



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

MĚŘICÍ SYSTÉM PRO TERÉNNÍ ZKOUŠKY SOULADU FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN

INTEGRATED MEASUREMENT SYSTEM FOR IN-FIELD COMPLIANCE TESTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Aneta Chvalová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Dvořáček

BRNO 2024



Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Studentka: Aneta Chvalová

ID: 230377

Ročník: 3

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Měřicí systém pro terénní zkoušky souladu fotovoltaických elektráren

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Stanovení souboru měřených veličin a sledovaných signálů pro terénní zkoušky nesynchronních výroben kat. A2, B1, B2
2. Návrh přenosného měřicího boxu s integrací analyzátoru KMB ARTIQ 233
3. Parametrizace analyzátoru KMB ARTIQ 233 pro záznam všech vybraných veličin
4. Tvorba dokumentace pro zapojení a ovládání měřicího boxu
5. Sestavení a zapojení měřicího systému dle návrhu

DOPORUČENÁ LITERATURA:

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 5.2.2024

Termín odevzdání: 29.5.2024

Vedoucí práce: Ing. Jiří Dvořáček

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
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

S nárůstem počtu obnovitelných zdrojů energie byly na nové instalace kladeny nové požadavky na jejich řízení, ať už autonomní (reagující na podmínky v místě připojení) nebo dispečerské. Důležitým krokem pro uvedení fotovoltaických elektráren (FVE) do provozu je provedení zkoušek souladu, které je někdy vhodné nebo nezbytné provést pouze v terénu na kompletní instalované výrobě. Měřením se získá soubor dat, na jehož základě se následně vydá potvrzení o správné funkci. Hlavním výstupem je měřicí systém sestavený do přenosného kufříku, který lze snadno dopravit na místo instalace FVE a jednoduše připojit měřicí analyzátor na AC na úrovni nízkého napětí (pro záznam napětí, proudu, výkonů, frekvence) i DC (pro záznam binárních povelů a signalizace). Součástí je také zpracovaná dokumentace samotného kufříku

KLÍČOVÁ SLOVA

Fotovoltaická elektrárna, ověření souladu, výrobní modul, podmínky připojení, měřicí systém, zkoušky

ABSTRACT

As the number of renewable energy sources has increased, new installations have been subject to new requirements for their control, whether autonomous (responding to conditions at the point of connection) or dispatchable. An important step for the commissioning of photovoltaic (PV) plants is to perform compliance testing, which is sometimes only appropriate or necessary to perform in the field on a complete installed plant. The measurements are used to obtain a set of data which is then used to issue a certificate of correct operation. The main output is a measurement system assembled into a portable case that can be easily transported to the PV installation site and simply connect the measurement analyzer to both the AC at low voltage level (for recording voltage, current, power, frequency) and DC (for recording binary commands and signaling). Also included is elaborate documentation of the case itself.

KEYWORDS

Photovoltaic power station, compliance verification, production module, connection conditions, measurement system, tests

CHVALOVÁ, Aneta. *Měřicí systém pro terénní zkoušky souladu fotovoltaických elektráren*. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2024. Vedoucí práce: Ing. Jiří Dvořáček

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Aneta Chvalová
VUT ID autora: 230377
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2023/24
Téma závěrečné práce: Měřicí systém pro terénní zkoušky sou-
ladu fotovoltaických elektráren

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné 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 autorka uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma 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

.....

podpis autorky*

* Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Jiřímu Dvořáčkovi, za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	11
Cíle práce	12
1 Legislativní a nelegislativní dokumenty	13
1.1 Legislativa	14
1.1.1 Nařízení Komise (EU) 2016/631	14
1.1.2 Příloha PPDS č.4	14
2 Požadavky kladené na výrobní moduly	16
2.1 Komunikace a výměna informací	17
2.1.1 EG.D, a. s.	17
2.1.2 ČEZ Distribuce, a. s.	19
2.2 Logické rozhraní pro přerušení dodávky činného výkonu	20
2.2.1 EG.D, a. s.	21
2.2.2 ČEZ Distribuce, a. s.	21
2.3 Rozhraní pro snížení činného výkonu	21
2.3.1 EG.D, a. s.	21
2.3.2 ČEZ Distribuce, a.s.	22
2.4 Dodávka jalového výkonu u nesynchronních výrobních modulů	22
2.4.1 EG.D, a. s.	23
2.5 Podmínky pro automatické připojení k soustavě	23
2.6 Opětovné připojení po poruše	24
3 Měřicí systém	25
3.1 Blokové schéma	25
3.2 Schéma zapojení	27
3.3 Kompletace měřicího kufru	28
4 KMB ARTIQ 233	37
4.1 Parametrizace Artiqu	37
5 Příklad zapojení měřicího kufru pro ověření funkčnosti FVE	44
6 Praktické ověření funkčnosti	45
Závěr	48
Literatura	49

Seznam symbolů a zkratk	52
Seznam příloh	54
A Schéma zapojení	55
B Tabulka použitého materiálu	57
C Připojení měřicího kufru do AXY	60

Seznam obrázků

1.1	Distribuční síť ČR [10]	13
2.1	Příklad zapojení přijímače HDO a ŘJ u výroben 100 kW a více mezi částí ČEZ Distribuce, a. s. a výrobnou [16]	20
2.2	Dodávka/odběr Q při maximální dodávce P u nesynchronních VM B2 [8]	23
3.1	Blokové schéma	26
3.2	Horní a spodní deska s pohledy	29
3.3	Rozložení konektorů na zadní straně měřicího kufru	30
3.4	Spodní deska s různými pohledy	31
3.5	Spodní deska s přístroji	32
3.6	Horní deska s kóty	33
3.7	Spodní deska s propojenými přístroji	34
3.8	Zadní strana kufru s konektory	34
3.9	Propojení konektorů a konstrukce	35
3.10	Přední deska měřicího kufru	35
3.11	Zkompletovaný měřicí kufr	36
4.1	ARTIQ 233 [17]	37
4.2	Nastavení připojení	38
4.3	Okno aplikace ENVIS.Daq s připojeným analyzátozem	38
4.4	Nastavení základních parametrů zapojení přístroje	39
4.5	Nastavení data a času	39
4.6	Nastavení parametrů komunikačních linek	40
4.7	Nastavení chování programovatelných vstupů a výstupů	40
4.8	Nastavení rozdělení paměti mezi jednotlivé archivy	41
4.9	Nastavení záznamu hodnot do hlavního archivu přístroje 1	42
4.10	Nastavení záznamu hodnot do hlavního archivu přístroje 2	42
4.11	Nastavení záznamu hodnot do hlavního archivu přístroje 3	43
6.1	Jednoduché schéma zapojení do VM	45
6.2	Připojení měřicího kufru k PC	46
6.3	Zadní strana s konektory	46
6.4	Připojení do FVE	47
A.1	schema zapojení	56
C.1	Připojení měřicího kufru do AXY	61

Seznam tabulek

2.1	Rozdělení VM do kategorií [8]	16
2.2	Souhrnný přehled požadavků Přílohy 4 PPDS pro A2, B1 a B2 [8] . .	18
B.1	Tabulka přístrojů	59

Úvod

Česká republika se zavázala Rámcovou úmluvou OSN o změně klimatu přijatou v roce 1992, kterou následně se doplnila v roce 1997 Kjótským protokolem o snížení emisí skleníkových plynů [1]. Protokol byl v roce 2015 nahrazen Pařížskou dohodou, v níž se smluvní strany zavázaly k „*udržení nárůstu průměrné globální teploty výrazně pod hranicí 2 °C oproti hodnotám před průmyslovou revolucí a úsilí o to, aby nárůst teploty nepřekročil hranici 1,5 °C* [2]“.

Evropská unie si např. vytyčila cíl snížit emise skleníkových plynů o 55 % do roku 2030. Proto se i v energetice začalo ustupovat od výroby energie z fosilních paliv, která byla v ČR stěžejní [3]. Přistoupilo se proto k podpoře obnovitelných zdrojů.

Jelikož ani jeden z obnovitelných zdrojů není možné provozovat samostatně, vzniká v ČR energetický mix těchto obnovitelných zdrojů, včetně jaderných elektráren a zbytku fosilních elektráren (uhelných, plynových)[4].

Od roku 2010, kdy začala největší státní podpora OZE, se do rozvodné sítě začala postupně dodávat a stále navyšovat energie z těchto zdrojů. Největším problémem se ukázal problém s nestabilitou sítě z OZE. Nejvíce však s FVE, které jsou s nízkými výkony instalovány na střechách rodinných domů a s fotovoltaickými parky s vysokými výkony. Z tohoto důvodu se klade otázka, jak nejlépe tyto zdroje energie řídit. Zda mít autonomní systémy, které se adaptují na aktuální podmínky přímo na místě, či využívat dispečerské řízení z centrálního místa. Proto se při instalaci FVE klade důraz na provádění detailní zkoušky měření výstupu z FVE – měniče různých výrobců. Tyto zkoušky poskytují klíčová data pro vydání potvrzení o správné funkci zařízení a jeho souladu s platnými předpisy. Představují tak důležitou součást procesu zprovoznění FVE, zajišťující správné fungování zařízení a přispívají k bezpečnému a efektivnímu provozu. Tyto zkoušky FVE měničů se provádějí většinou v laboratorních podmínkách, kde se simuluje sluneční svit a laboratorními měřicími přístroji se zkouší správná funkčnost těchto FVE měničů [5].

Protože je však provádění takovýchto laboratorních zkoušek časově náročné a ne vždy je potřeba provádět všechny druhy zkoušek, z perspektivního hlediska byl pouze otázkou času vznik takového zařízení, které by svou funkčností dokázalo nahradit určité laboratorní zkoušky přímo testováním na místě v terénu.

Sestrojení takového zařízení bylo předmětem bakalářské práce. Jedná se o měřicí kufr, jehož funkcemi jsou analýza sítě a monitoring napětí. Díky uzamykatelnosti skořepiny kufru je na místě také možnost měření potřebných dat přes noc.

Díky tomuto měřicímu kufrovi vzniká možnost zisku určitého souboru aktuálních dat souladu přímo na místě provádění zkoušky. Tyto data jsou důležitá pro vydání potvrzení o správné funkčnosti testované FVE.

Cíle práce

Podstatou této bakalářské práce je vytvořit mobilní měřicí přístroj, kterým bude možné zkoušet FVE před finálním umožněním provozu („konečného provozního oznámení [8]“), a ověřit, zda pracuje dle smluvených podmínek distributora sítě. Součástí návrhu tohoto přenosného měřicího kufru s integrovaným analyzátozem KMB AR-TIQ 233 je i schéma zapojení měřicího přístroje.

1 Legislativní a nelegislativní dokumenty

Každá výrobní elektrárna připojená do Distribuční soustavy (DS), nebo přenosové soustavy (PS), musí splňovat technické a administrativní požadavky, které jsou stanoveny v Energetickém zákoně č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích [6]. Změna některých zákonů a Nařízení, známé jako RfG, Nařízení Komise 2016/631 [7], kterým se stanoví kodex sítě pro požadavky na připojení výroben k elektrizační soustavě. Požadavky, které schvaluje Energetický regulační úřad (ERÚ) [4], zpracovávají provozovatelé distribuční soustavy. ČEPS má svůj kodex, který je nadřazený PPDS a podřazený RfG[7].

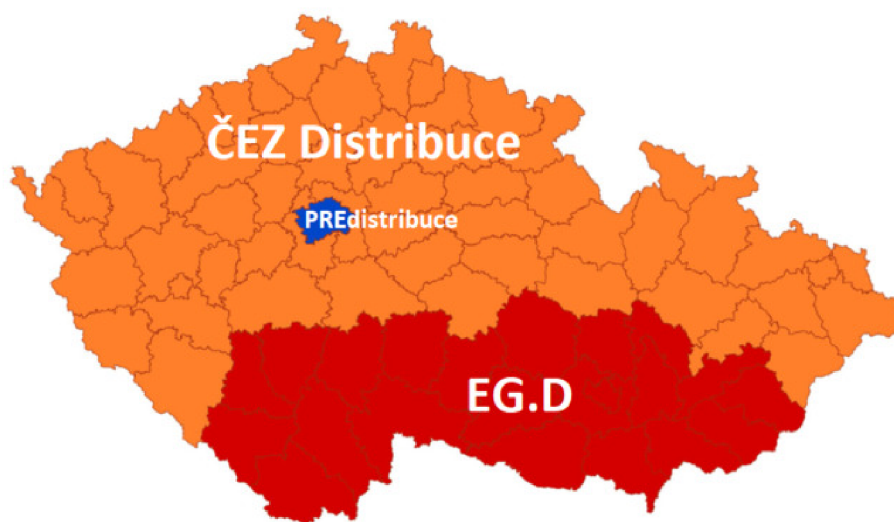
Požadavky, které schvaluje Energetický regulační úřad (ERÚ) [4], jsou obsaženy v Pravidlech provozování distribuční soustavy (PPDS) v příloze č. 4 [8].

DS v České republice se rozumí vzájemně propojený soubor elektrického vedení na hladině napětí do 110 kV včetně. V případě fotovoltaických elektráren (FVE) se budeme zabývat pouze DS [9].

V České republice jsou tři provozovatelé distribuční soustavy:

- ČEZ Distribuce, a.s., která spravuje distribuční soustavu po většině území České republiky.
- PRE distribuce, a.s., která je provozovatelem distribuční soustavy v hlavním městě Praze.
- EG.D, a.s., která spravuje distribuční soustavu v jižních Čechách a na jižní Moravě.

Toto rozdělení můžeme vidět na obr. 1.1 [11].



Obr. 1.1: Distribuční síť ČR [10]

1.1 Legislativa

Při navrhování a provozu elektráren je nezbytné dodržovat aktuální nelegislativní předpis, který vyžadují provozovatelé. Klíčovými pravidly, které určují hlavní aspekty připojení výrobních modulů k distribuční síti, jsou Pravidla provozu distribuční soustavy elektrické energie (PPDS) – příloha č.4 [8].

Při navrhování a provozu výroben elektřiny je třeba dodržovat následující body:

- Aktuální právní předpisy a normy zejména Nařízení Komise (EU) 2016/631 [7], Energetický regulační úřad (ERÚ) [4], Zákon č . 458/2000 Sb. [6] a normy ČSN EN 50549-1,2 [12], [13],
- Kodex přenosové soustavy [7] a Pravidla provozu distribuční soustavy (PPDS) [8],
- Směrnice a nařízení týkající se bezpečnosti práce, ochrany pracovníků a elektrické bezpečnosti,
- Nařízení a směrnice týkající se provozovatele distribuční soustavy (PDS).

Těmito právními předpisy jsou nastaveny veškeré kroky při zřizování a provozu výroben elektřiny, které by měly být v souladu s platnými právními a bezpečnostními pravidly. Tento způsob je potřeba poté ověřit.

