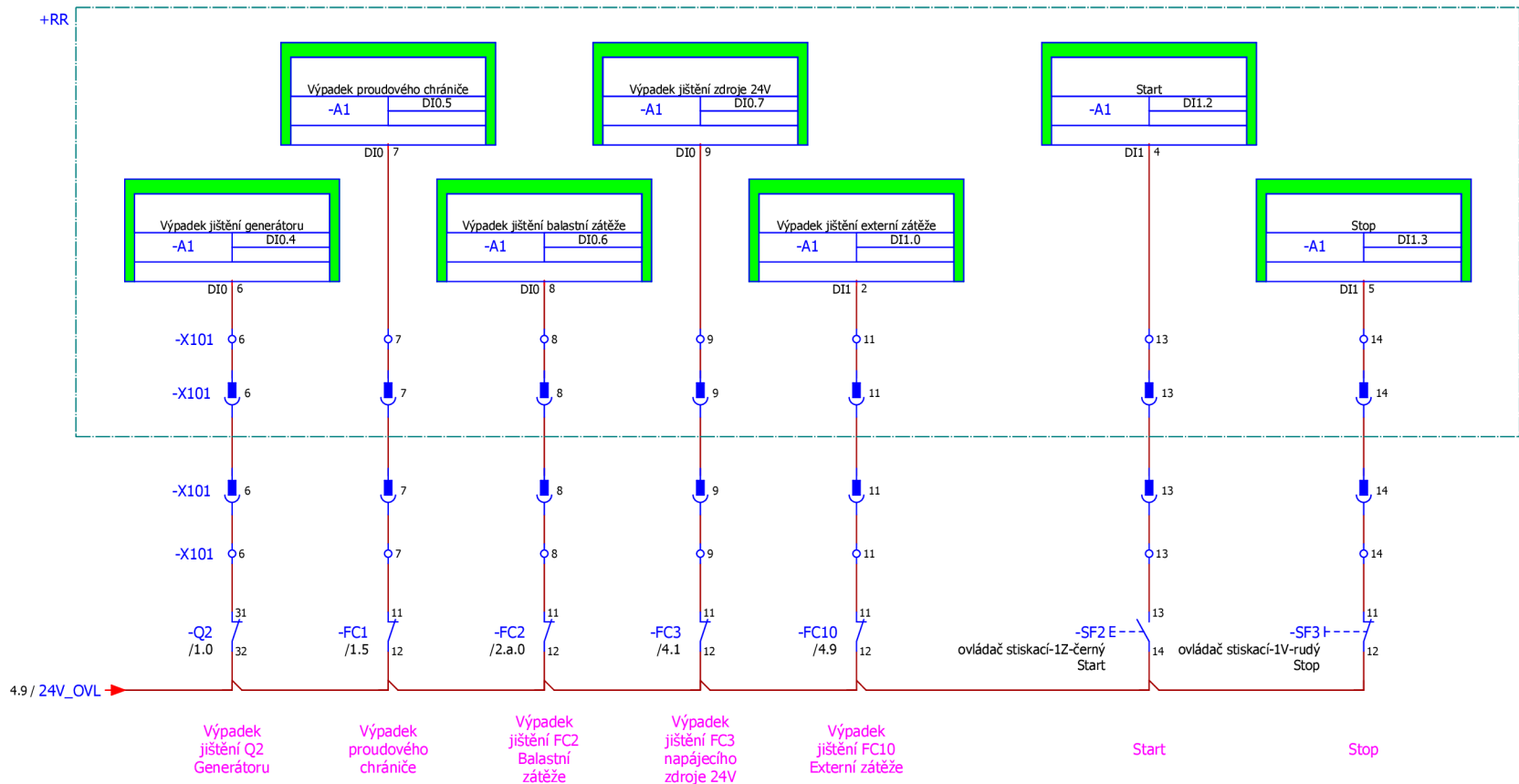


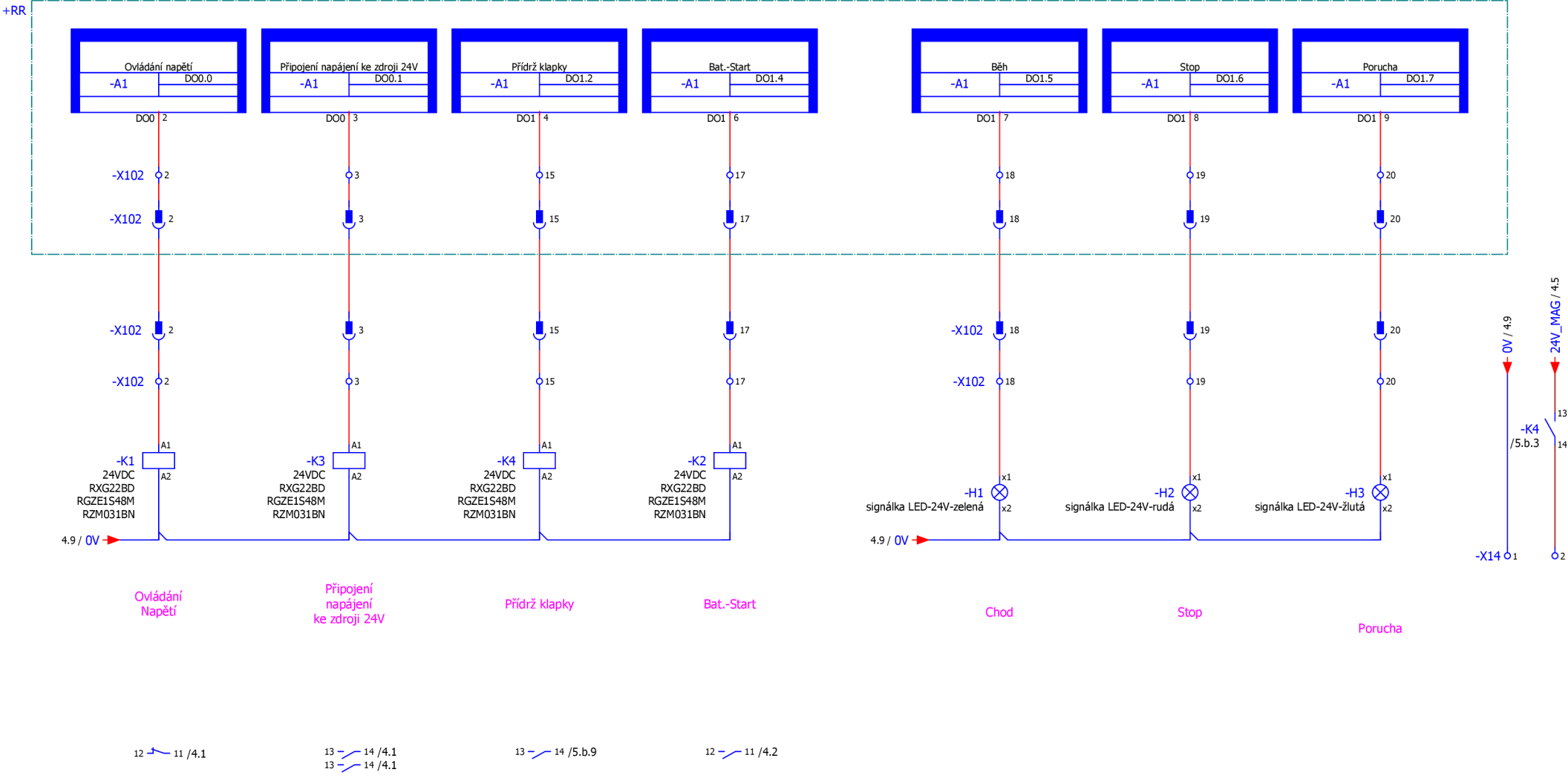




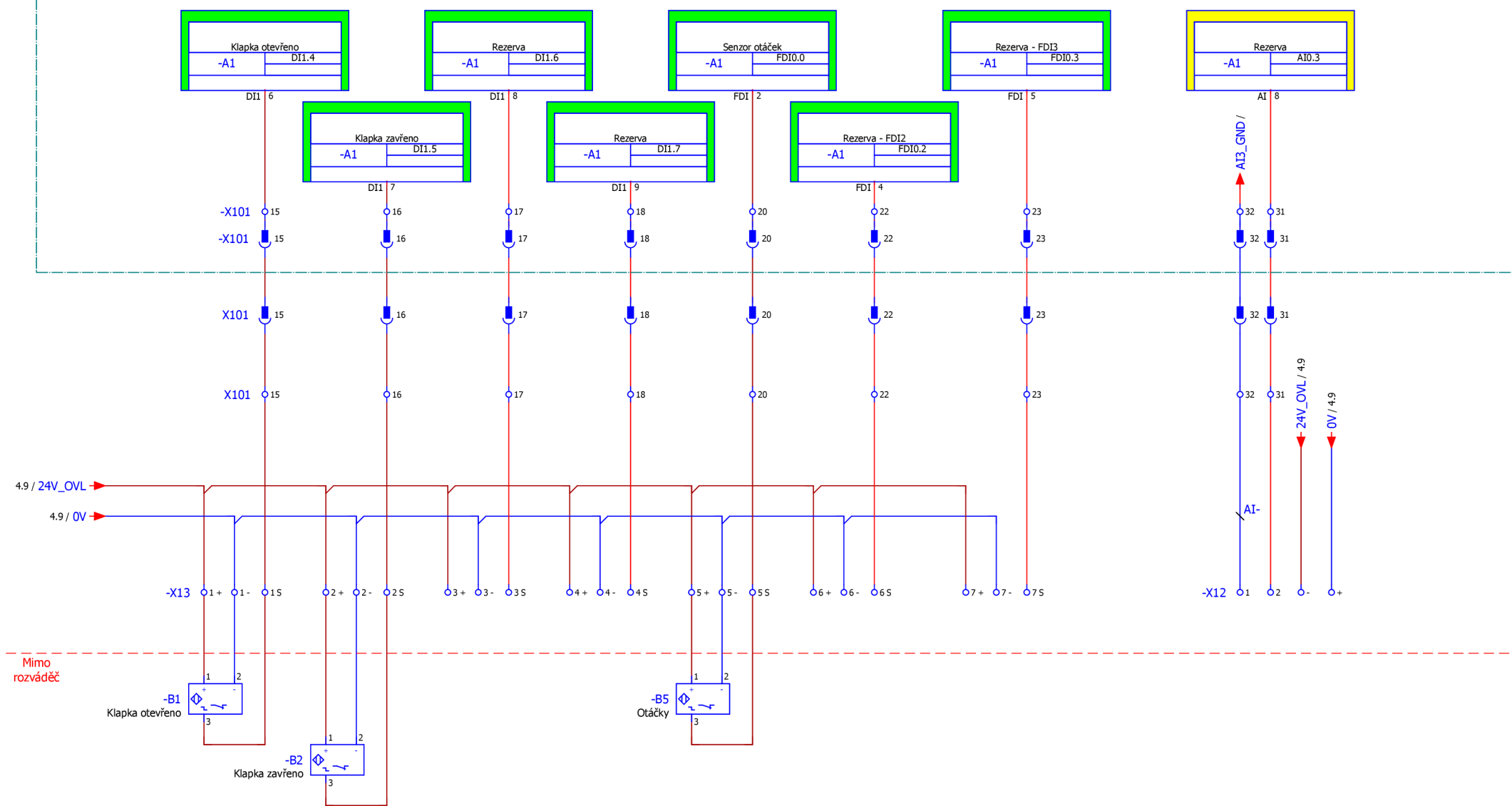