1.1.1 Nařízení Komise (EU) 2016/631

Nařízení ze dne 14. dubna 2016 [7] představuje kodex sítě, který určuje pravidla pro připojení výroben elektřiny k propojené elektrizační soustavě. Jeho hlavním cílem je nastavit technické podmínky a nastavuje pouze obecný rámec požadavků, konkrétní specifikace je na národních impletacích. Nařízení také definuje povinnosti, které mají garantovat, že provozovatelé soustav využívají schopnosti výroben elektřiny náležitým, transparentním a nediskriminačním způsobem, aby byly zajištěny rovné podmínky v celé Evropské unii. Směrnice dále rozděluje požadavky pro příslušné kategorie výroben elektřiny podle jejich instalovaného výkonu a napětové úrovně v místě připojení. Nařízení je implementováno v Pravidlech provozu distribuční soustavy (PPDS) v příloze č.4 [8].

1.1.2 Příloha PPDS č.4

Pravidla pro paralelní provoz výroben připojených k distribuční soustavě provozovatele distribučních soustav jsou kompilací klíčových faktorů, na které je nutné splnit při připojování výrobních modulů k distribuční soustavě. Tyto pravidla, známá jako Pravidla provozování distribuční soustavy (PPDS) [8], slouží jako referenční dokument pro provozovatele distribučních soustav a výrobce elektřiny při realizaci paralelních připojení výroben k distribuční soustavě. PPDS byla vypracována samotnými

provozovateli distribučních soustav a následně schválena Energetickým regulačním úřadem [4]. Tato směrnice zahrnuje platné právní a úřední předpisy a normy, jejich relevantní části jsou detailně rozvedeny v následujících částech dokumentu.

2 Požadavky kladené na výrobní moduly

Pro zajištění bezpečného a spolehlivého provozu elektrické distribuční soustavy je nezbytné respektovat sjednocené technické parametry a požadavky na chování výroben. V následujících částech jsou stanoveny podmínky provozu pro výrobní moduly typu A2, B1 a B2, které jsou charakterizovány výkonovým pásmem od 11 kW do 30 MW a připojení do úrovně nn a vn. Nesynchronní výrobní elektrické energie se definuje jako zařízení, které je připojeno synchronně, nebo prostřednictvím výkonového měniče. Do této kategorie patří zejména fotovoltaické elektrárny, vodní elektrárny, kogenerační elektrárny, plynové elektrárny, větrné elektrárny a bateriová úložiště. Každá nesynchronní výrobní elektrická energie, která je paralelně připojena do distribuční soustavy (DS), musí splňovat specifické požadavky na bezpečný provoz systému [8]. Tyto požadavky jsou obecně stanoveny v Nařízení Komise (EU) 2016/631 (RfG) [7]. V rámci této podmínky byly výrobní moduly (VM) v České republice rozčleněny do kategorií podle instalovaného výkonu[8], viz tab.2.1.

Tab. 2.1: Rozdělení VM do kategorií [8]

Kategorie výrobního modulu	Limit	Podkat.	Hranice PDS
A	800 W	A1	≥ 800 W; ≤ 11 kW
		A2	> 11 kW; < 100 kW
B	1 MW	B1	≥ 100 kW; < 1 MW
		B2	≥ 1 MW; < 30 MW
C	50 MW	C	≥ 30 MW < 75 MW
D	75 MW	D	≥ 75 MW

Veškeré VM připojené k distribuční soustavě jsou v souladu s národními pravidly aktivně zapojeny do zajištění bezpečného provozu této sítě. To zahrnuje poskytování podpory pro udržení stabilního napětí, překlenutí poruch v případě poruchových stavů sítě a regulaci dodávaného činného výkonu atd. [8].

Nesynchronní VM, jako jsou fotovoltaické elektrárny, fotovoltaické elektrárny s akumulací a elektrické akumulační systémy s výkonovou elektronikou na výstupu, vodní a větrné elektrárny s asynchronními generátory, kogenerační a bioplynové elektrárny s asynchronními generátory nebo výkonovou elektronikou na výstupu, se posuzují podle celkového výkonu výrobního modulu. Pro napětí v místě připojení

platí, že u kategorie VM A až C je napětí nižší než 110 kV, u kategorie D je napětí 110 kV, nebo vyšší [8].

Do sítí nízkého napětí (nn) jsou zpravidla připojovány výrobní moduly do 800 W a výrobní moduly kategorie A1 a A2 (výjimečně i do sítí vysokého napětí (vn)). Do sítí vn jsou připojovány výrobní moduly kategorie A2, B1, B2 a C. Do sítí 110 kV jsou zpravidla připojovány výrobní moduly kategorie D o výkonu nad 10 MW a výjimečně i nižších výkonů[8].

Požadavky se dělí do kategorií:

- dynamické podpory,
- statické podpory,
- dynamické odezvy na změnu žádané hodnoty,
- ochrany,
- komunikace,
- odolnosti.

Zaměříme-li se na požadavky, u kterých lze vyvolat požadovanou odezvu a nastavit přímo v terénu, získáme hodnoty fyzického komunikačního rozhraní. V tab. 2.2 jsou tyto požadavky vybrány a tučně zvýrazněny modře [18]. Zkoušky se nebudou zaměřovat na požadavky, které nepracují s odezvou na systémové parametry (U, f). Tyto parametry nemůžeme v terénních zkouškách regulovat z toho důvodu, že frekvence je v celé síti neměnná a lze ji pouze sledovat.

V následujících kapitolách jsou stručně popsány ty požadavky PPDS č.4 [8], které lze v současné době zkusit na instalovaných elektrárnách v terénu. Pro ně jsou vypsány konkrétní požadavky a specifikace u distributorů EG.D, a.s. [15] a ČEZ Distribuce, a.s. [16].

2.1 Komunikace a výměna informací

Požadavek na zajištění vybavením výrobní je realizován prostřednictvím několika klíčových komponentů a kroků. Po instalaci a zprovoznění RTU je dispečink zodpovědný za testování výměny dat a dispečerského řízení ve spolupráci s dodavatelem RTU a zhotovitelem výrobní [18]. Vyhovující výsledek zkoušky je tehdy, pokud výroba přijímá povel a reaguje na hodnotu dle povelu, pokud VM signalizuje příjem povelu [7].

2.1.1 EG.D, a. s.

EG.D pro připojení vstupu signálu do RTU používá samostatné bez-potenciálové kontakty (galvanicky oddělené). Signalizační napětí je vytvářeno a zároveň jištěno

Tab. 2.2: Souhrnný přehled požadavků Přílohy 4 PPDS pro A2, B1 a B2 [8]

Článek RfG	Požadavky RfG	Typ výrobního modulu					
		A1	A2	B1	B2	C	D
13.1a	Frekvenční rozsahy a časové limity pro VM	X	X	X	X	X	X
13.1b	Hodnota rychlosti změny frekvence (RoCoF)	X	X	X	X	X	X
13.2	Omezený frekvenčně závislý režim při nadfrekvenci (LFSM-O)	X	X	X	X	X	X
13.4; 13.5	Dovolené snížení činného výkonu při klesající frekvenci soustavy	X	X	X	X	X	X
13.6	Logické rozhraní pro přerušování dodávky činného výkonu	X	X	X	X		
13.7	Podmínky pro automatické připojení k soustavě	X	X	X	X	X	
14.2	Rozhraní pro snížení činného výkonu		X	X			
14.3	Překlenutí poklesu napětí (FRT)	X	X	X	X	X	
14.4	Opětovné připojení po poruše		X	X	X	X	X
14.5d	Komunikace a výměna informací			X	X	X	X
15.2a,b	Regulovatelnost činného výkonu			X	X	X	X
15.2c	Omezený frekvenčně závislý režim při podfrekvenci (LFSM-U)				X	X	X
15.5a	Schopnost startu ze tmy				X	X	X
15.6b	Přístrojové vybavení			X	X	X	X
15.6c	Simulační modely				X	X	X
15.6e	Minimální a maximální limity rychlosti změn činného výkonu				X	X	X
17.2a	Dodávka jalového výkonu			X			
17.3	Obnova činného výkonu po poruše			X	X	X	X
18.2	Dodávka jalového výkonu				X	X	X
20.2a	Dodávka jalového výkonu u nesynchronních VM		X	X			
20.2b,c	Rychlý poruchový proud v případě poruchy			X	X	X	X
20.3	Obnova činného výkonu po poruše		X	X	X	X	X
21.2	Umělá setrvačnost				X	X	X
21.3b,c	Dodávka jalového výkonu				X	X	X
21.3d	Režimy regulace jalového výkonu				X	X	X
21.3e	Priorita příspěvků činného nebo jalového výkonu			X	X	X	X
21.3f	Tlumení výkonových oscilací				X	X	X

v AXY01. Kontrolér sdruženého vypínače (odpínače) a uzemňovače je vybaven kontakty pro dvoubitovou signalizaci stavů : stav vypnuto, stav zapnuto a stav odzemněno, stav uzemněno. Dále požaduje od VM Požadavky na přípravu dispečerské informace obsažené v komunikačním telegramu [15].

Na komunikaci a výměnu informací používá EG.D rozhraní pro měření UL1, UL2, UL3 [100V AC], IL1, IL2, IL3 [1A (5A) AC] z měřicích transformátorů napětí a proudu, které jsou přivedeny na svorkovnici AXY dle přílohy 2 Podkladu pro chránění a DŘS [18].

a) Povelý pro řízení činného, jalového výkonu a účinníku:

- Povel P1, nastavení jmenovitého 0% výkonu zdroje -f299P1
- Povel P2, nastavení jmenovitého 30% výkonu zdroje -f299P2
- Povel P3, nastavení jmenovitého 60% výkonu zdroje -f299P3
- Povel P4, nastavení jmenovitého 100% výkonu zdroje (základní provozní stav) -f299P4
- Povel Q10, nastavení $\cos\varphi=0,90$ kapacitní -f299Q10
- Povel Q5, nastavení $\cos\varphi=0,95$ kapacitní -f299Q5
- Povel L0, nastavení $\cos\varphi=1$ základní účinník -f299L0
- Povel L5, nastavení $\cos\varphi=0,95$ induktivní -f299L5
- Povel L10, nastavení $\cos\varphi=0,90$ induktivní -f299L10

b) Signalizační výstupy pro řízení činného, jalového výkonu a účinníku:

- Signalizace P1, nastavení jmenovitého 0% výkonu zdroje -H299P1
- Signalizace P2, nastavení jmenovitého 30% výkonu zdroje -H299P2
- Signalizace P3, nastavení jmenovitého 60% výkonu zdroje -H299P3
- Signalizace P4, nastavení jmenovitého 100% výkonu zdroje (základní provozní stav) -H299P4
- Signalizace Q10, nastavení $\cos\varphi=0,90$ kapacitní -H299Q10
- Signalizace Q5, nastavení $\cos\varphi=0,95$ kapacitní -H299Q5
- Signalizace L0, nastavení $\cos\varphi=1$ základní účinník -H299L0
- Signalizace L5, nastavení $\cos\varphi=0,95$ induktivní -H299L5
- Signalizace L10, nastavení $\cos\varphi=0,90$ induktivní -H299L10

2.1.2 ČEZ Distribuce, a. s.

ČEZ distribuce používá ke komunikaci přijímač HDO a řídicí a komunikační zařízení (např. RTU). Síťové rozhraní pro komunikaci na DŘS musí být oddělené od sítě zákazníka s vyloučením průchodu mezi těmito sítěmi viz obr. 2.1 [16].

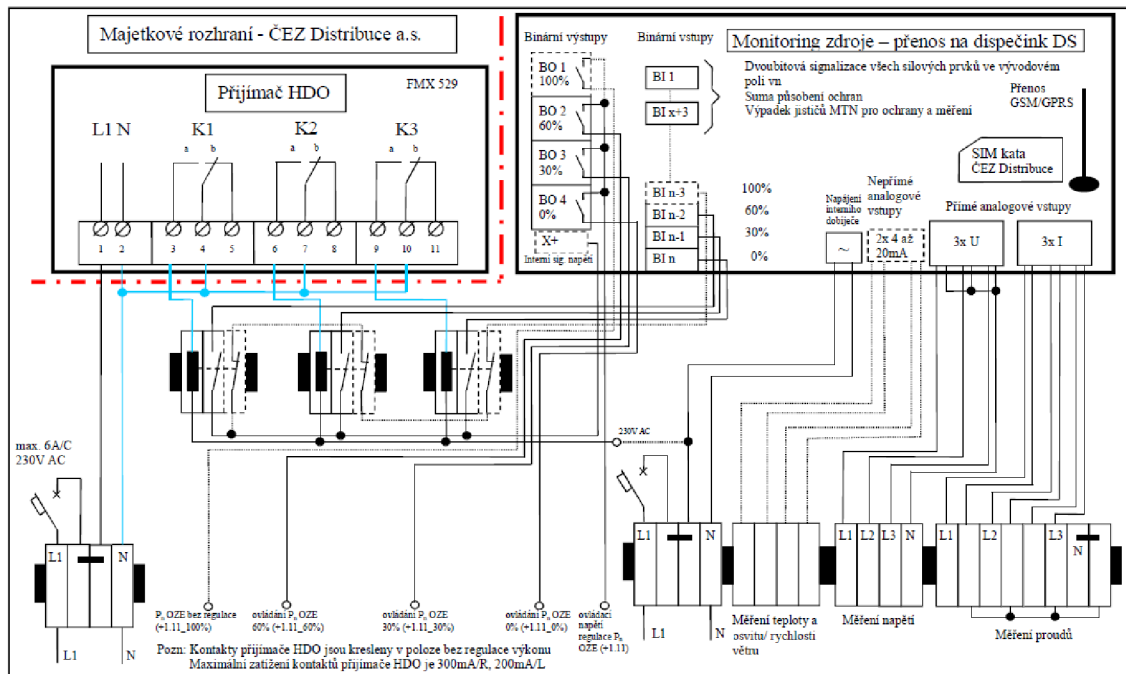
Na komunikaci a výměnu informací používá ČEZ rozhraní pro měření 3 x napětí a 3 x proud [16].

a) Požadavky na přenos povelů - záložní ovládání činného výkonu výroby:

- Povel BO 1, Bez omezení výkonu (100% výkonu) - f23SPG100
- Povel BO 2, Omezení na 60% (75%) výkonu - f23SPG060, f23SPG075
- Povel BO 3, Omezení na 30% (50%) výkonu - f23SPG030, f23SPG050
- Povel BO 4, Omezení na 0% výkonu - f23SPG000 [16]

b) Signalizační výstupy pro řízení činného, jalového výkonu a účinníku:

- Signalizace BI n-3, nastavení jmenovitého 100% výkonu - f43SPG100
 - Signalizace BI n-2, nastavení jmenovitého 60% (75%) výkonu - f43SPG060, f43SPG075
 - Signalizace BI n-1, nastavení jmenovitého 30% (50%) výkonu - f43SPG030, f43SPG050
 - Signalizace BI n, nastavení na 0% výkonu - f43SPG000
- kde n značí poslední obsazený binární vstup [16].



Obr. 2.1: Příklad zapojení přijímače HDO a ŘJ u výroben 100 kW a více mezi částí ČEZ Distribuce, a. s. a výrobnou [16]

2.2 Logické rozhraní pro přerušení dodávky činného výkonu

Cílem tohoto požadavku je, aby VM byl vybaven logickým rozhraním (vstupním portem), který umožňuje přerušení dodávky činného výkonu na výstupu do pěti sekund od obdržení pokynu na vstupním portu[7]. VM musí být schopen přerušit

dodávku činného výkonu do doby 5 sekund od odeslání pokynu. Přerušeni dodávky činného výkonu se rozumí snížení činného výkonu na hodnotu 0 W s tolerancí +5 % nominálního výkonu, při zohlednění nejistoty měření[18].