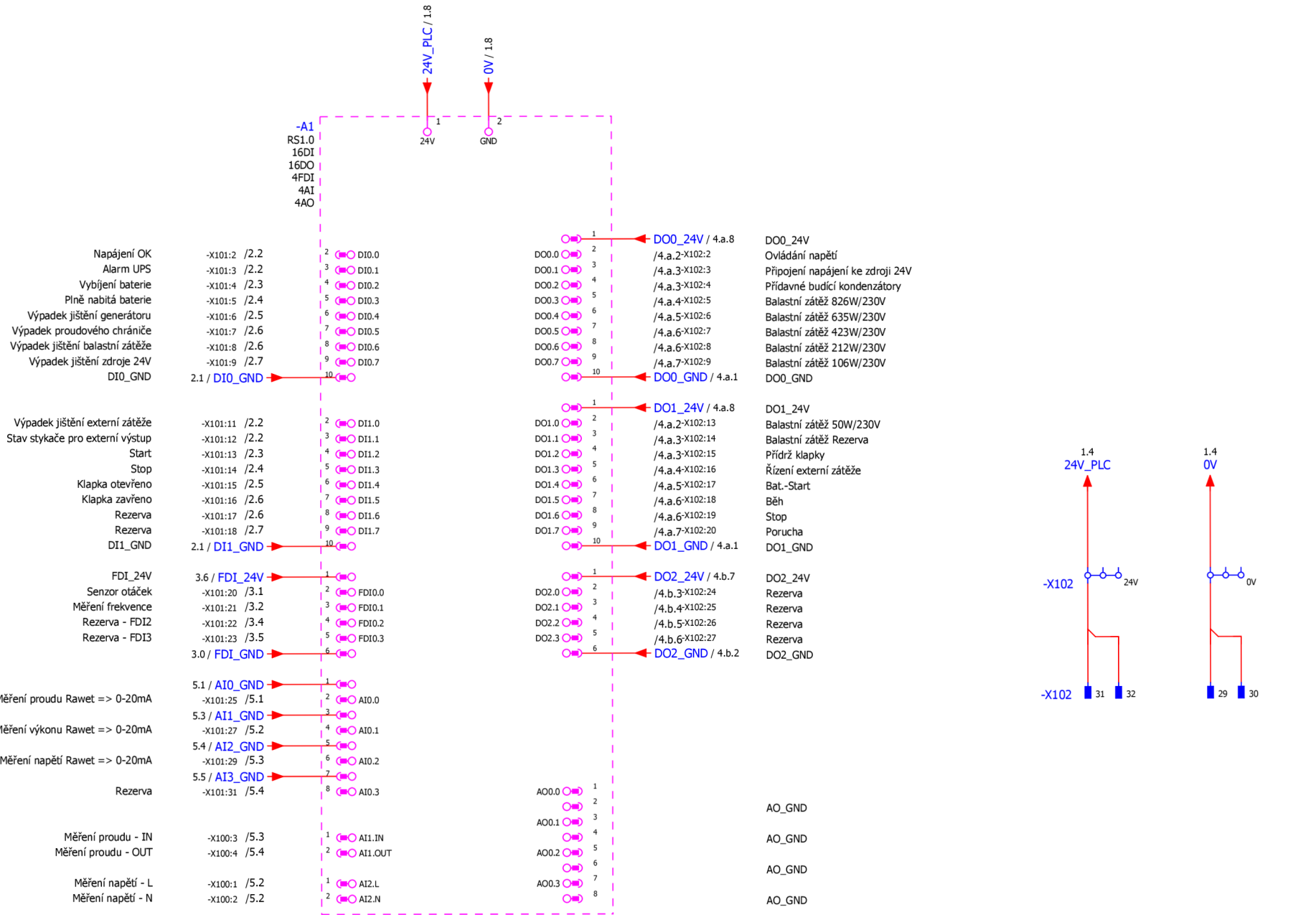




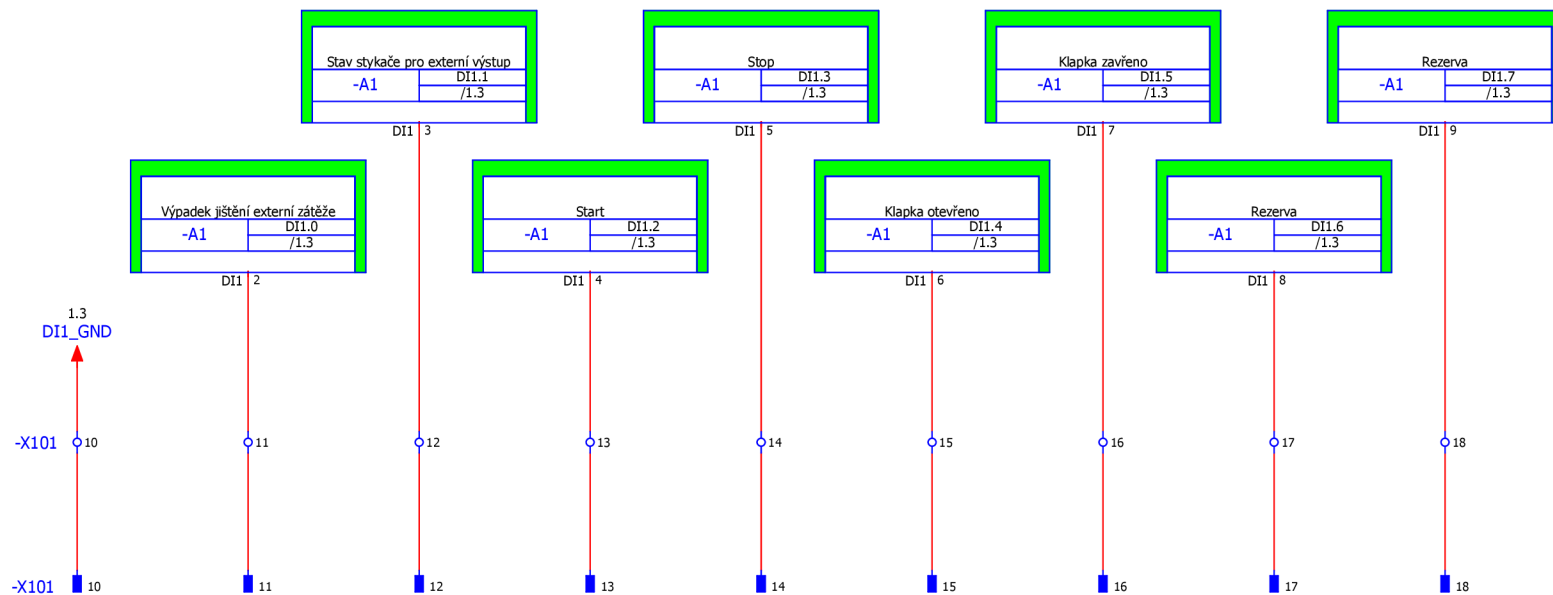
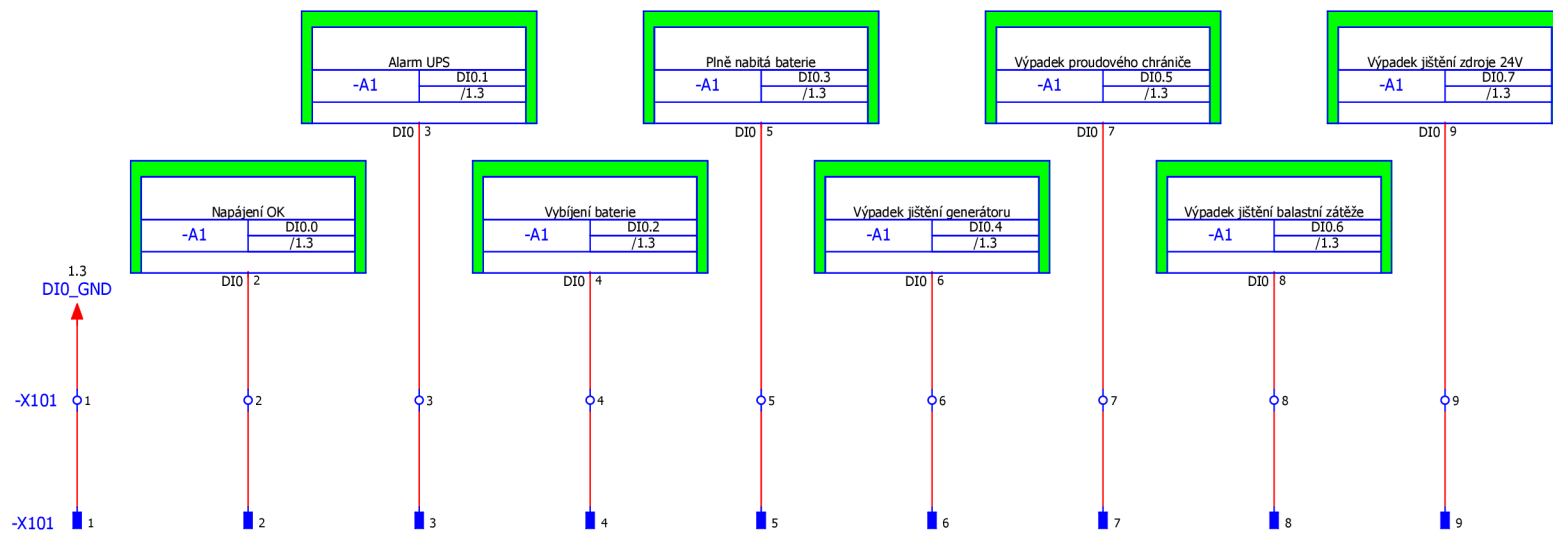