2.2.1 EG.D, a. s.

VM musí být vybaven logickým rozhraním pro přerušeni dodávky činného výkonu, který umožňuje přerušit dodávku činného výkonu na výstupu do pěti sekund po obdrženi pokynu. Příkaz v telegramu, například zapnu omezení na P_1 % výkonu, způsobí, že regulace uchová tuto informaci a zároveň pošle zpětnou signalizaci o jeho nastavení. V případě výpadku napájení pro celou výrobní musí být systém schopen po obnovení normálního provozu opět nastavit dříve požadovaný stupeň regulace[15].

Povel na přerušeni dodávky činného výkonu

- Povel P1, nastavení jmenovitého 0% výkonu zdroje -f299P1

Řízení výkonu / binární povelování výrobní z RTU je zajištěno přes řídicí systém výrobní a komunikaci se střídači[15].

2.2.2 ČEZ Distribuce, a. s.

VM musí být vybaven logickým rozhraním pro přerušeni dodávky činného výkonu a musí vybavit do 2 minut od dostání povelu. Přerušeni dodávky musí probíhat bez přechodu na mezi stupeň 100%, nebo 0% [16].

Povely na přerušeni dodávky činného výkonu

- Signalizace BI n-3, nastavení jmenovitého 100% výkonu - f43SPG100
- Signalizace BI n, nastavení na 0% výkonu - f43SPG000

kde n značí poslední obsazený binární vstup [16].

2.3 Rozhraní pro snížení činného výkonu

VM musí být vybaven rozhraním (vstupním portem), umožňujícím regulaci činného výkonu na výstupu.[7]. Ke snížení činného výkonu se předává regulační povel řídicímu systému výrobní elektřiny. Tento povel určuje maximální činnou dodávku výrobních modulů v procentech smluvně dohodnutého výkonu. Hodnota zadaná PDS musí být potvrzena řídicím systémem výrobní elektřiny[8].

2.3.1 EG.D, a. s.

Regulační systém výrobního modulu musí být schopen nastavovat činný výkon v souladu s tabulkou níže. PDS specifikuje časový rámec, ve kterém musí být dosažena

zadaná hodnota činného výkonu. Zkouška zahrnuje ověření možnosti lokálního zadání hodnoty činného výkonu [18].

Povely na řízení činného výkonu ve výrobně jsou tyto:

- Povel P1, nastavení jmenovitého 0% výkonu zdroje -f299P1
- Povel P2, nastavení jmenovitého 30% výkonu zdroje -f299P2
- Povel P3, nastavení jmenovitého 60% výkonu zdroje -f299P3
- Povel P4, nastavení jmenovitého 100% výkonu zdroje (základní provozní stav) -f299P4

Kde povel P1 nastavuje přerušení dodávky, povel P2 nastavuje 30% výkonu zdroje, povel P3 nastavuje 60% výkonu zdroje a povel P4 nastavuje základní provozní stav [15].

Řízení výkonu / binární povelování výrobní z RTU je zajištěno přes řídicí systém výrobní a komunikaci se střídači [18].

2.3.2 ČEZ Distribuce, a.s.

Při omezení nesynchronních VM v rámci jedné výrobní bude omezování činného výkonu probíhat stupňovitě v režimu 0-50-75-100 % P_i [16].

Povely na řízení činného výkonu ve výrobně jsou tyto:

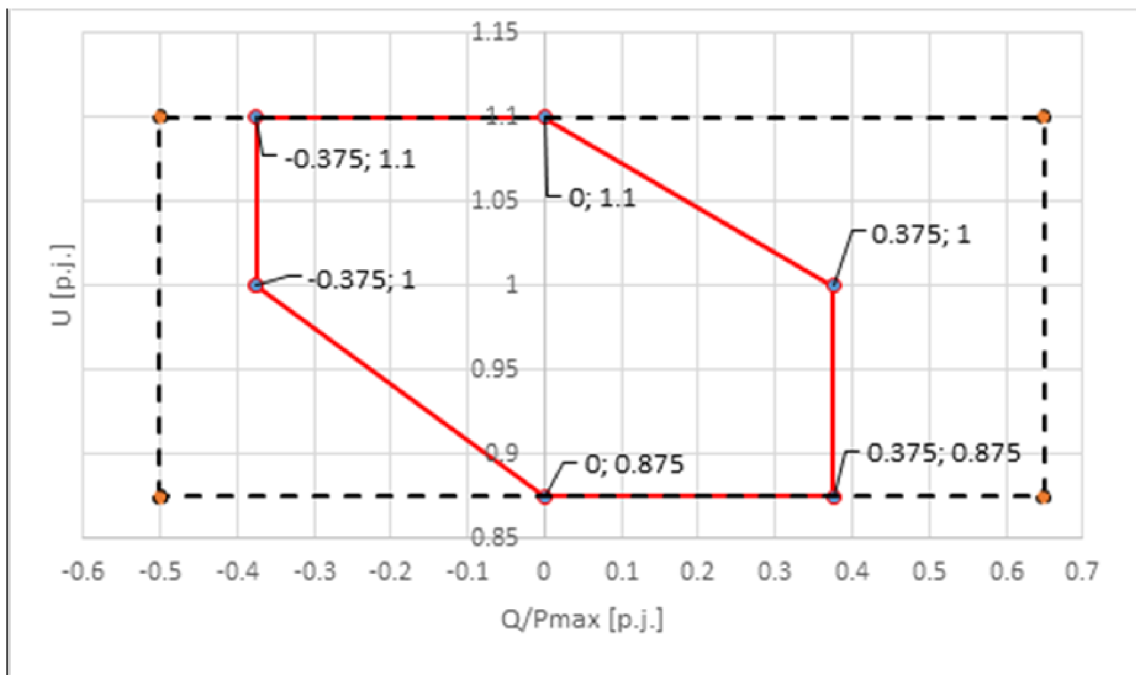
- Povel BO 1, Bez omezení výkonu (100% výkonu) - f23SPG100
- Povel BO 2, Omezení na 60% (75%) výkonu - f23SPG060, f23SPG075
- Povel BO 3, Omezení na 30% (50%) výkonu - f23SPG030, f23SPG050
- Povel BO 4, Omezení na 0% výkonu - f23SPG000 [16]

Kde povel BO 4 nastavuje přerušení dodávky, povel BO 3 nastavuje 30% výkonu zdroje, povel BO 2 nastavuje 60% výkonu zdroje a povel BO 1 nastavuje základní provozní stav [16].

2.4 Dodávka jalového výkonu u nesynchronních výrobních modulů

Nesynchronní VM musí být schopen dodávat dodatečný jalový výkon, který kompenzuje nabíjecí výkon vedení, nebo kabelu vn [8].

Nesynchronní výrobní moduly kategorií B2, C a D musí být schopny pracovat při maximálním dodávaném činném výkonu v souladu s diagramem uvedeným na obr. 2.2.



Obr. 2.2: Dodávka/odběr Q při maximální dodávce P u nesynchronních VM B2 [8]

2.4.1 EG.D, a. s.

Při regulaci jalového výkonu a účinníku se provádí v rozsahu 0,9 kapacitní až 0,9 induktivní a to při dodávce činného výkonu do DS. Pokud provozovatel DS nestanoví jinak, musí být při dodávce činného výkonu dodržen účinník v intervalu 0,98 až 1 kapacitní a při odběru (spotřeba) činného výkonu dodržen účinník v intervalu 0,95 až 1 induktivní [18].

Regulace jalového výkonu se řídí z dispečinku v následujících stupních:

- Povel Q10, nastavení $\cos\varphi=0,90$ kapacitní -f299Q10
- Povel Q5, nastavení $\cos\varphi=0,95$ kapacitní -f299Q5
- Povel L0, nastavení $\cos\varphi=1$ základní účinník -f299L0
- Povel L5, nastavení $\cos\varphi=0,95$ induktivní -f299L5
- Povel L10, nastavení $\cos\varphi=0,90$ induktivní -f299L10

[15].

2.5 Podmínky pro automatické připojení k soustavě

Cílem této zkoušky je ověřit, zda chování střídače při zahájení výroby elektrické energie za normálních provozních podmínek odpovídá aktuálním požadavkům PPDS příloha 4 [18]. Následná synchronizace výrobní sítě musí být plně automatizovaná [8]. Podmínky pro připojení k soustavě jsou následující:

- Napětí a frekvence jsou po dobu 5 minut v mezích, kde napětí se nachází v 85-110% jmenovité hodnoty a frekvence se nachází v rozmezí 47,5 - 50,05 Hz.
- Postupné najetí na výkon od nuly s gradientem maximálně 10% P_n za minutu[8].

Při havarijních stavech např. při výpadku napětí pro celý zdroj musí být zdroj schopen se při uvedení do normálového stavu opět nastavit na dříve požadovaný stupeň regulace [15], [16].

2.6 Opětovné připojení po poruše

Výrobní modul, který byl odpojen od sítě kvůli odchylce napětí nebo frekvence, bude automaticky připojen zpět k DS pouze po splnění následujících kritérií:

- Napětí a frekvence jsou po dobu 5 minut v mezích, kde napětí se nachází v 85-110% jmenovité hodnoty a frekvence se nachází v rozmezí 47,5 - 50,05 Hz.
- Postupné najetí na výkon od nuly s gradientem maximálně 10% P_n za minutu[8].

Výsledek zkoušky je považován za vyhovující, pokud se výrobní znovu připojí po odpojení způsobeném uměle vyvolanou odchylkou napětí nejdříve po 300 sekundách, přičemž během této doby jsou kontrolovány stanovené meze napětí a frekvence[18].

3 Měřicí systém

Výsledkem bakalářské práce je měřicí kufr s analyzátozem Artiq 233 od firmy KMB. V následujících kapitolách je znázorněn postup při navrhování a kompletace samotného kufru.

3.1 Blokové schéma

Na obr. 3.1 je znázorněno blokové schéma měřicího přístroje. V blokovém schématu vidíme zdroj DRC-40B od firmy Mean Well, který je napájen jednou fází a je chráněn proudovým chráničem s jističem o nominálním proudu 10 A. Zdroj slouží jako UPS, nebo jako záložní zdroj. Tento zdroj napájí střídavým napětím analyzátor Artiq 233. Dále pomocí dvou akumulátorů může sloužit jako záložní zdroj. Akumulátory jsou ovládané pomocí otočného přepínače, který je připojí, nebo odpojí. Ze zdroje je vyvedena interní záloha na propojení s +V a COM. Kromě základních ochranných funkcí, jako je ochrana proti přetížení, ochrana proti přepětí, odpojení při vybití baterie a ochrana proti přepólování baterie (zajištěná pojistkou), je systém vybaven alarmovým signálem pro AC OK a indikací vybití baterie pomocí výstupu s otevřeným kolektorem [19]. Signály jsou vyvedené na signálky, které svítí podle toho, jestli je zapnutá baterie, nebo zda je zapnutý střídavý proud.

Na vstupní svorky napětí u Artiqu L1, L2, L3 a N jsou přivedeny hodnoty napětí ze střídače VM. Tato měřená napětí jsou zajištěna tavnou pojistkou o hodnotě F 0,5 A. Měřená napětí lze připojit přes PTN v sítích vn a vvn [17].

Měřený signál proudu ze střídače je odvozen nepřímo přes MTP, kde je nutné dodržet orientaci svorek S1 a S2 a uzemnění v jednom bodě svorky S1 (nebo S2) [17].

Přístroj je vybaven čtveřicí univerzálních unipolárních vstupů/výstupů, které jsou připojeny v režimu digitálního vstupu. Signály z řídicího systému VM jsou přivedeny na svorky D1-D4 a na svorku C (COM) je připojeno záporné napětí [17]. Na svorku D1 jsou přivedeny signály přes dvě tlačítka, která vysílají signál na časovou značku, nebo na povel. Artiq dokáže zaznamenat signál o hodnotě 24 VDC. Jelikož FVE jsou řízeny v různých napěťových úrovních, většinou 24 VDC a 110 VDC, proto signál ze střídačů elektráren jde přes výkonové optoelektrické relé, které umí pracovat v obou hladinách. Druhým otočným přepínačem si volíme jakou hladinu chceme měřit. Tento otočný přepínač je zapojen se třemi relé. Relé pomocí cívky a spínačů přepínají mezi napětím 24 VDC, nebo 110 VDC. Signály jsou jistěny jak před nadproudy pojistkami F 100 mA, tak proti přepětí varistory.

3.2 Schéma zapojení

V této kapitole je popsáno schéma zapojení měřicího kufru. Příloha A obsahuje schéma zapojení, které ilustruje jednotlivé komponenty a jejich propojení v rámci kufru.

Napájení do kufru je přivedeno pomocí standardního konektoru IEC C14, které chrání kombinovaný přístroj jističe a chrániče od firmy OEZ se jmenovitým proudem 10 A, charakteristikou B. Napájení je přivedeno na svorkovnici XAC pomocí vodiče o tloušťce 1,5 mm², která je složena ze 3 svorek. Z těchto svorek je napájen napájecí zdroj Z1. Svorka 1 znázorňuje fázový vodič, který je veden přes pomalou válcovou skleněnou pojistku T 1 A, jež je dimenzována na proud 1 A a napětí 250 V. Ze druhé svorky vede nulový vodič a ze třetí svorky zemnicí vodič. Ze svorkovnice je také vyvedena zásuvka na napájení notebooku, nebo na napájení dalších operačních zařízení. Napájecí zdroj je od firmy Mean Well typ DRC-40B se vstupy L, N a PE, na které je přivedeno 230 VAC. Na výstupu zdroje jsou vývody BAT.+ a BAT.-, AC OK+ a AC OK-, BAT LOW+ a BAT LOW-, V+ a V-. Zdroj dokáže plnit funkci UPS (Uninterruptible Power Supply), neboli funkci záložního zdroje. Akumulační funkci tvoří dvě olovené baterie s jmenovitým napětím 12V, které jsou připojeny ke zdroji do vývodu BAT.+ a BAT.- (viz Příloha A) a vzájemně zapojené do série. Baterie jsou odpojovány otočným přepínačem S2 (viz tab. B.1) a následně chráněny proti přepětí válcovou skleněnou pojistkou T 1,6 A (pomalá) s dimenzováním na proud 1,6A a napětí 250 V. Baterie jsou připojené ke zdroji vodičem 1,5 mm².

Do zdroje jsou zapojeny dvě signálky přes vstupy AC OK- a BAT LOW- podle datasheetu (viz [19]). Do svorkovnice XDC, která má propojené svorky 1-2 a 3-4, je zapojen ze zdroje Z1 výstup V+, konkrétně do svorkovnice 1-2 a do svorkovnice 3-4 je přivedeno V-. Z těchto svorek je vyvedeno záložní 24V střídavé napětí, které je zapojeno přes konektory, jež jsou umístěné na straně kufru. Dále z této svorkovnice napájíme analyzátor PN1. Analyzátor má na vstupu tři svorky X1, X2 a PE, kde X1 je připojeno ze XDC 1-2 a X2 je připojeno z XDC 3-4. Zemnicí vodič je připojen ze svorkovnice XAC ze svorky 3.

Analyzátor PN1 má 6 svorek na měření proudu, z toho 3 na měření primárního proudu u MTP a 3 na sekundární straně PTP. Měření proudu je zapojeno přes šroubové svorky vodičem o tloušťce 2,5 mm². Ze svorek je to následně připojeno na konektory, pomocí konektoru očka. Svorky na měření napětí jsou 4, tři na fázové napětí a jedna na nulový vodič. Měření napětí je zapojeno přes pojistkovou svorkovnici vodičem o tloušťce 1,5 mm², kde jsou uloženy skleněné válcové pojistky F 0,5 A (rychlé), které jsou dimenzovány na proud 500 mA. Dále je měření napětí připojené na konektory obdobně jako měření proudu. Na digitální komunikaci je 5 svorek, z toho svorka C je COM. Svorky XD jsou chráněny jak před nadproudy

pojistkami o hodnotě F 100 mA na svorkovnici FU4(1-4), tak proti přepětí varistorů FV1(1-4) (Příloha A). Napětí použité pro řídicí a ovládací obvody FVE jsou dle distributorů [15], [16] požadovány na úrovni 24 VDC nebo 110 VDC, proto i měřicí přístroj byl uzpůsoben pro snímání napěťové hladiny 110 VDC. Otočný přepínač S1 je zapojen ze svorkovnice XDC, konkrétně ze svorky 1. Přepínač S1 je následně spojen se svorkami A1 na patičkách relé. Na svorky A2 je přiveden ze svorkovnice XDC záporný pól stejnosměrného napětí ze svorky 3.

Spínací kontakty relé jsou spojeny buď přes optočleny, nebo přímo do svorkovnice XD. U optočlenu XF1 je jeho vývod připojen přes dvě tlačítka (S3 Časová značka a S4 Povely). Nakonec je vše ze svorkovnice XD připojeno pomocí kabelových lisovacích oček do konektorů od výrobce Stäubli, které jsou připojené na kufřík.

3.3 Kompletace měřicího kufříku

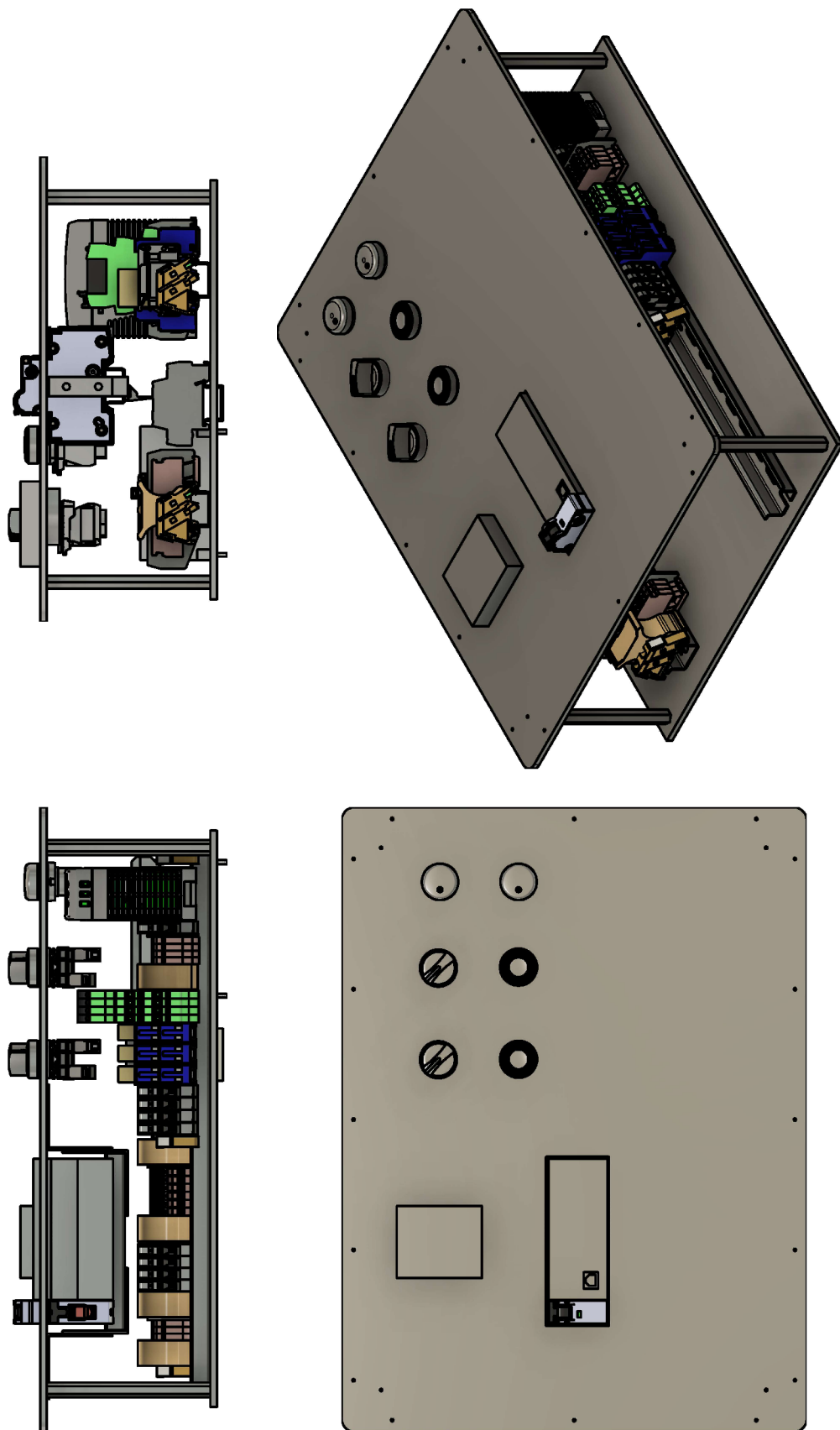
Měřicí systém je umístěn v přenosném kufříku od firmy B&W typ 6000, který bude lehce přenosný a dostupný na měření v terénu. Kufřík se bude převážet autem přímo ke střídačům u elektráren. Vnitřní rozměry kufříku jsou 475 x 350 x 200 mm a vnější rozměry jsou 510 x 420 x 215 mm. Ve kterém je instalován měřicí analyzátor Artiq 233 s vnějším připojením měřících svorek.

Návrh rozložení přístrojů byl vyhotoven v programu Autodesk Fusion 360. Na obr. 3.2 vidíme celou konstrukci, která se vkládá do kufříku. Tato konstrukce se skládá z horní a spodní desky spojené distančními sloupky, které od sebe drží horní a spodní desku. Dále bylo navrženo rozložení konektorů na zadní straně kufříku. Toto rozložení můžeme vidět na obr. 3.3. Konstrukce je následně spojena s konektory na zadní straně kufříku.

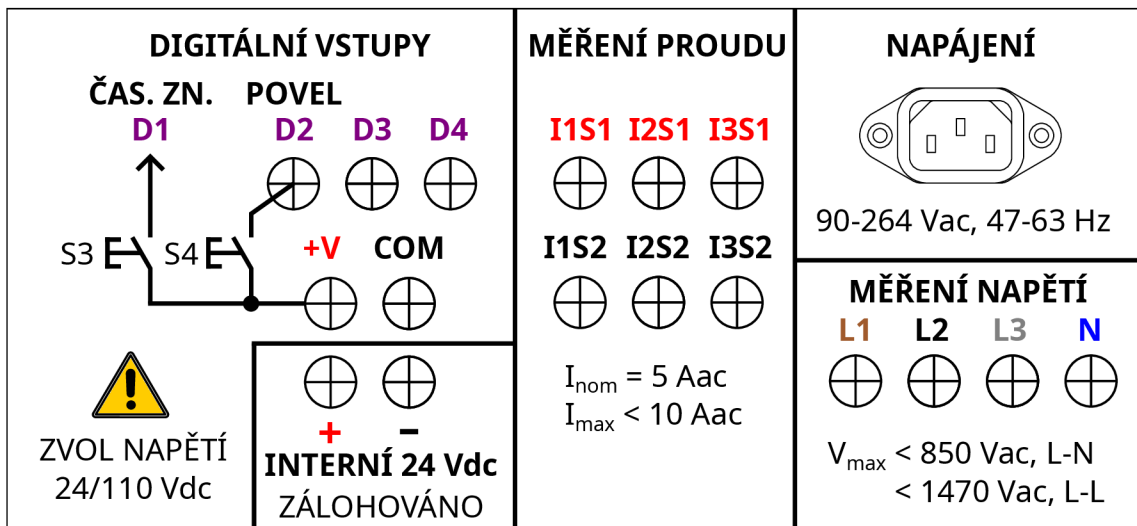
Na Obr. 3.4 jsou vidět různé pohledy na spodní desku s přístroji. Vlevo nahoře můžeme vidět pohled zepředu, vlevo dole vidíme pohled se shora a vpravo nahoře pohled z boku. Na pohledu vpravo dole je vidět kompletní naskládání přístrojů s distančními sloupky.

Podle tohoto návrhu byly postupně na spodní desku navrtány tři perforované ocelové DIN lišty a naskládány přístroje, viz. Obr. 3.5 a box na připevnění dvou akumulátorů. Spodní deska je z akrylátového plexiskla o tloušťce 5 mm. Akrylátové plexisklo se použilo z důvodu lehce zpracovatelného levného materiálu. Do rohů plexiskla byly vyvrtány 4 díry na distanční sloupky, které tvoří se spodní a horní deskou rámovou konstrukci. Distanční sloupky jsou 13 cm vysoké a jsou do nich udělané z obou stran závity na M4x16 šroub.

Horní deska je navržena tak, že do akrylátového plexiskla byl vyříznut otvor pomocí laseru. Na Obr. 3.6 jsou vidět rozměry rozložení děr, dále velikosti otvorů pro Artiq 233. Tyto vzdálenosti byly navrženy, aby se deska mohla připevnit šrouby



Obr. 3.2: Horní a spodní deska s pohledy



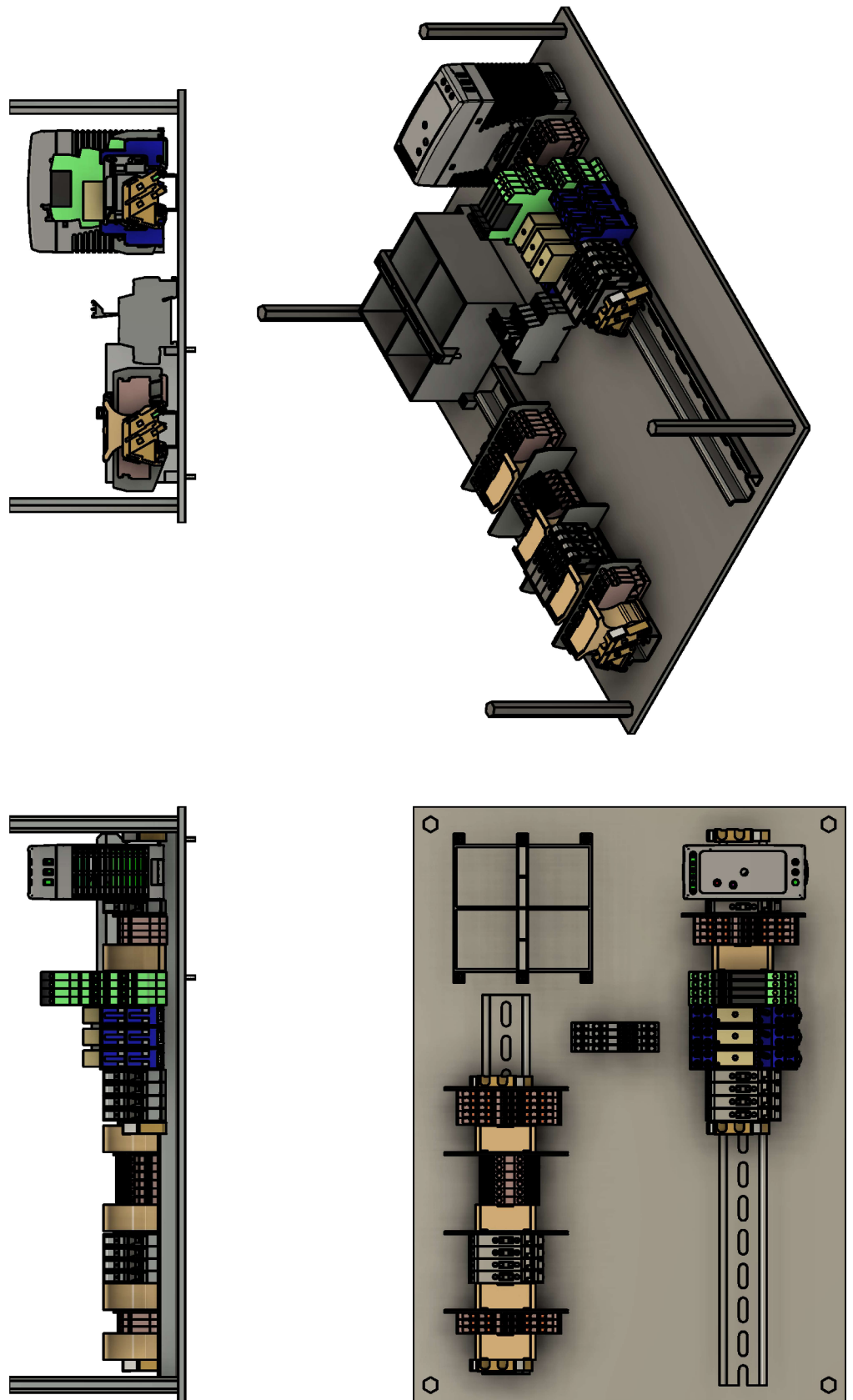
Obr. 3.3: Rozložení konektorů na zadní straně měřicího kufru

do rámu kufru. Dále v levé spodním pohledu vidíme kóty na distanční sloupky, a rozměry rozmístění přepínačů, tlačítek a signálků. Vlevo nahoře u obr. 3.6 vidíme pohled zepředu, kde můžeme vidět, že Artiq 233 je přidělaný k horní desce přes 4 pravoúhlé úhelníky, každé dva úhelníky jsou spojené do tvaru Z. Následně je na tyto úhelníky přimontovaná DIN lišta, a na ní je Artiq 233 a kombinovaný přístroj jističe a chrániče. Přední pohled můžeme vidět na obr. 3.6 vlevo nahoře. Dále do horní desky bylo vyvrtán otvor na zásuvku a 6 děr o průměru 14 mm na dva přepínače, dvě tlačítka a dvě signálky.