5.a

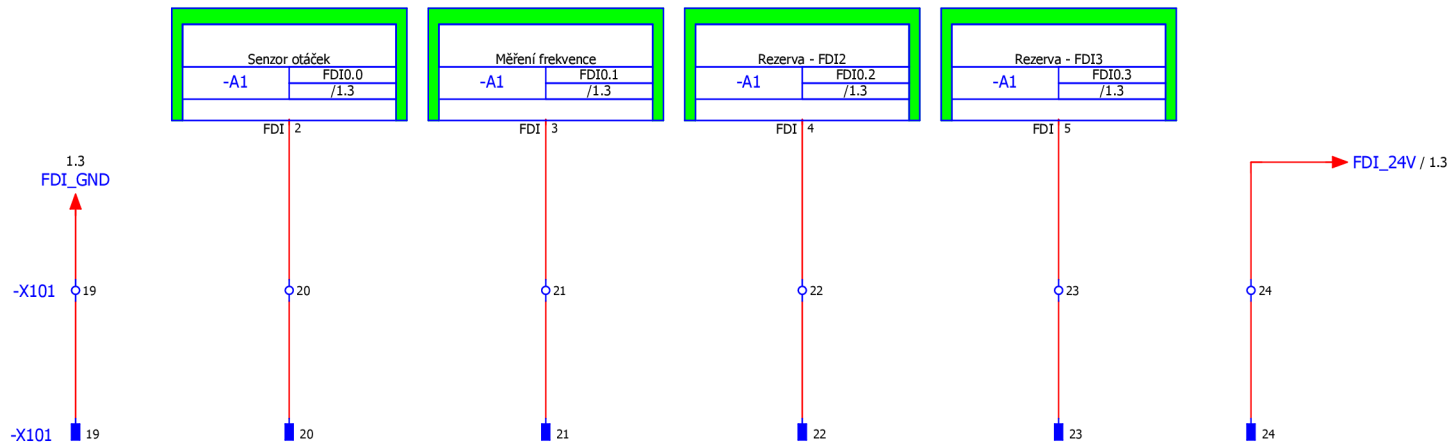





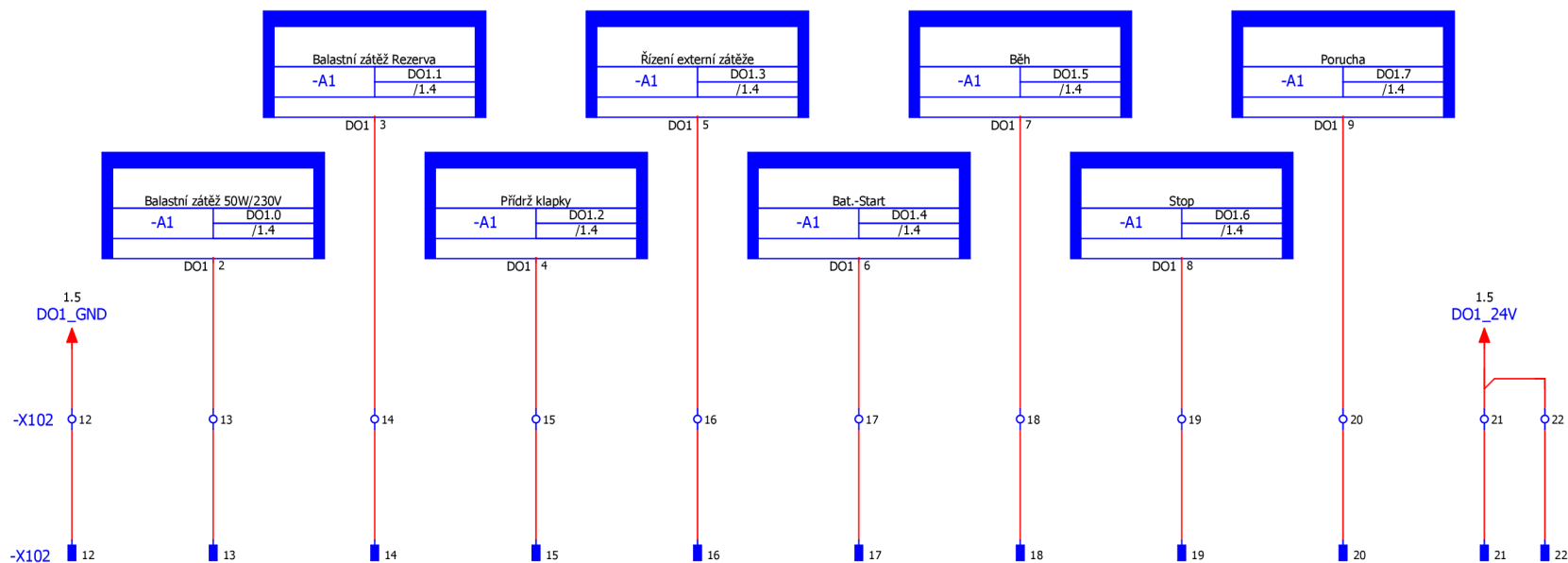
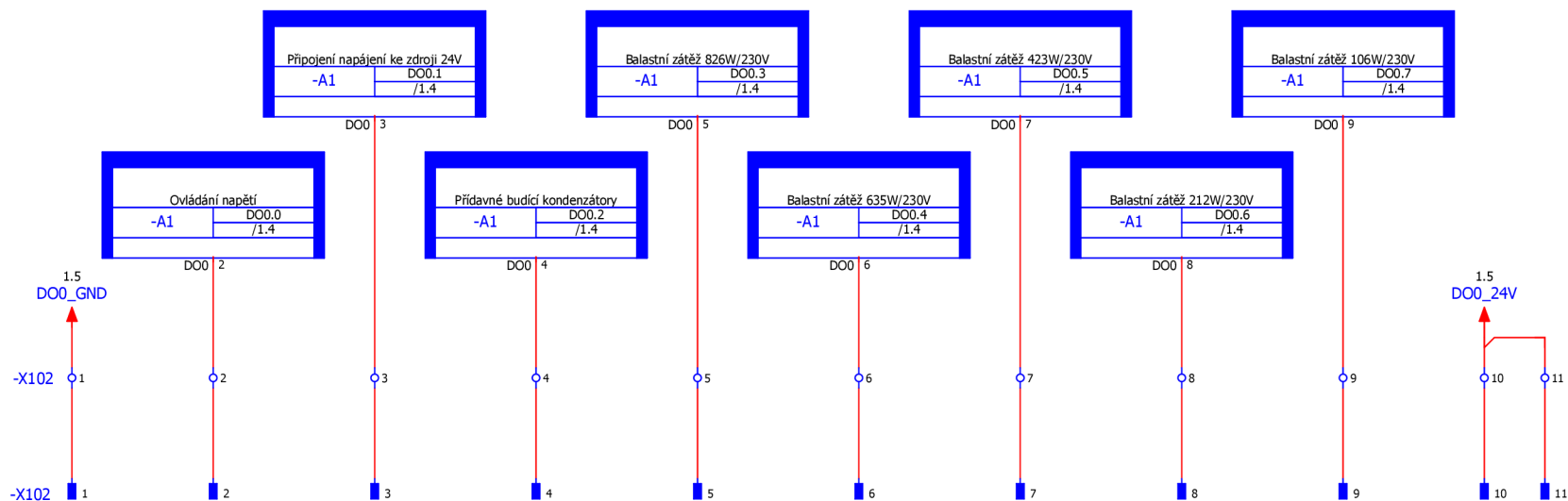
Napájení OK	-X101:2 /2.2	2	DI0.0	DO0.0	1	DO0_24V / 4.a.8	DO0_24V
Alarm UPS	-X101:3 /2.2	3	DI0.1	DO0.1	2	/4.a.2-X102:2	Ovládání napětí
Vybíjení baterie	-X101:4 /2.3	4	DI0.2	DO0.2	3	/4.a.3-X102:3	Připojení napájení ke zdroji 24V
Plně nabitá baterie	-X101:5 /2.4	5	DI0.3	DO0.3	4	/4.a.3-X102:4	Přidavné budicí kondenzátory
Výpadek jištění generátoru	-X101:6 /2.5	6	DI0.4	DO0.4	5	/4.a.4-X102:5	Balastní zátěž 826W/230V
Výpadek proudového chrániče	-X101:7 /2.6	7	DI0.5	DO0.5	6	/4.a.5-X102:6	Balastní zátěž 635W/230V
Výpadek jištění balastní zátěže	-X101:8 /2.6	8	DI0.6	DO0.6	7	/4.a.6-X102:7	Balastní zátěž 423W/230V
Výpadek jištění zdroje 24V	-X101:9 /2.7	9	DI0.7	DO0.7	8	/4.a.6-X102:8	Balastní zátěž 212W/230V
DI0_GND	2.1 / DI0_GND	10	DI0.7	DO0.7	9	/4.a.7-X102:9	Balastní zátěž 106W/230V
					10	DO0_GND / 4.a.1	DO0_GND
Výpadek jištění externí zátěže	-X101:11 /2.2	2	DI1.0	DO1.0	1	DO1_24V / 4.a.8	DO1_24V
Stav stykače pro externí výstup	-X101:12 /2.2	3	DI1.1	DO1.1	2	/4.a.2-X102:13	Balastní zátěž 50W/230V
Start	-X101:13 /2.3	4	DI1.2	DO1.2	3	/4.a.3-X102:14	Balastní zátěž Rezerva
Stop	-X101:14 /2.4	5	DI1.3	DO1.3	4	/4.a.3-X102:15	Přídrž klapy
Klapka otevřeno	-X101:15 /2.5	6	DI1.4	DO1.4	5	/4.a.4-X102:16	Řízení externí zátěže
Klapka zavřeno	-X101:16 /2.6	7	DI1.5	DO1.5	6	/4.a.5-X102:17	Bat.-Start
Rezerva	-X101:17 /2.6	8	DI1.6	DO1.6	7	/4.a.6-X102:18	Běh
Rezerva	-X101:18 /2.7	9	DI1.7	DO1.6	8	/4.a.6-X102:19	Stop
DI1_GND	2.1 / DI1_GND	10	DI1.7	DO1.7	9	/4.a.7-X102:20	Porucha
					10	DO1_GND / 4.a.1	DO1_GND
FDI_24V	3.6 / FDI_24V	1	FDI0.0	DO2.0	1	DO2_24V / 4.b.7	DO2_24V
Senzor otáček	-X101:20 /3.1	2	FDI0.0	DO2.0	2	/4.b.3-X102:24	Rezerva
Měření frekvence	-X101:21 /3.2	3	FDI0.1	DO2.1	3	/4.b.4-X102:25	Rezerva
Rezerva - FDI2	-X101:22 /3.4	4	FDI0.2	DO2.2	4	/4.b.5-X102:26	Rezerva
Rezerva - FDI3	-X101:23 /3.5	5	FDI0.3	DO2.3	5	/4.b.6-X102:27	Rezerva
	3.0 / FDI_GND	6	FDI0.3	DO2.3	6	DO2_GND / 4.b.2	DO2_GND
Měření proudu Rawet => 0-20mA	5.1 / AI0_GND	1	AI0.0	AO0.0	1		
	-X101:25 /5.1	2	AI0.0	AO0.0	2		AO_GND
Měření výkonu Rawet => 0-20mA	5.3 / AI1_GND	3	AI0.1	AO0.1	3		AO_GND
	-X101:27 /5.2	4	AI0.1	AO0.1	4		AO_GND
Měření napětí Rawet => 0-20mA	5.4 / AI2_GND	5	AI0.2	AO0.2	5		AO_GND
	-X101:29 /5.3	6	AI0.2	AO0.2	6		AO_GND
Rezerva	5.5 / AI3_GND	7	AI0.3	AO0.3	7		AO_GND
	-X101:31 /5.4	8	AI0.3	AO0.3	8		AO_GND
Měření proudu - IN	-X100:3 /5.3	1	AI1.IN				
Měření proudu - OUT	-X100:4 /5.4	2	AI1.OUT				
Měření napětí - L	-X100:1 /5.2	1	AI2.L				
Měření napětí - N	-X100:2 /5.2	2	AI2.N				