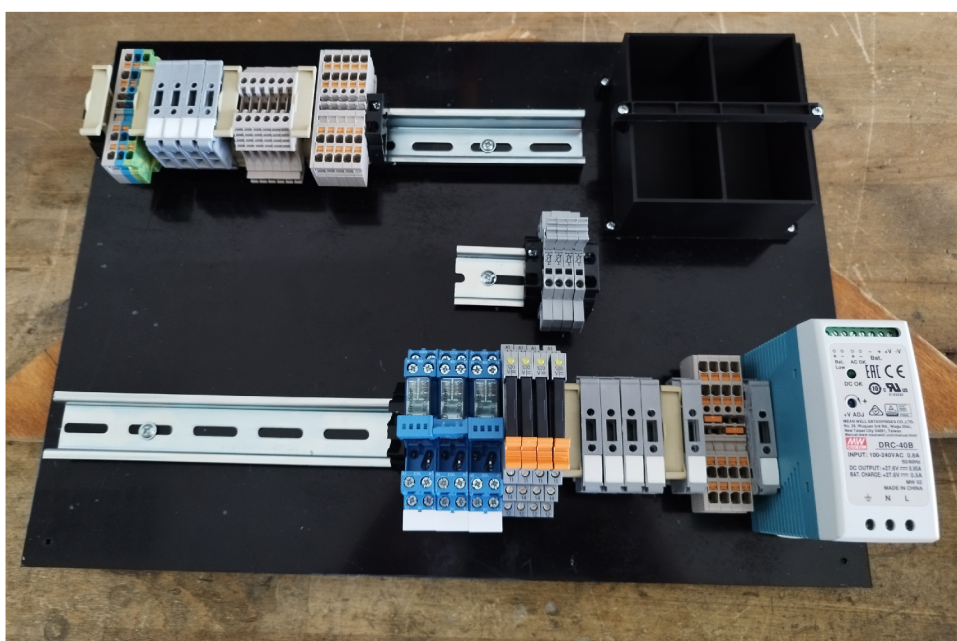
Po naskládání přístrojů na spodní desku se začalo s propojováním vodičů. Zapojování probíhalo podle schéma zapojení viz Příloha A. Zapojovalo se pomocí vodičů s lanovým jádrem. Na propojení napětí se použily vodiče o průměru $1,5 \text{ mm}^2$, těmto vodičům bylo na obou koncích popsáno jejich zařazení. Proudové vodiče se použily o průměru $2,5 \text{ mm}^2$ a digitální o průměru 1 mm^2 . Délka vodičů byla měřena tak, aby se dala horní deska odklopit při případné výměně pojistek. Odklopovat se bude na zadní stranu viz obr. 3.7.

Na zadní stranu kufru se podle návrhu vyvrtaly díry na konektory Stäubli a napájecí konektor. Následně se nalepila bílá folie, na které byly natištěny popisky konektorů. Konektory se upevnily pomocí speciálních pomůcek a napájecí konektor se připojil pomocí šroubů viz. obr. 3.8. Nakonec se konstrukce propojila s konektory na kufru viz obr. 3.9. Na propojení konektorů se používala kabelová očka, která se na konektor přichytila pomocí dvou matek.

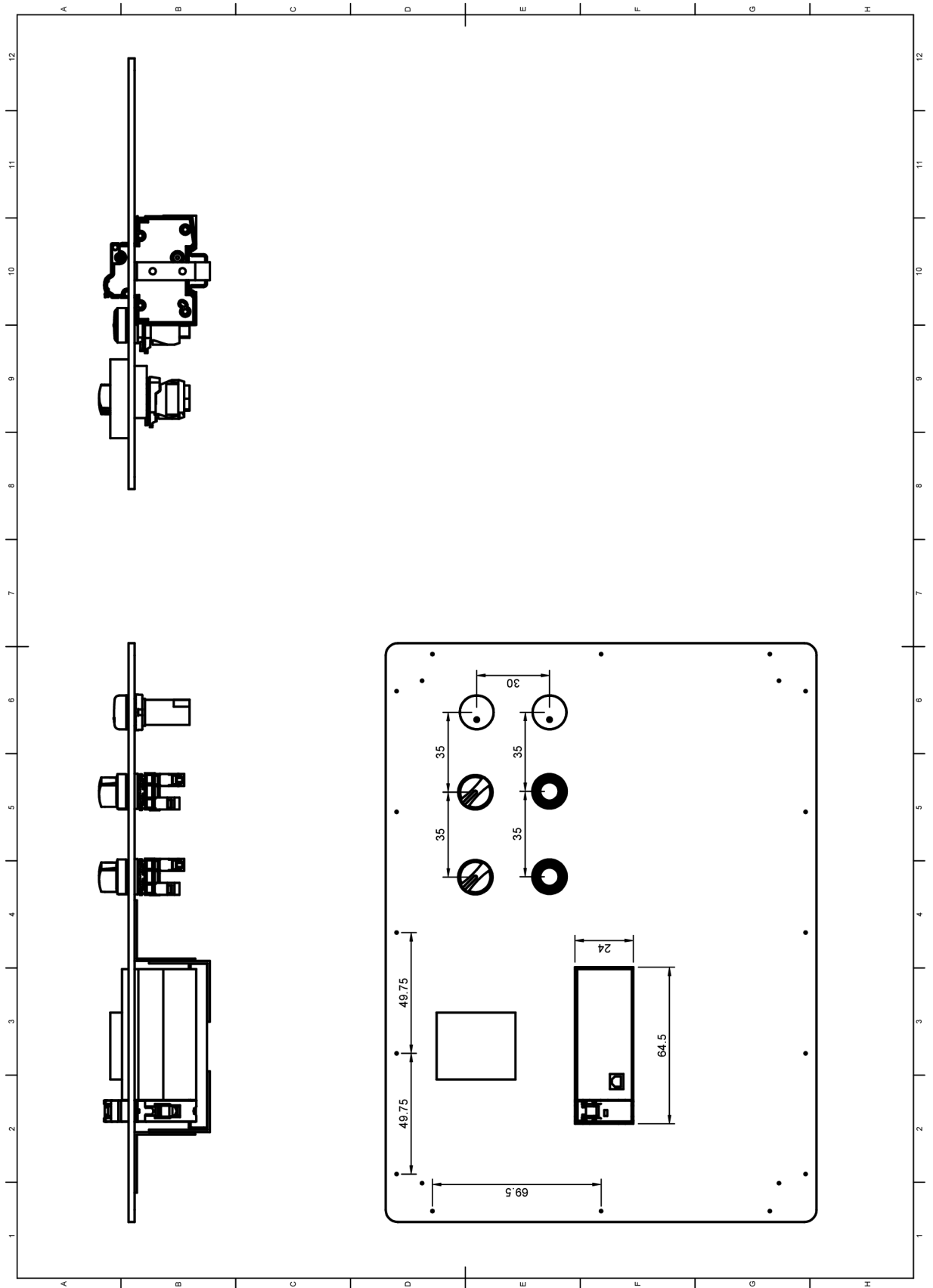
Při finální kompletaci se konstrukce vložila do kufru a přišroubovala šrouby viz obr. 3.10. K měřicímu kufru byla dodatečně přidána i kapsa na odložení dokumentů a na napájecí kabel viz obr. 3.11.



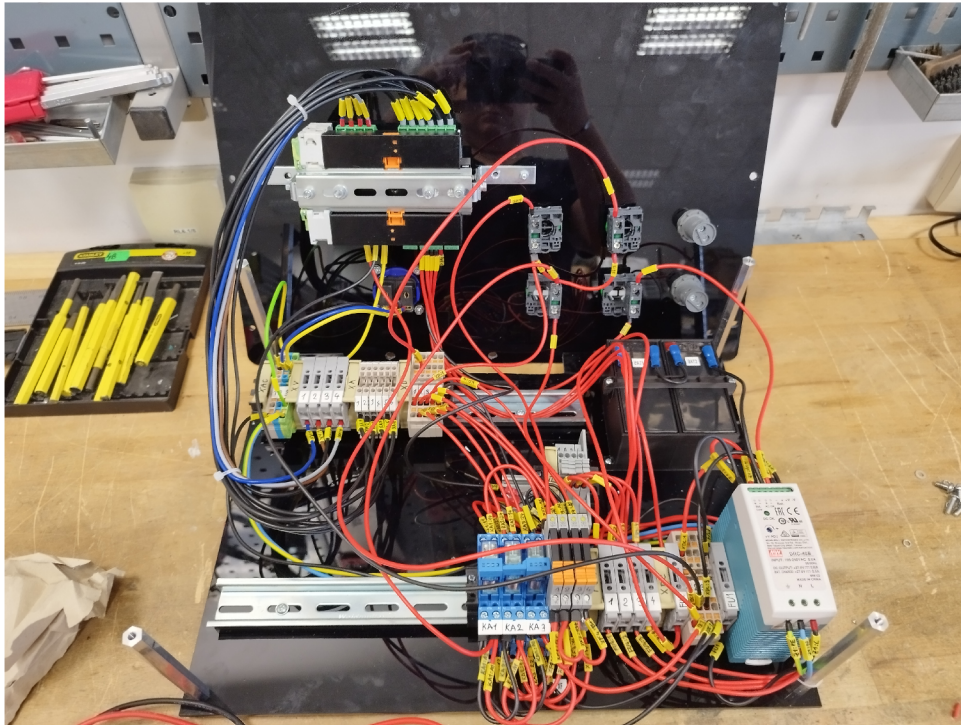
Obr. 3.4: Spodní deska s různými pohledy



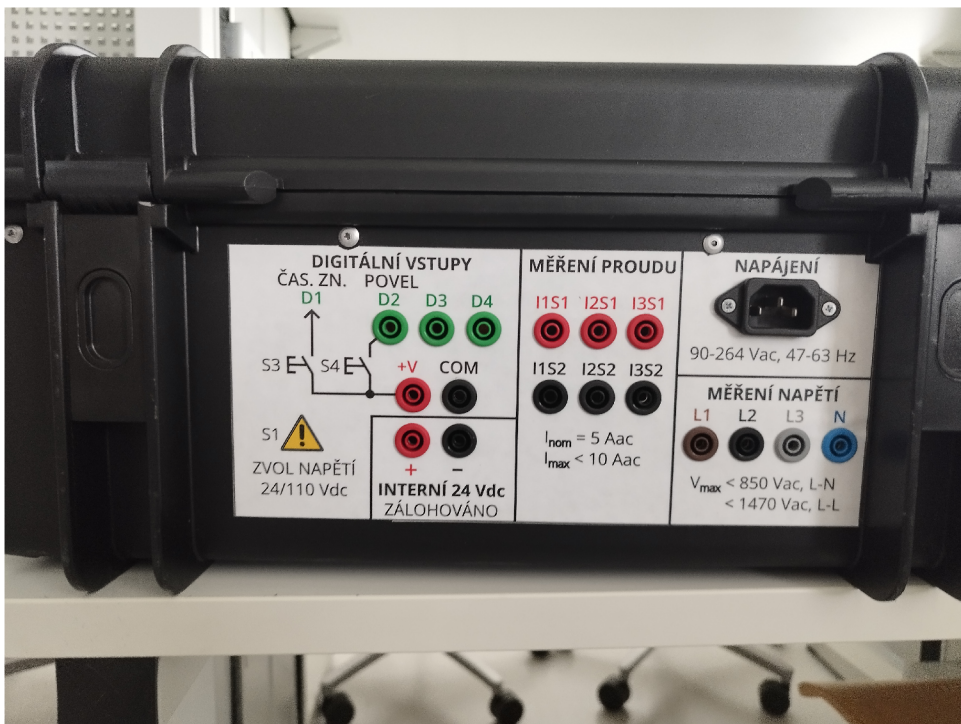
Obr. 3.5: Spodní deska s přístroji



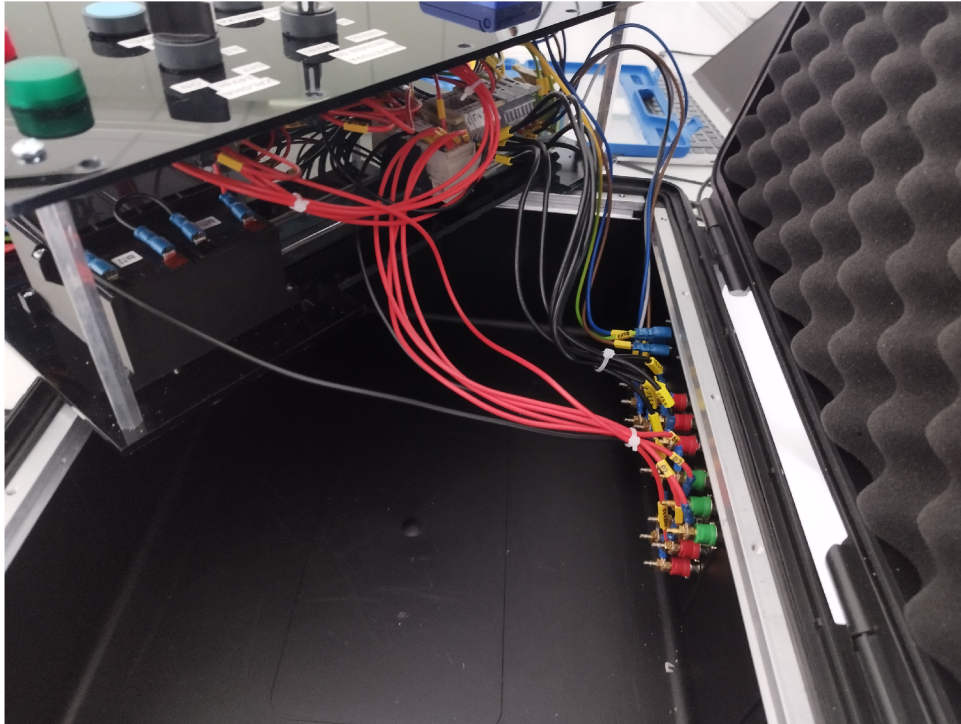
Obr. 3.6: Horní deska s kóty



Obr. 3.7: Spodní deska s propojenými přístroji



Obr. 3.8: Zadní strana kufru s konektory



Obr. 3.9: Propojení konektorů a konstrukce



Obr. 3.10: Přední deska měřicího kufru

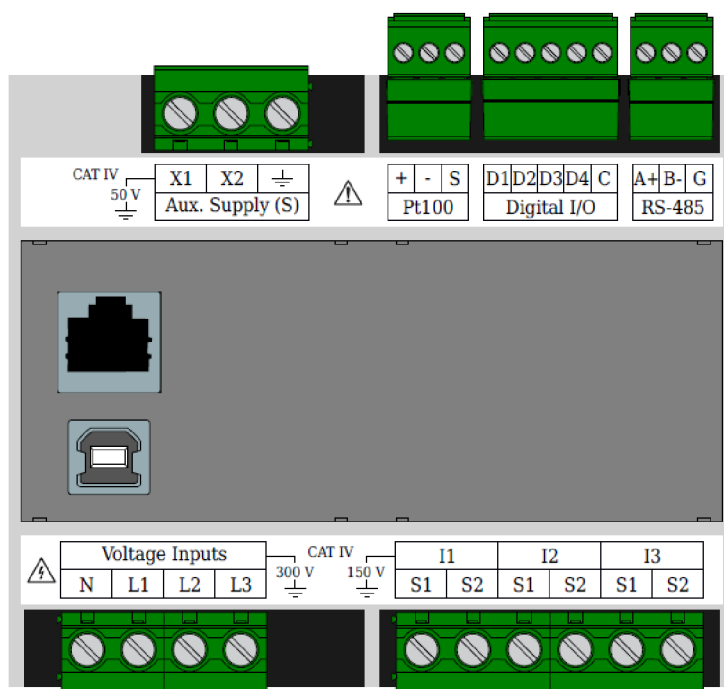


Obr. 3.11: Zkompletovaný měřicí kufř

4 KMB ARTIQ 233

ARTIQ 233 byl vyvinut s cílem umožnit vzdálený monitoring spotřeby energie a sledování kvality napětí. Je navržen pro instalaci na DIN lištu nebo montážní panel. Ve své základní verzi nemá lokální displej. Tato konfigurace je vhodná pro širokou škálu aplikací v energetice a chytrých sítích, v automatizaci budov a v jednotlivých výrobních procesech pro vzdálený dohled nad infrastrukturou a automatické řízení zátěže. Vstupy a výstupy lze snadno nastavit pro řízení jednoduchých kontrolních úkolů [17].

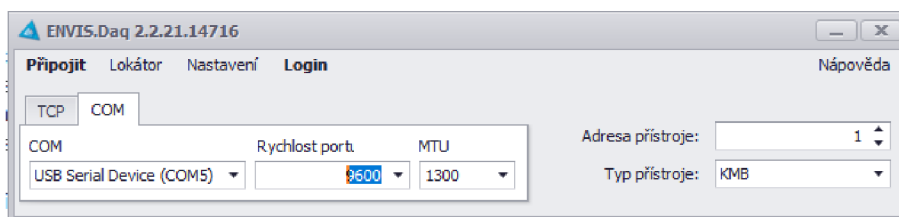
Pro komunikaci s nadřazeným systémem využívá ARTIQ 233 komunikační linku RS-485 nebo Ethernet, pro lokální komunikaci je k dispozici rozhraní USB. Přístroj je schopen měřit tři napětí a tři proudy, což z něj činí výkonný nástroj pro sledování a správu energetických systémů [17].



Obr. 4.1: ARTIQ 233 [17]

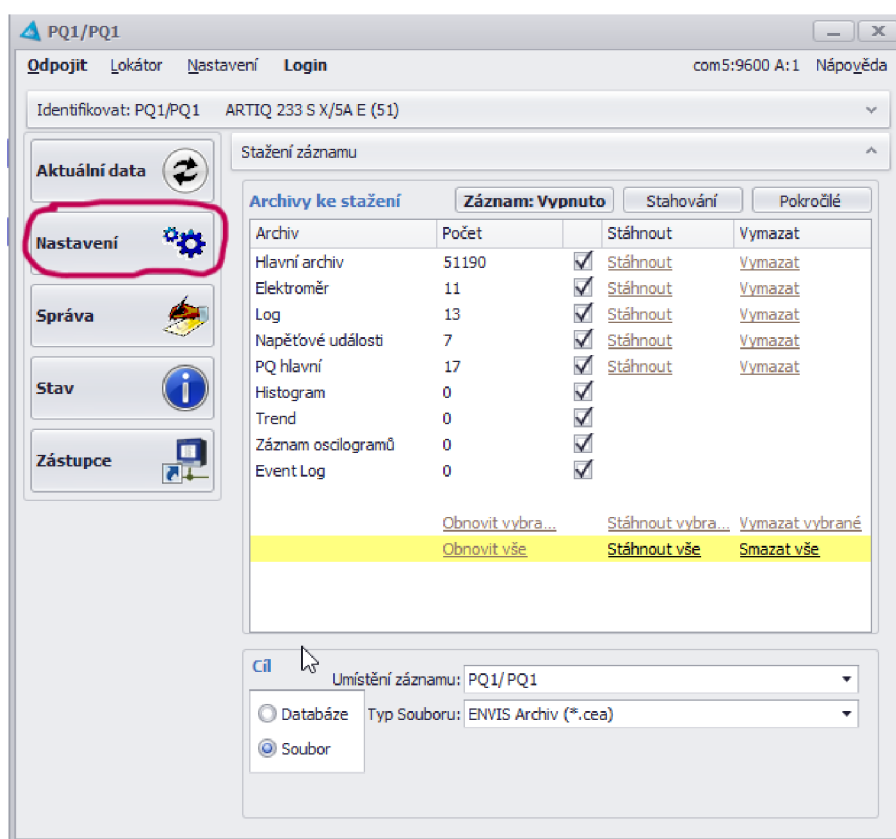
4.1 Parametrizace Artiqu

Před začátkem měření se musí přístroj Artiqu 233 parametrizovat. Parametrizace se provádí z počítače v aplikaci ENVIS.Daq od firmy KMB. Pomocí USB se analyzátor připojí k PC. Po otevření programu se musí nastavit správný port na přenos dat COM, viz obr. 4.2, po stisknutí volby *Připojit* se pokračuje dál do menu.



Obr. 4.2: Nastavení připojení

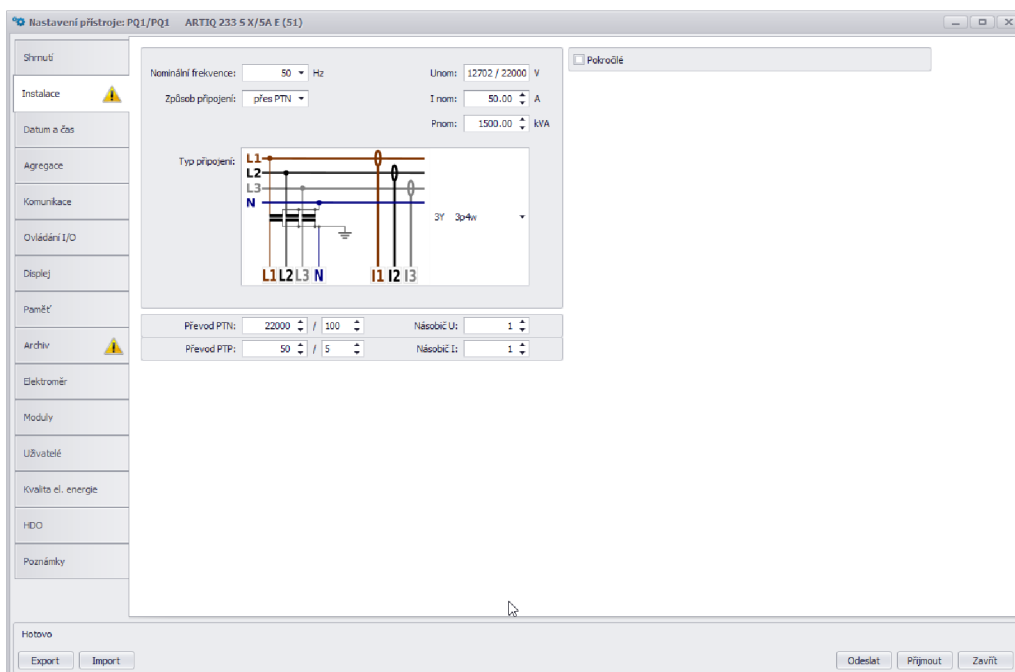
Po připojení se zobrazí menu, kde jsou načtená nastavení uložená v přístroji a okno se souhrnnými informacemi [17]. V menu se následně stiskne záložka *nastavení* v levém sloupci nabídky viz obr. 4.3.



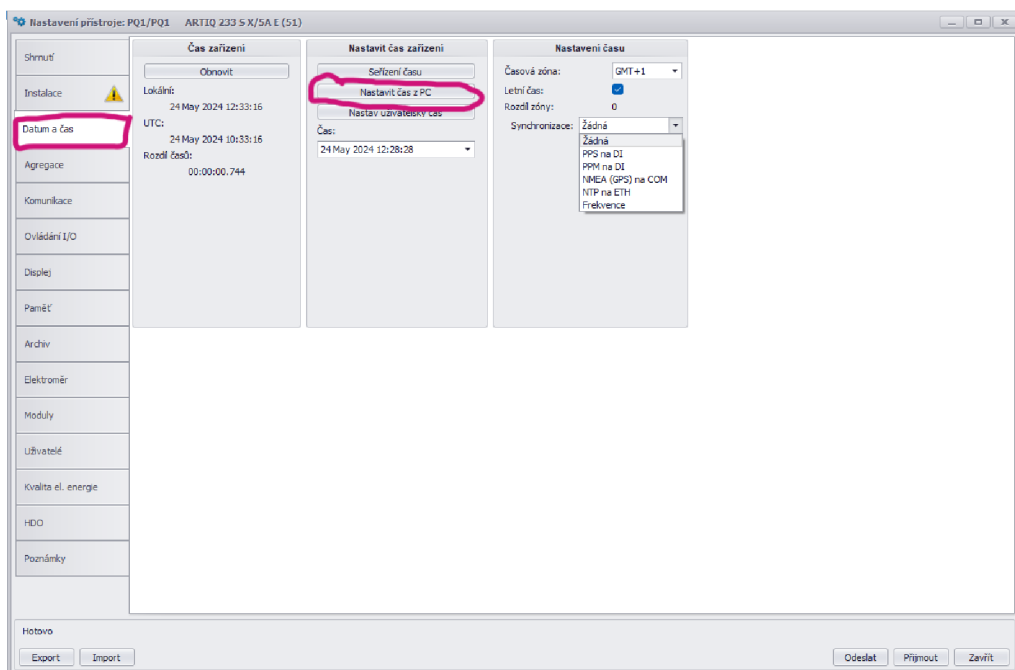
Obr. 4.3: Okno aplikace ENVIS.Daq s připojeným analyzátozem

Z hlediska správné funkce přístroje jsou podstatné záložky *Instalace* a *Datum a čas* [17]. V záložce *Instalace* viz obr. 4.4 se nastavuje nominální frekvence, způsob připojení, typ připojení, nominální napětí (fázové a sdružené) U_{nom} , nominální proud I_{nom} , nominální výkon P_{nom} , převod PTN a převod PTP.

Pro správnou orientaci v získaných datech je důležité nastavit datum a čas. Proto v nastavení přístroje v levém sloupci máme záložku *Datum a čas* obr. 4.5, kde se vybere *Nastavit čas z PC*. Tento čas se následně nastaví i v analyzátozem.



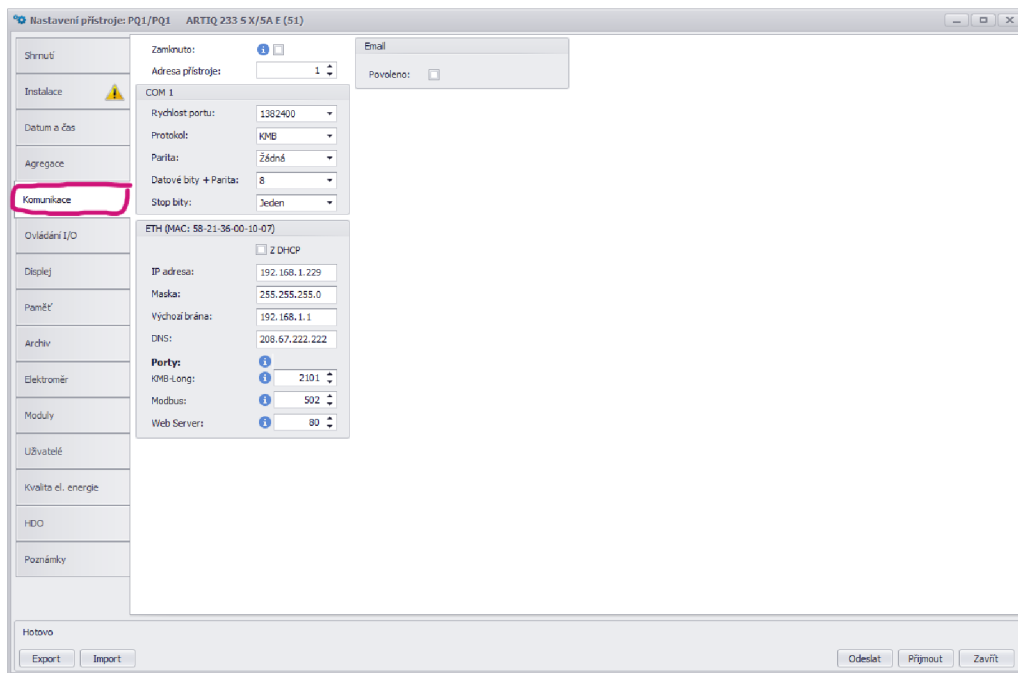
Obr. 4.4: Nastavení základních parametrů zapojení přístroje



Obr. 4.5: Nastavení data a času

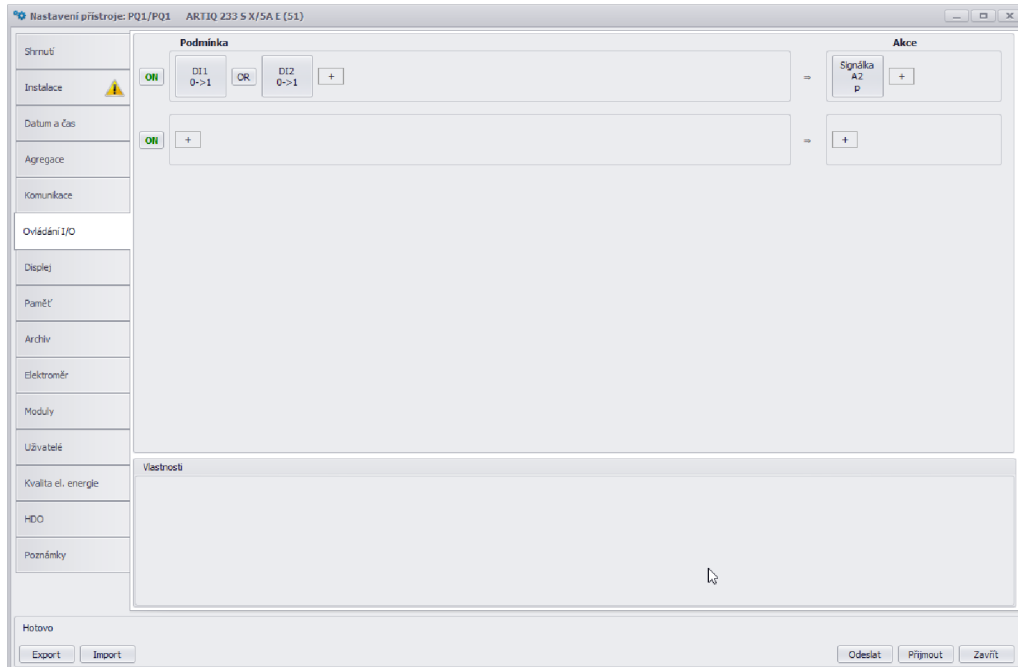
V záložce *Komunikace* se nastavuje, jakým způsobem má analyzátor komunikovat. Analyzátor se nastavuje na komunikaci přes COM port viz obr. 4.6.