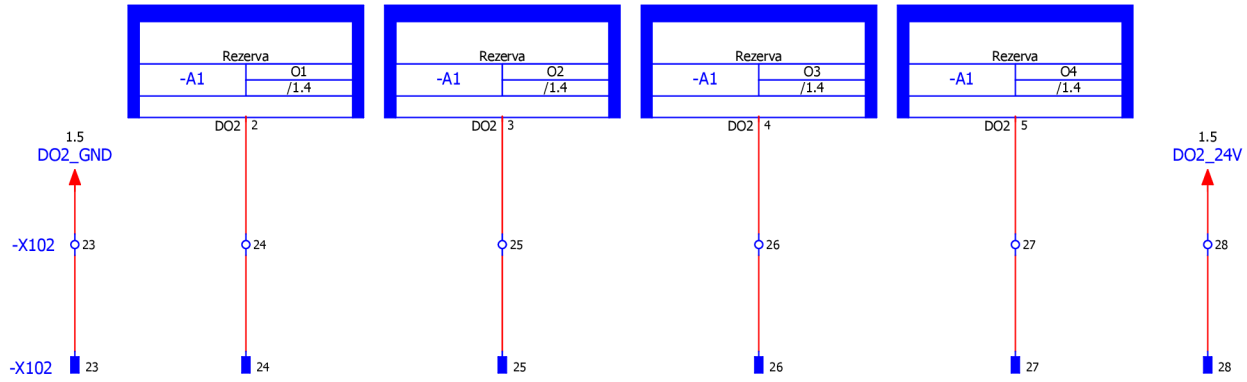




 <b>ELZACO spol. s r.o.</b> Boženy Němcové 727/10 CZ - 787 01 Šumperk <a href="http://www.elzaco.cz">http://www.elzaco.cz</a>	Datum	20.01.2020	Název:	<b>Řízení ostrovní sítě</b>	Popis strany:	Rychlé digitální vstupy	ČÍSLO ZAKÁZKY	Název strany:	ROZVÁDĚČ	=	RG	
	Vypracoval	Jan Novotný	Kontroloval		Ing. Roman Kubiček		Investor:	ČÍSLO VÝKRESU	<b>3</b>	POLE	+	R2
	Schválil	Jiří Vénos	Posl. strana st.:		<b>5</b>		Strana:	<b>16</b>	Stran struktury:	<b>6</b>	Celkem:	<b>26</b>




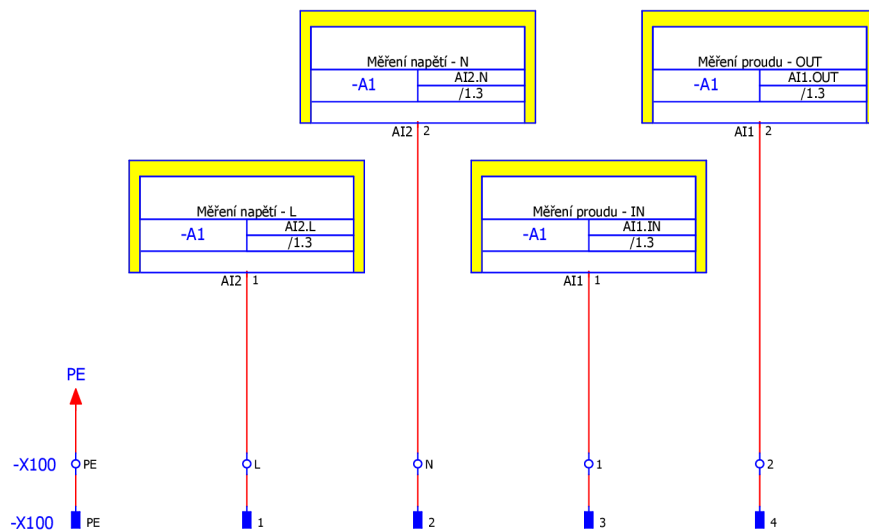
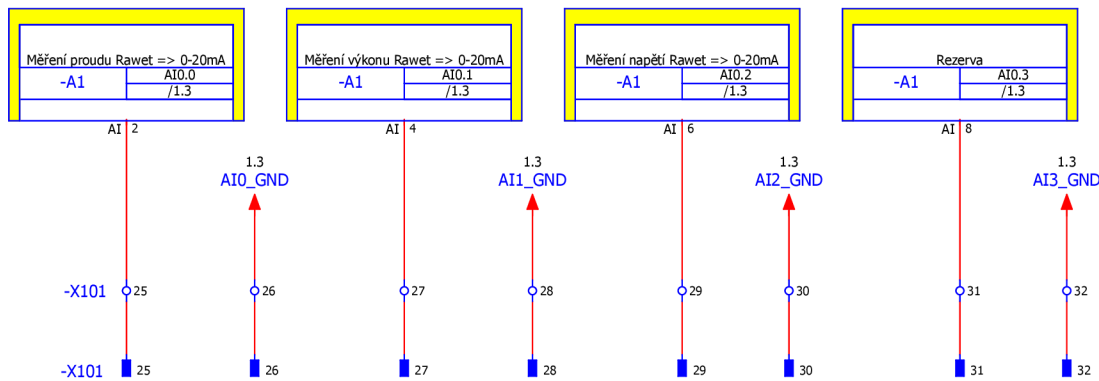
<b>ELZACO spol. s r.o.</b> Boženy Němcové 727/10 CZ - 787 01 Šumperk <a href="http://www.elzaco.cz">http://www.elzaco.cz</a>	Datum	23.01.2020	Název:	<b>Řízení ostrovní sítě</b>	Popis strany:	ČÍSLO ZAKÁZKY ARCHIVNÍ ČÍSLO	Název strany:	ROZVÁDĚČ	=	RG
	Vypracoval	Jan Novotný	Investor:		Digitální výstupy		ČÍSLO VÝKRESU	POLE	+	R2
	Kontroloval	Ing. Roman Kubiček					Posl. strana st.:	5	Strana:	17
	Schválil	Jiří Vénos					Stran struktury:	6	Celkem:	26



4.a

5

 <b>ELZACO spol. s r.o.</b> Boženy Němcové 727/10 CZ - 787 01 Šumperk http://www.elzaco.cz	Datum	20.01.2020	Název:	<b>Řízení ostrovní sítě</b>	Popis strany:	Digitální výstupy	ČÍSLO ZAKÁZKY	Název strany:	ROZVÁDĚČ	=	RG	
	Vypracoval	Jan Novotný	Kontroloval		Ing. Roman Kubiček		ČÍSLO VÝKRESU	<b>4.b</b>	POLE	+	R2	
	Schválil	Jiří Vénos	Investor:				Posl. strana st.:	5	Stran struktury:	6	Celkem:	18
					Stran struktury:		6	Celkem:	26			



4.b

+R3/1.a



**ELZACO spol. s r.o.**  
Boženy Němcové 727/10  
CZ - 787 01 Šumperk  
<http://www.elzaco.cz>

Datum	20.01.2020
Vypracoval	Jan Novotný
Kontroloval	Ing. Roman Kubiček
Schválil	Jiří Vénos

Název:	<b>Řízení ostrovní sítě</b>
Investor:	

Popis strany:  
Analogy

ČÍSLO ZAKÁZKY

Název strany:

ROZVÁDĚČ

=

RG

ARCHIVNÍ ČÍSLO

ČÍSLO VÝKRESU

POLE

+

R2

Posl. strana st.:

5

Strana:

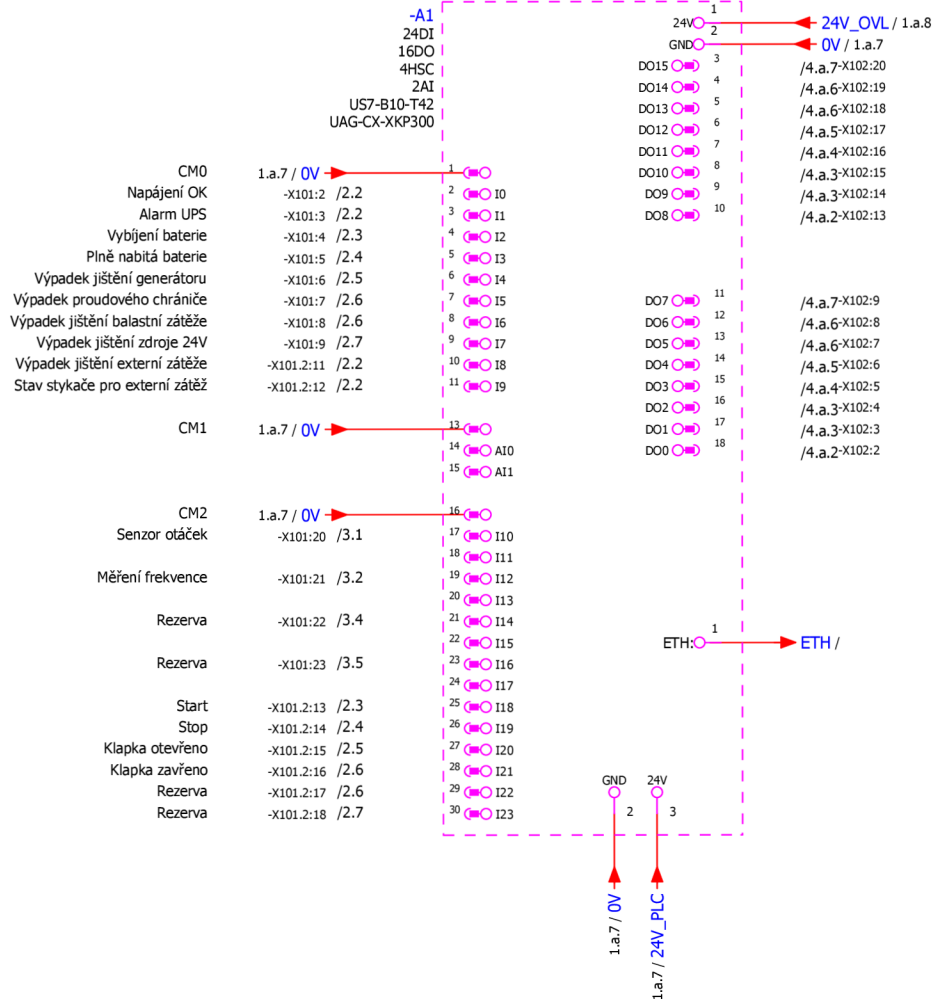
19

Stran struktury:

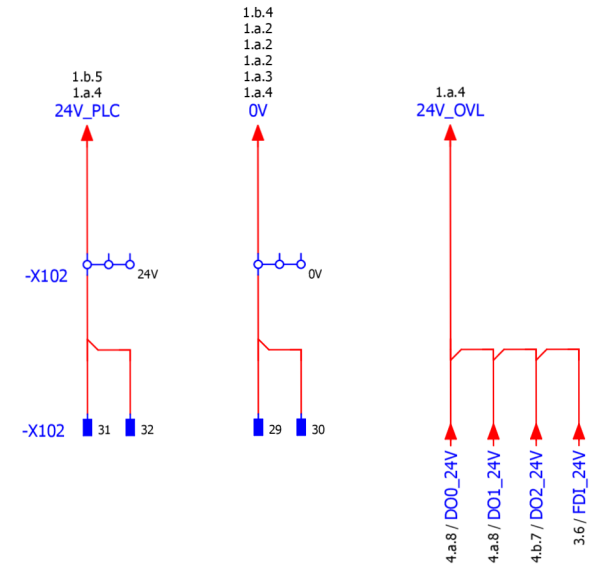
6

Celkem:

26

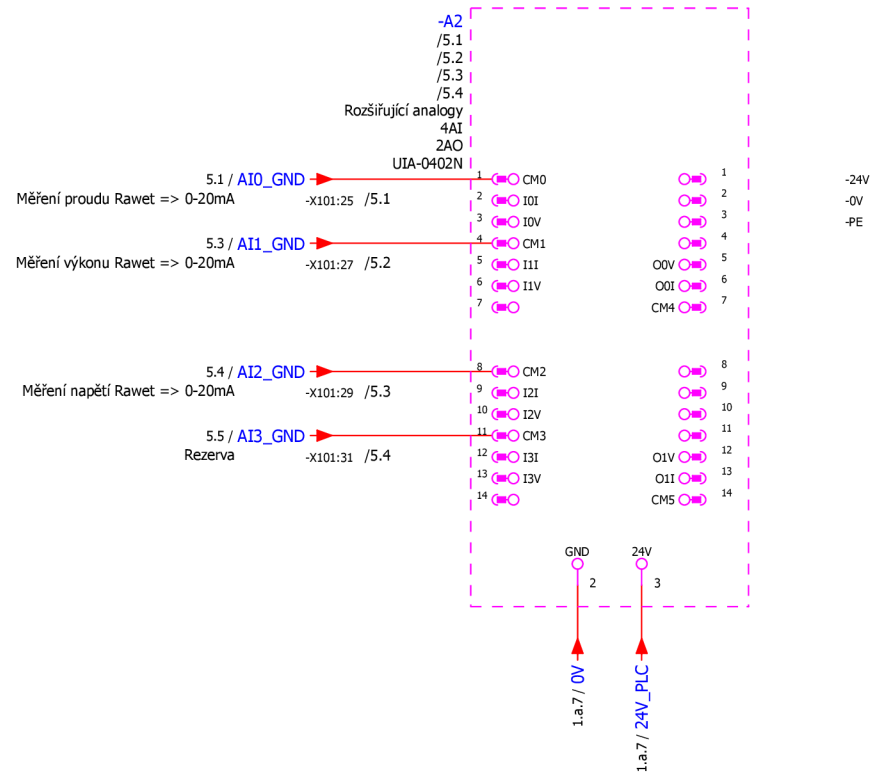



- Porucha
  - Stop
  - Běh
  - Bat.-Start
  - Řízení externí zátěže
  - Přidrř klapky
  - Balastní zátěž Rezerva
  - Balastní zátěž 50W/230V
- 