V záložce *Ovládání I/O* se dají nastavovat různé automatizace na různé výstupy. Částečná automatizace je možnost spouštění záznamu (oscilogramu). Na obr. 4.7 je



Obr. 4.6: Nastavení parametrů komunikačních linek

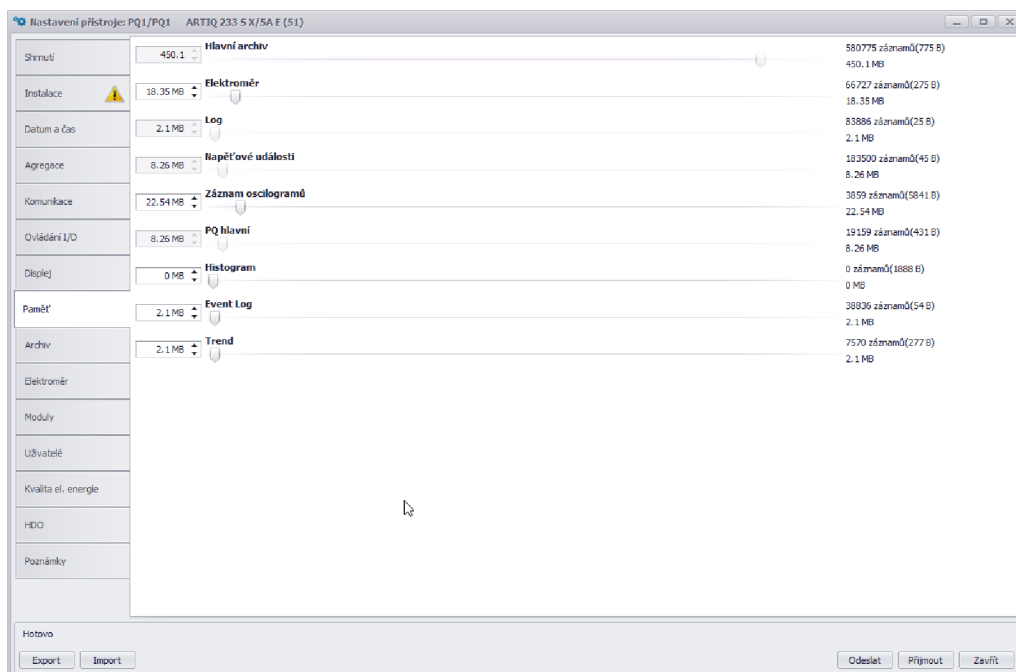
nastavena zpětná kontrola tlačítek – na signálku A2 je nastaven impuls, který se projevívá po zmáčknutí tlačítka. Tím je získána zpětná informace, o zahájení děje.



Obr. 4.7: Nastavení chování programovatelných vstupů a výstupů

Měřicí kufr budeme převážně používat, jako měřicí přístroj na impulzy, proto

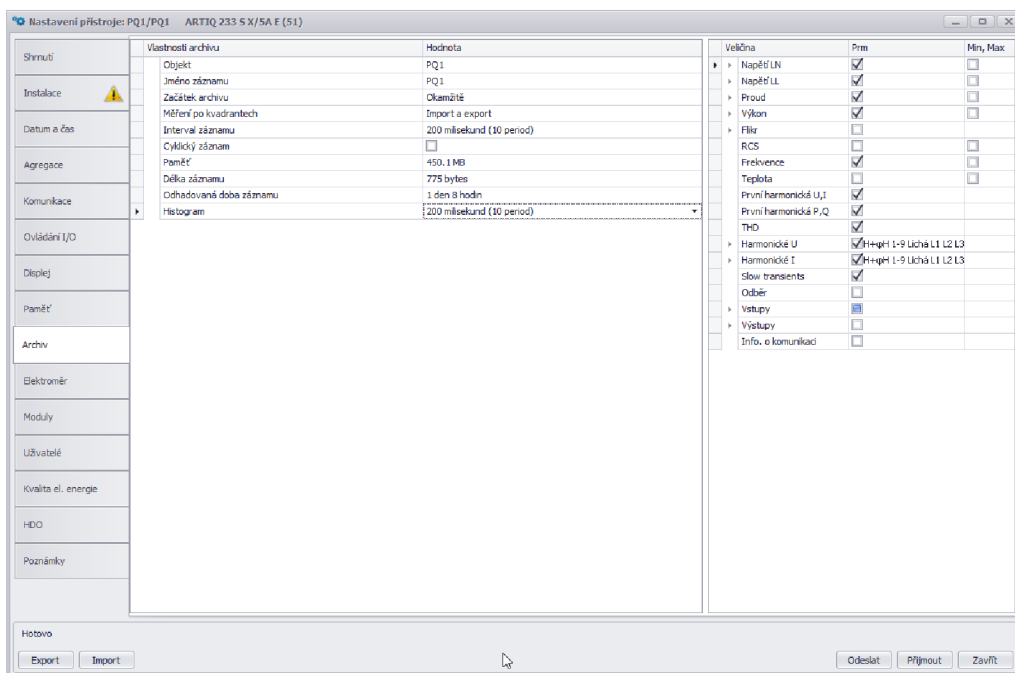
je pro nás důležitý hlavní archiv viz obr. 4.8. Do hlavního archivu se zaznamenávají hodnoty měřených veličin (výkony, napětí atd.). Pomocí posuvníku nebo přímo editací se rozděluje volná kapacita vnitřní paměti přístroje vybraným archivům.



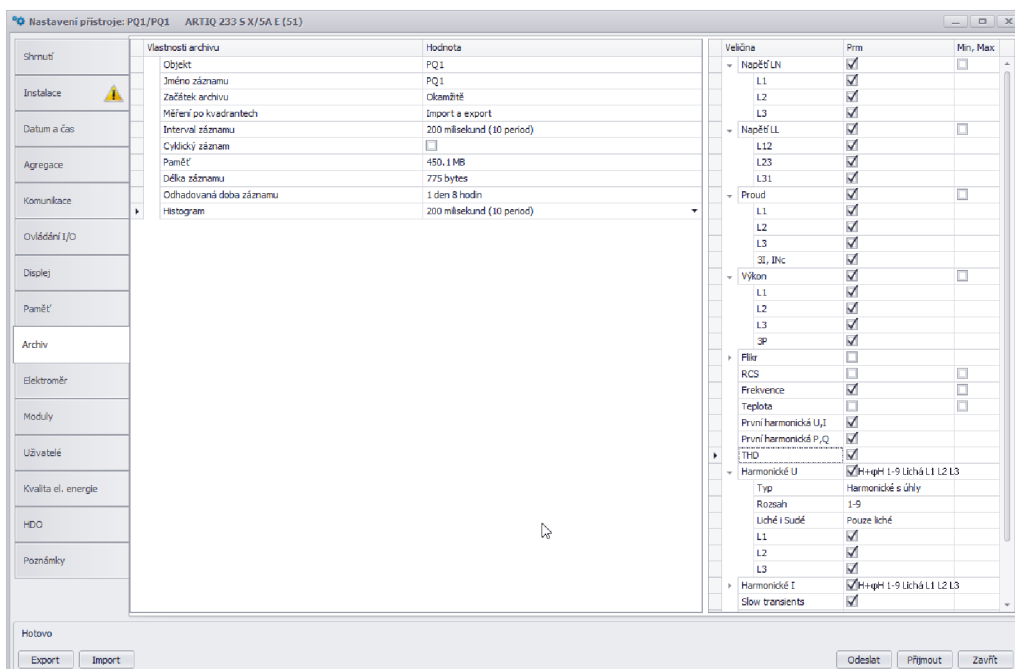
Obr. 4.8: Nastavení rozdělení paměti mezi jednotlivé archivy

V nastavení hlavního archivu je důležité nastavit, které měřené veličiny, a v jakém intervalu se mají ukládat do paměti přístroje. Na obr. 4.9 se nastavují popisky, jak se mají data ukládat. Pro nás je důležité nastavit v záložce *Měření po kvadrantech* Import a export, vzhledem k tomu, že měříme ve výrobnách jejich spotřebu, tak jejich dodávku. Pro interval záznamu se používá nejkratší možný záznam 200 milisekund (10 period), protože se chce znát, co se ve výrobnách děje, po co nejkratších hodnotách.

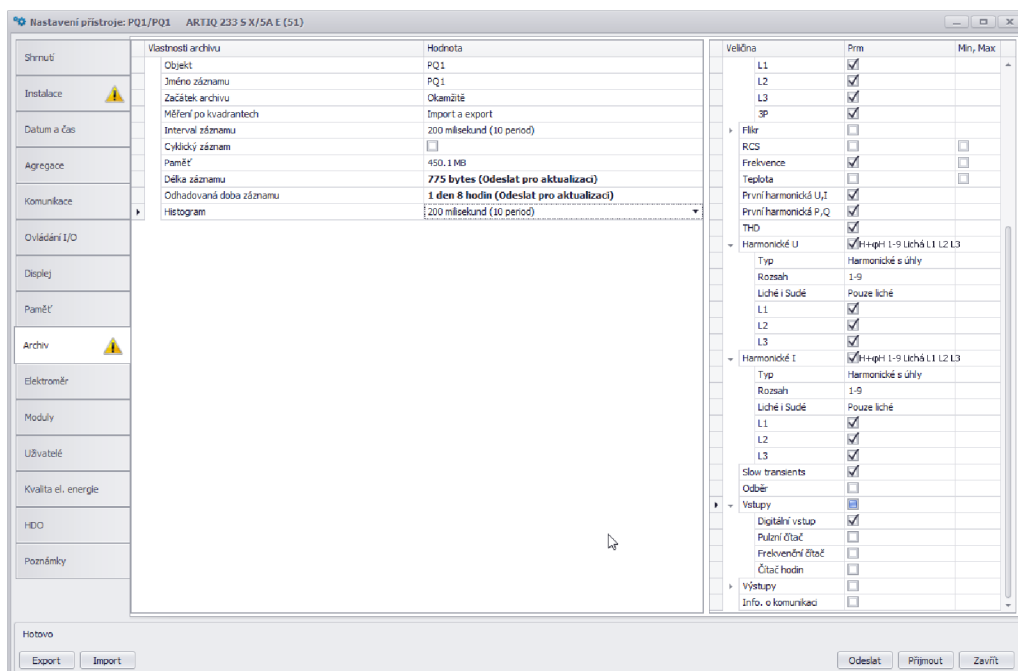
V pravé části Archivu se volí, jaké veličiny chceme měřit. Pro měření proudu se volí měření sdružené i fázové. U proudu a výkonu se také volí všechny veličiny viz obr. 4.10. Frekvence je taktéž zvolena, neboť chceme znát frekvenci systémovou a síťovou. Dále na obr. 4.11 nás zajímají první harmonické napětí proudu a výkonu. Na vyšších harmonických nás zajímá co odběratel (uživatel) odebírá, nebo dodává. Z toho se bere podpora napětí, nebo omezování činného výkonu. V neposlední řadě je důležité znát digitální vstupy, neboť chceme, aby nám analyzátor zaznamenával časové značky a povely.



Obr. 4.9: Nastavení záznamu hodnot do hlavního archivu přístroje 1



Obr. 4.10: Nastavení záznamu hodnot do hlavního archivu přístroje 2



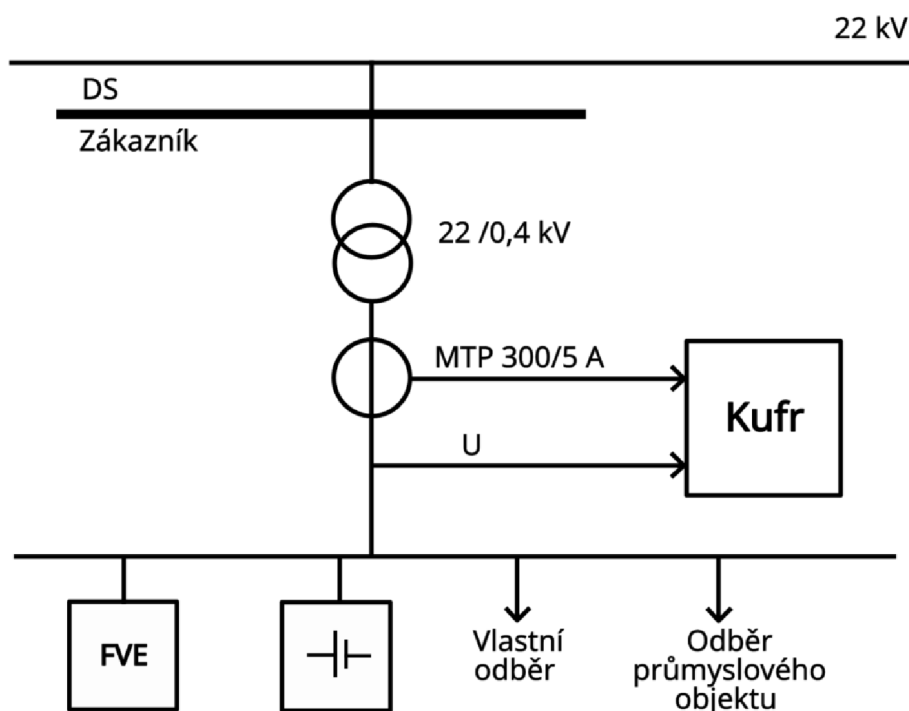
Obr. 4.11: Nastavení záznamu hodnot do hlavního archívu přístroje 3

5 Příklad zapojení měřicího kufru pro ověření funkčnosti FVE

Příloha C obsahuje schéma připojení měřicího kufru pro zkoušky souladu VM. Tento příklad je připojení pro kat. B dle požadavků EG.D. [18]. Měřicí vstupy přístroje jsou připojeny na sekundární obvody měřicích transformátorů napětí a proudu. Při měření je nutné přepnout přepínač S1 na napěťovou úroveň DI na 110 VDC. Interní zdroj pro napájení DI není použit. Povel se budou vždy jednotlivě přepínat manuálně, kdy se vodič připojí na určitou svorku a do kufru. V Příloze C je to naznačeno na povelu *f299P1*, který je na svorce 5 XYW, tento povel je spojen s konektorem D2 na kufru. Konektory D3 a D4 nemohou vysílat žádné povely, protože nemají žádné tlačítko, snímají tedy pouze signál. D3 se bude používat na signalizaci, proto je na schématu propojen se signálem *H299P1* na svorce 7 XYH.

6 Praktické ověření funkčnosti

Měřicí kufr byl použit pro praktické měření výrobní na měření hlavního vývodu z FVE. Tato FVE je napájena ze sítě 22 kV, ze které přes pojistkové odpojovače a další chrániče byl připojen transformátor 22/0,4 kV. Dále ve výrobě bylo MTP (Měřicí transformátor proudu) z 300/5 A, ze kterého byl napojen měřicí kufr. Následně bylo připojeno i měření napětí. Nakonec je připojená fotovoltaika, akumulční systém, vlastní odběr a odběry z průmyslového objektu. Toto zapojení se nazývá: „Vnořená výrobní do odběrného místa“ viz obr. 6.1, ve kterém je znázorněno jednoduché schéma zapojení bez znázornění chránění objektu.



Obr. 6.1: Jednoduché schéma zapojení do VM

Na této fotovoltaické elektrárně byl ověřen měřicí kufr, že je správně navrhnout a zapojen.