- Balastní zátěž 106W/230V
  - Balastní zátěž 212W/230V
  - Balastní zátěž 423W/230V
  - Balastní zátěž 635W/230V
  - Balastní zátěž 826W/230V
  - Přídavné budicí kondenzátory
  - Připojení napájení ke zdroji 24V
  - Ovládání napětí

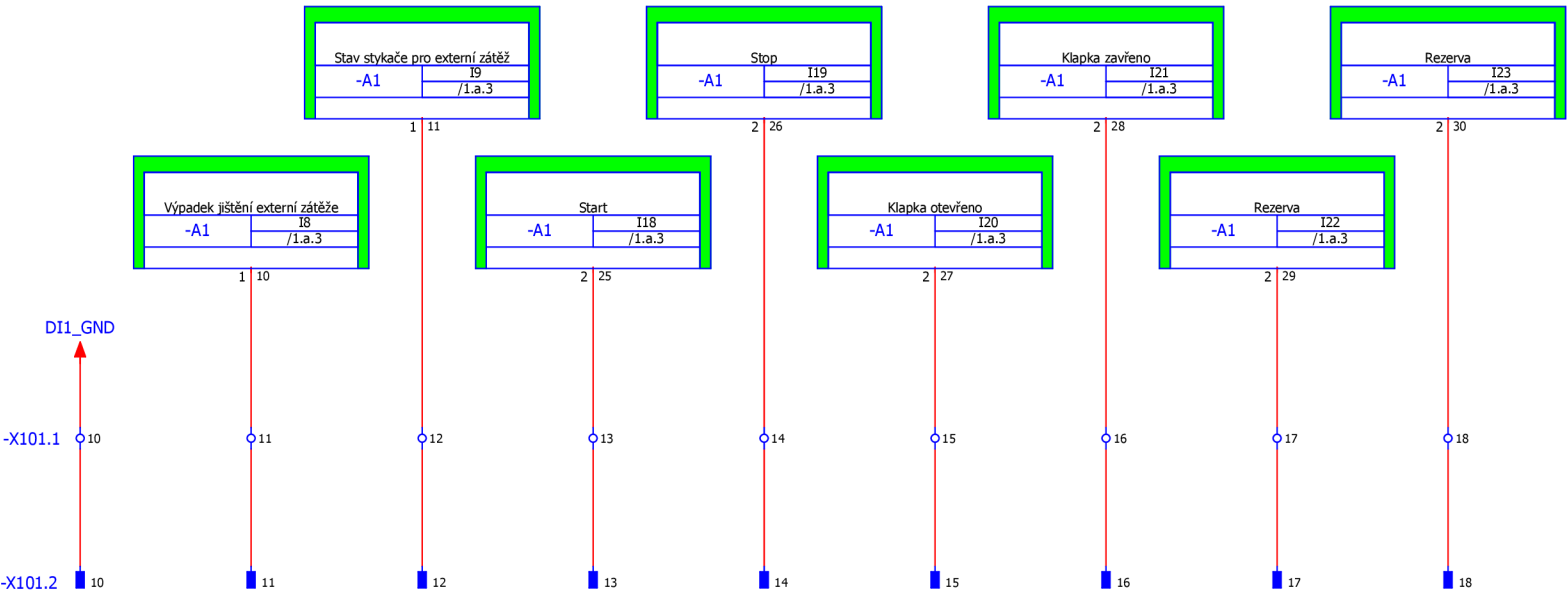
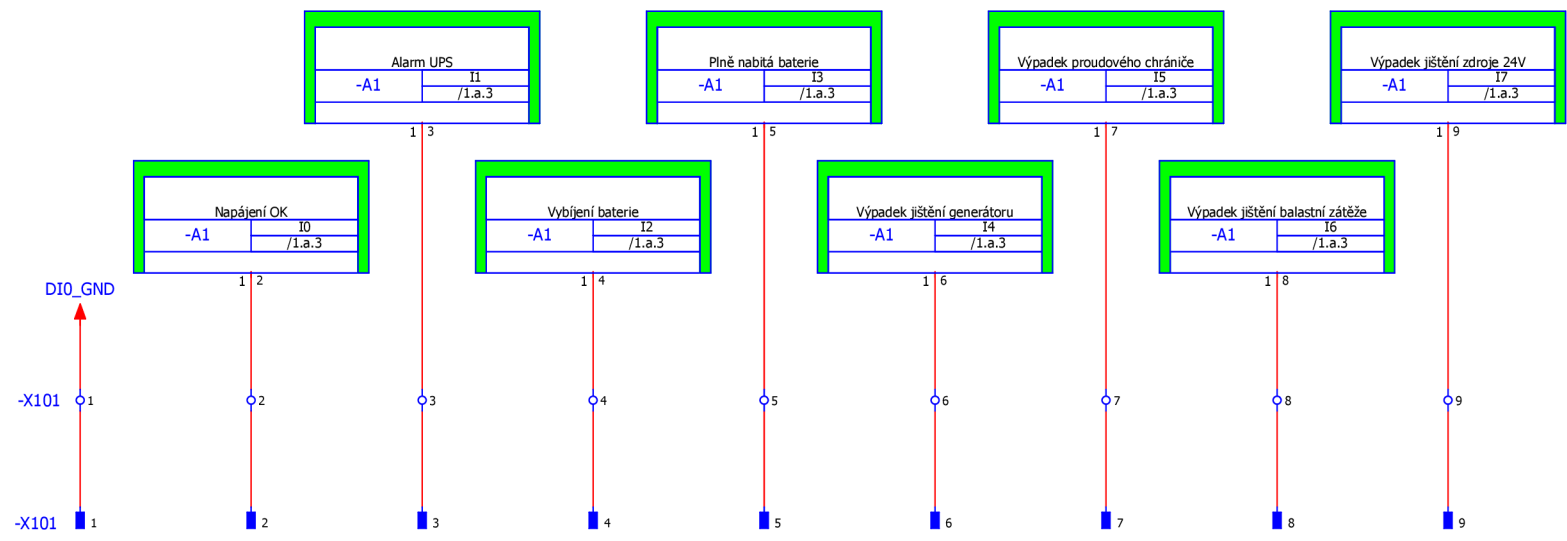


+R2/5

<b>ELZACO spol. s r.o.</b> Boženy Němcové 727/10 CZ - 787 01 Šumperk <a href="http://www.elzaco.cz">http://www.elzaco.cz</a>	Datum	24.01.2020	Název:	<b>Řízení ostrovní sítě</b>	Popis strany:	ČÍSLO ZAKÁZKY ARCHIVNÍ ČÍSLO	Název strany:	ROZVÁDĚČ	=	RG		
	Vypracoval	Jan Novotný	Kontroloval		Ing. Roman Kubiček		Řídicí jednotka	ČÍSLO VÝKRESU	POLE	+	R3	
	Schválil	Jiří Vénos	Investor:				Posl. strana st.:	5	Strana:	20		
							Stran struktury:	7	Celkem:	26		



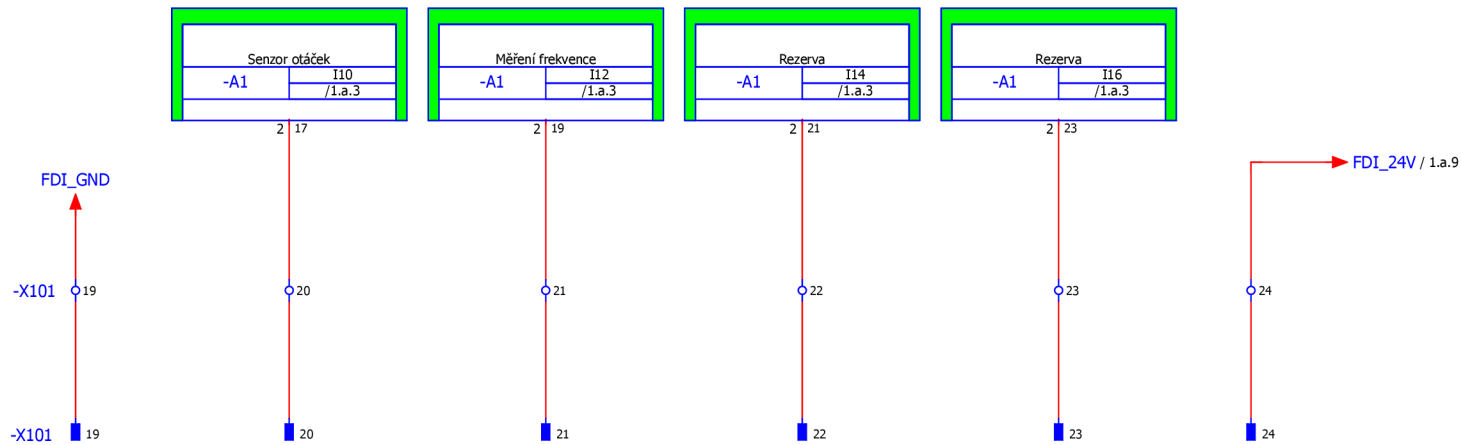
 <b>ELZACO spol. s r.o.</b> Boženy Němcové 727/10 CZ - 787 01 Šumperk <a href="http://www.elzaco.cz">http://www.elzaco.cz</a>	Datum	20.01.2020	Název:	<b>Řízení ostrovní sítě</b>	Popis strany:	ČÍSLO ZAKÁZKY	Název strany:	ROZVÁDĚČ	=	RG		
	Vypracoval	Jan Novotný			Řídicí jednotka		ČÍSLO ZAKÁZKY	<b>1.b</b>	POLE	+	R3	
	Kontroloval	Ing. Roman Kubiček	Investor:				ARCHIVNÍ ČÍSLO	ČÍSLO VÝKRESU	Posl. strana st.:	5	Strana:	21
	Schválil	Jiří Vénos							Stran struktury:	7	Celkem:	26