Obr. 6.2: Připojení měřicího kufru k PC



Obr. 6.3: Zadní strana s konektory



Obr. 6.4: Připojení do FVE

Závěr

Cílem bakalářské práce byla kompletace měřicího kufru pro zkoušení požadavků souladu pro FVE v terénu. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

V teoretické části se práce zabývá specifikací distributorů elektrické energie na území České republiky, stanovuje konkrétní požadavky pro terénní zkoušky nesynchronních výrobních modulů kategorií A2, B1, B2, a podrobně je vysvětluje. Dále jsou v teoretické části řešeny legislativní dokumenty, které hrají důležitou roli pro připojení nových výrobních modulů do distribuční sítě.

Cílem praktické části byl návrh měřicího kufru s integrovaným analyzátozem Artiq 233 od firmy KMB. S tímto návrhem se pojí i následná tvorba blokového schématu, schématu zapojení a návrh rozložení konektorů na zadní straně měřicího kufru a rozmístění přístrojů na přední desce kufru. Pro správné fungování analyzátoru bylo potřeba analyzátor naparametrizovat. Následně byl takto navržený měřicí kufr sestaven a zkompletován. V rámci ověření funkčnosti navrženého měřicího zařízení byl takto sestavený kufr před odevzdáním bakalářské práce otestován v terénní zkoušce, kde nebyla zjištěna žádná závada a zkouška proběhla bez problémů.

Literatura

- [1] [OSN]. *Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu*. Online. MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Ministerstvo životního prostředí. © 2008-2023. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/kjotsky_protokol. [cit. 2024-01-21].
- [2] [OSN]. *Pařížská dohoda*. Online. MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Ministerstvo životního prostředí. © 2008—2023. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda. [cit. 2024-01-21].
- [3] *Mezinárodní klimatické dohody*. Online. FAKTA O KLIMATU. Fakta o klimatu. © 2024. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/svetove-dohody>. [cit. 2024-01-21].
- [4] *Energetický regulační úřad*. Online. Energetický regulační úřad. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/>. [cit. 2023-12-18].
- [5] *Tzb-info*. Online. Detekce vad u fotovoltaických panelů. C2001-2024. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz>. [cit. 2024-05-29].
- [6] Zákon č. 458/2000 Sb.: , o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). In: . [Systém ASPI]: Wolters Kluwer, 2001. ISSN 2336-517X. Dostupné také z: <https://www.aspi.cz/products/lawText/1/49962/1/2>.
- [7] *NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2016/631*. Online. NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2016/631. 2016. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R0631>. [cit. 2023-12-18].
- [8] *Pravidla provozování distribučních soustav: pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulčních zařízení se sítí provozovatelé distribuční soustavy*. Online. 2022. Dostupné také z: https://www.egd.cz/sites/default/files/2022-09/priloha_4_pravidla_pro_paralelni_provoz_vyroben_a_akumulacnich_zarizeni_09_2022.pdf.
- [9] *ČEPS, a.s.* Online. ČEPS, a.s. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/>. [cit. 2024-01-18].
- [10] *Distribuční soustava elektřiny a plynu na mapě*. Online. Ceny Energie. 2020. Dostupné z: <https://www.cenyenergie.cz/distribucni-soustava/#/promo-gas-mini>. [cit. 2024-01-19].

- [11] *Informační portál energetické gramotnosti*. Online. Informační portál energetické gramotnosti. 2018. Dostupné z: <https://www.informacni-portal.cz/clanek/distribucni-soustava#article-top>. [cit. 2023-12-18].
- [12] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNI ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN EN 50549-1, *Požadavky na paralelně připojené výrobní s distribučními sítěmi - Část 1: Připojení k distribuční síti nn - Výrobní do typu B včetně*. 3rd ed. 2019.
- [13] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNI ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN EN 50549-2, *Požadavky na paralelně připojené výrobní s distribučními sítěmi - Část 2: Připojení k distribuční síti středního napětí - Výrobní do typu B a včetně*. 3rd ed. 2019.
- [14] *Testovací metody a techniky pro ověřování souladu výrobních zařízení a výroben s nařízením RfG a jejich monitoring: Implementace certifikačních procesů pro zajištění integrace rozptýlených zdrojů v souladu s požadavky Nařízení EU*. Online. Brno, 2023.
- [15] *Podklady pro Dispečerské řízení a Chránění decentralních zdrojů (od 1000kW) připojovaných do distribučních sítí EG.D*. Online. EG.D, a.s. 2023. Dostupné z: https://www.egd.cz/sites/default/files/2023-05/podklady_pro_dispecerske_ruzeni_a_chraneni_dece_od_1000kw_v2.pdf. [cit. 2024-01-19].
- [16] ČEZ DISTRIBUCE, A.S. *PŘIPOJOVACÍ PODMÍNKY VN, VVN*. Online. ČEZ Distribuce, a.s. 2023. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/pripojovacipodminkyvnnvvn.pdf>. [cit. 2024-01-19].
- [17] *ARTIQ 233*. Online. K M B systems, s.r.o. 2023. Dostupné z: <https://www.kmb.cz/produkty/kvalitomery-tridy-a/artiq233>. [cit. 2024-01-03].
- [18] DRÁPELA, J.; DVOŘÁČEK, J.; MORÁVEK, J.; VOJTEK, M.; TOMAN, P.; PTÁČEK, M.; MANHALTER, M.; ONDEREK, A.; ŠTÍCHA, P.; KRATOCHVÍL, P.; HRUŠKA, T. *Testovací metody a techniky pro ověřování souladu výrobních zařízení a výroben s nařízením RfG a jejich monitoring*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2023. s. 1-127.
- [19] *Mean Well 40W Single Output with Battery Charger (UPS Function)*. Online. In: MEAN WELL. <https://www.meanwelldirect.co.uk/products/40w-single-output-power-supply-with-battery-charger-ups-function/>. 2018.

Dostupné z: <https://www.meanwelldirect.co.uk/products/40w-single-output-power-supply-with-battery-charger-ups-function/>.
[cit. 2024-05-23].

Seznam symbolů a zkratek

Zkratky:

Zkratka	Popis
a.s.	akciová společnost
COM	common ground (Společná zem)
č.	číslo
ČR	Česká republika
ČSN EN	české technické normy
DŘS	Dispečerská řídicí soustava
DS	Distribuční soustava
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
FVE	Fotovoltaická elektrárna
HDO	Hromadné dálkové ovládání
kat.	Kategorie
L1	Fáze L1 (první fáze v třífázové soustavě)
L2	Fáze L2 (druhá fáze v třífázové soustavě)
L3	Fáze L3 (třetí fáze v třífázové soustavě)
MTP	Měřicí transformátor proudu
N	Nulový vodič
obr.	Obrázek
OSN	Organizace spojených národů
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PC	Počítač
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
PEN	Kombinovaný ochranný vodič a neutrální vodič
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy
PS	Přenosová soustava
PTN	Přístrojový transformátor napětí
PTP	Přístrojový transformátor proudu
RfG	Requirements for Generators (požadavky na generátory, nařízení EU)
RTU	Remote Terminal Unit (dálková terminálová jednotka)
ŘJ	Řídicí jednotka
tab.	Tabulka
UPS	Uninterruptible Power Supply (záložní zdroj nepřerušitelného napájení)
USB	Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)
VM	Výrobní modul

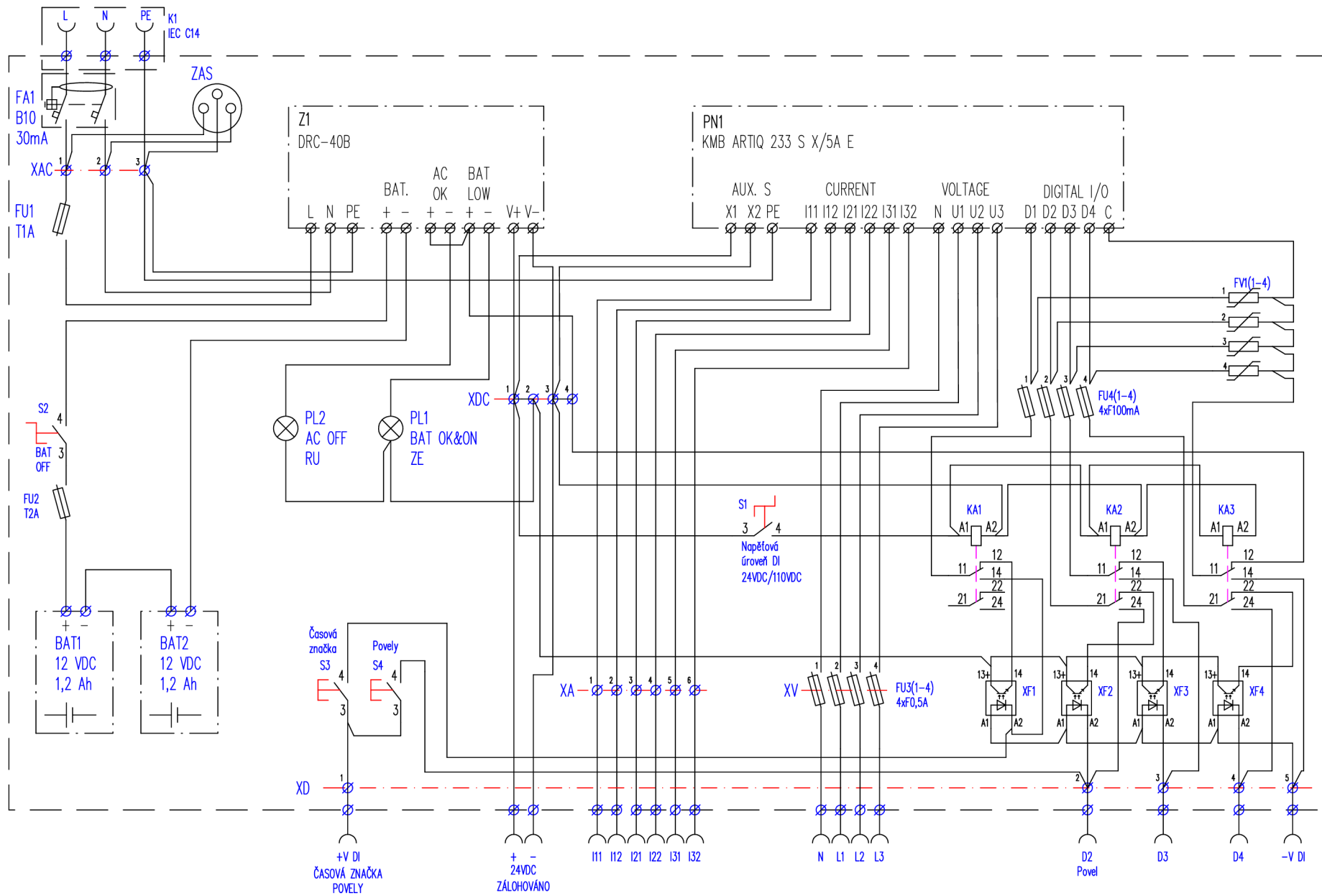
Symbols :

Symbol	Popis	Jednotka
f	Frekvence	(Hz)
I	Proud	(A)
I_{nom}	Nominální proud	(A)
P	Výkon	(W)
P_n	Normálový výkon	(W)
P_{nom}	Nominální výkon	(W)
U	Napětí	(V)
U_{nom}	Nominální napětí	(V)

Seznam příloh

A Schéma zapojení	55
B Tabulka použitého materiálu	57
C Připojení měřicího kufru do AXY	60

A Schéma zapojení



Vypracoval: Aneta Chvalová
 Schválil: Ing. Jiří Dvořáček
 Datum : 22.5.2024

AKCE:

Investor:
 Obsah: SCHÉMA ZAPOJENÍ

Listů: 1
 List: 1

B Tabulka použitého materiálu

Tabulka materiálu				
Označení	Popis	Typ	Výrobce	Počet
FA1	Chráníč proudový kombinovaný	LMF-10B-1N-030A	OEZ	1ks
K1	Konektor IEC C14, 10A/250VAC	6100.4230	SCHURTER	1ks
ZAS	Panelová zásuvka 16A 3P 250V IP 44	570.2091	SCAME	1ks
FU1	Válcová pojistka T 1A	ST 522210	Omega	1ks
Z1	Zdroj, 40W, AC/DC	DRC-40B	Mean Well	1ks
S1, S2	Otočný přepínač 2 pozice - pevné	XB5 AD21	Schneider Electric	2ks
FU2	Válcová pojistka T 2A 500V	ST 522220	Omega	1ks
BAT 1, BAT 2	Akumulátor - 12V / 1,2Ah	FG1212	Fg-Forte	2ks
PL1	Signálka s integrovanou LED diodou, červená	CL2-502R	ABB	1ks
PL2	Signálka s integrovanou LED diodou, zelená	CL2-502G	ABB	1ks
S3, S4	Hlavice stiskací - Tlačítko 1/0	XB5 AA21	Schneider Electric	2ks
FU3(2-4)	Válcová pojistka F 500mA 250V	CF 520150	Omega	3ks
FU4(1-4)	Válcová pojistka F 100mA 250V	CF 520110	Omega	4ks
FV1(1-4)	Varistorová svorka 24VD 5MM	280-502/281-609	Wago	4ks
KA1, KA2, KA3	Relé DIN/PS, 2P/8A, 24V DC	40.52.9.024.0000	finder	3ks
XF1, XF2, XF3, XF4	Relé optoelektrické výkonové	PLC-OSC- 120UC/48DC/100	Phoenix Contact	4ks
PN1	Analyzátor KMB Artiq 233 S X/5A E	233 S X/5A E	KMB	1ks
	DIN lišta 35x15	TS 35X15/LL 2M/ST/ZN	Weidmüller	2m
Pokračování na další straně				

Pokračování tabulky z předchozí strany

Označení	Popis	Typ	Výrobce	Počet
	Outdoorový kufr typ 6000 černý, prázdný	BW-6000/B	B&W	1ks
	Vestavný rám hliníkový pro typ 6000	BW-PF/6000/AF	B&W	1ks
	Kapsa do kufru na dokumentaci a kabely	BW-LP/6000	B&W	1ks
	Patice pro relé 40.52	95.85.3	finder	3ks
	Přídržná plastová spona pro relé	095.91.3	finder	3ks
	Svorka řadová PUSH IN průchozí, šedá	A4C 2.5	Weidmüller	10ks
	Svorka řadová PUSH IN průchozí, modrá	A4C 2,5 BL	Weidmüller	1ks
	Svorka řadová PUSH IN zemnicí	A4C 2.5 PE	Weidmüller	2ks
	Svorka řadová průchozí	WDU 2.5	Weidmüller	6ks
	Svorka řadová pojistková	RSP 4	Weidmüller	10ks
	Svěrka koncová, černá	RSA L 35	ELEKTRO Bečov	6ks
	Značení svorek	SCHT 5 S	Weidmüller	5ks

Tab. B.1: Tabulka přístrojů

C Připojení měřicího kufru do AXY

Připojení měřicího kufru do AXY



!!! Upozornění !!!
Nutné přepnout přepínač S1 na napětovou úroveň DI na 110 Vdc