1.b

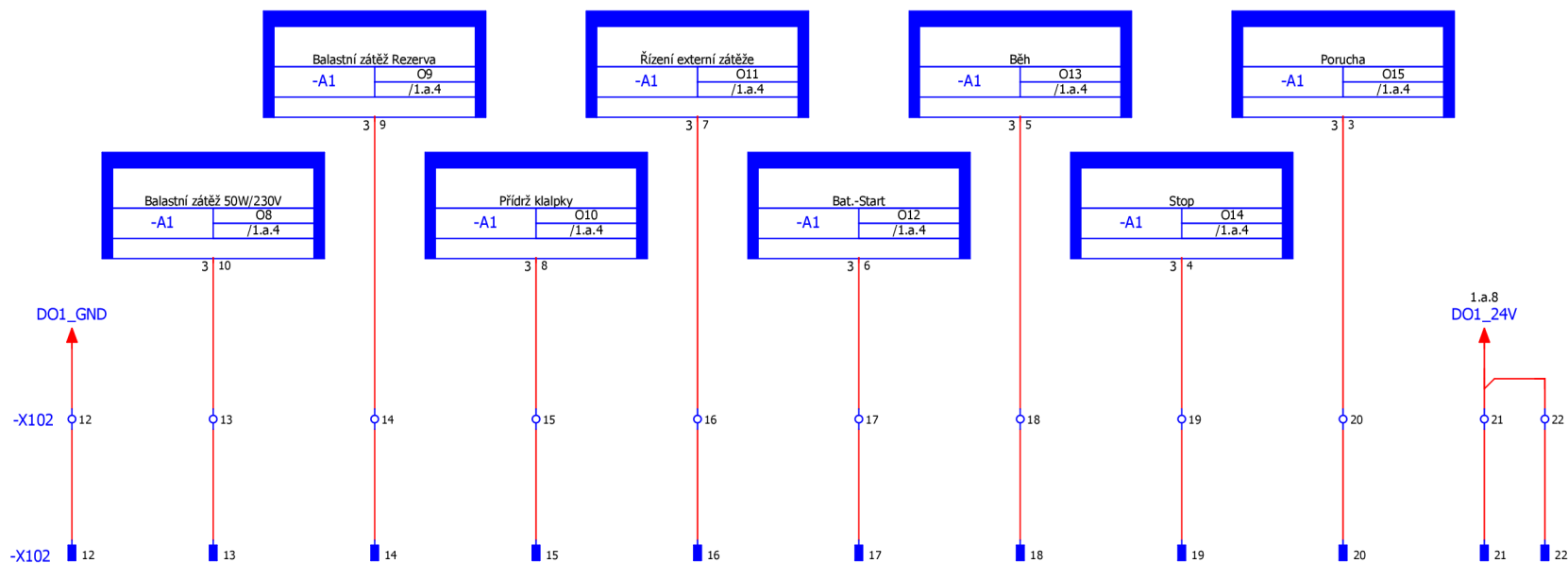
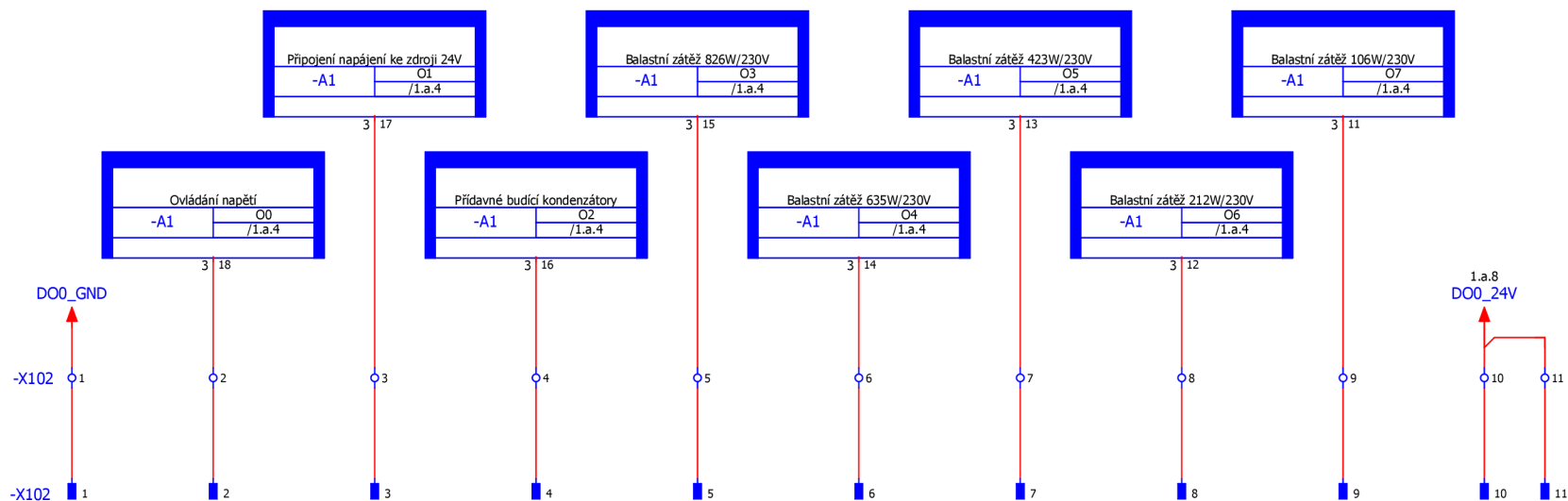
3

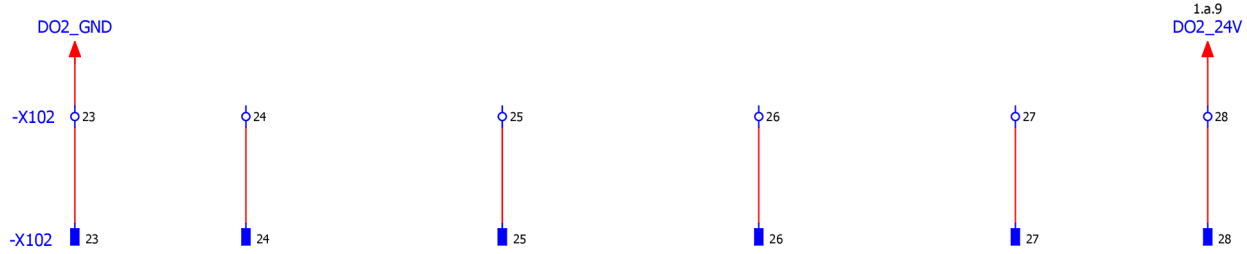
<b>ELZACO spol. s r.o.</b> Boženy Němcové 727/10 CZ - 787 01 Šumperk <a href="http://www.elzaco.cz">http://www.elzaco.cz</a>	Datum	23.01.2020	Název:	<b>Řízení ostrovní sítě</b>	Popis strany:	ČÍSLO ZAKÁZKY ARCHIVNÍ ČÍSLO	Název strany:	ROZVÁDĚČ	=	RG
	Vypracoval	Jan Novotný	Investor:		Digitální vstupy		ČÍSLO VÝKRESU	POLE	+	R3
	Kontroloval	Ing. Roman Kubiček					Posl. strana st.:	5	Strana:	22
	Schválil	Jiří Vénos					Stran struktury:	7	Celkem:	26



 <b>ELZACO spol. s r.o.</b> Boženy Němcové 727/10 CZ - 787 01 Šumperk <a href="http://www.elzaco.cz">http://www.elzaco.cz</a>	Datum	20.01.2020	Název:	<b>Řízení ostrovní sítě</b>	Popis strany:	Rychlé digitální vstupy	ČÍSLO ZAKÁZKY	Název strany:	ROZVÁDĚČ	=	RG
	Vypracoval	Jan Novotný	Investor:				ARCHIVNÍ ČÍSLO	ČÍSLO VÝKRESU	POLE	+	R3
	Kontroloval	Ing. Roman Kubiček					Posl. strana st.:	5	Strana:	23	
Schválil	Jiří Vénos			Stran struktury:	7	Celkem:	26				




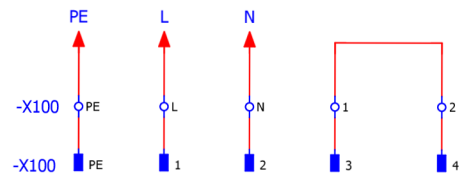
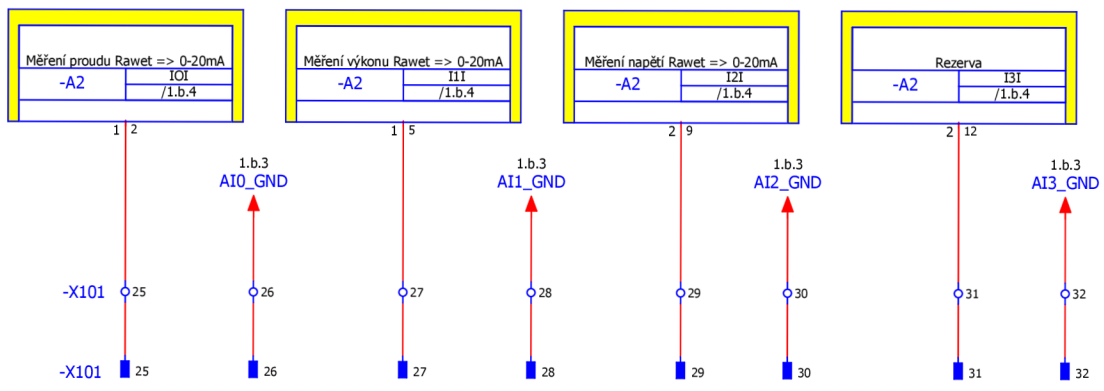




4.a

5

 <b>ELZACO spol. s r.o.</b> Boženy Němcové 727/10 CZ - 787 01 Šumperk http://www.elzaco.cz	Datum	20.01.2020	Název:	<b>Řízení ostrovní sítě</b>	Popis strany:	ČÍSLO ZAKÁZKY	Název strany:	ROZVÁDĚČ	=	RG
	Vypracoval	Jan Novotný	Kontroloval		Ing. Roman Kubiček		Digitální výstupy	4.b	POLE	+
	Schválil	Jiří Vénos	Investor:			ARCHIVNÍ ČÍSLO	ČÍSLO VÝKRESU	Posl. strana st.:	5	Strana:
							Stran struktury:	7	Celkem:	26



4.b