



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

KOMPAKTNÍ TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠKU TRVANLIVOSTI VZDUCHOVÝCH JISTIČŮ

COMPACT EQUIPMENT FOR MECHANICAL DURABILITY TESTING AIR CIRCUIT BREAKERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Pavel Dušek

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radek Štohl, Ph.D.

BRNO 2022

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Pavel Dušek

ID: 203214

Ročník: 2

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Kompaktní testovací zařízení pro zkoušku trvanlivosti vzduchových jističů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Zpracujte rešerši týkající se problematiky zkoušek trvanlivosti vzduchových jističů a jejich příslušenství.
2. Zpracujte rešerši týkající se testovaných jističů 3WL a 3WA.
3. Dle předchozích rešerší vyspecifikujte potřebný hardware pro sestavení zařízení.
4. Na základě návrhu realizujte zapojení potřebného rozvaděče.
5. Vytvořte potřebné programové vybavení pro PLC a HMI.
6. Ověřte a vyhodnoťte vlastní řešení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

1. ČSN EN 60947-1 ed. 4 - Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 1.
2. ČSN EN 60947-2 ed. 4 - Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 2.

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 18.5.2022

Vedoucí práce: Ing. Radek Štohl, Ph.D.

Konzultant: Ing. Tomáš Jukl

doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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

Předložená diplomová práce je zaměřena na popis zkoušek mechanické trvanlivosti jističů nízkého napětí, popis jističů Sentron 3WL a 3WA a na návrh vlastního řešení pro zkoušku mechanické trvanlivosti vzduchových jističů 3WL a 3WA. Vlastní řešení spočívá ve výběru komponent, návrhu elektrického schéma, vytvoření blokových schémat struktury programu, vytvoření potřebného programového vybavení, ověření a vyhodnocení funkčnosti zařízení.

Klíčová slova

Mechanická trvanlivost, vzduchový jistič (ACB), testovací zařízení, Sentron 3WL, Sentron 3WA

Abstract

This master's thesis is focused on the description of mechanical durability testing of low voltage circuit breakers, description of circuit breakers Sentron 3WL and 3WA and the design of own solution for mechanical durability tests of Sentron 3WL and 3WA air circuit breakers. The solution itself consists of selecting components, designing the electrical schema, creating block diagrams of the program structure, creating the necessary software and verifying the functionality of the equipment.

Keywords

Mechanical durability, air circuit breaker (ACB), test equipment, Sentron 3WL, Sentron 3WA

Bibliografická citace

DUŠEK, Pavel. Kompaktní testovací zařízení pro zkoušku trvanlivosti vzduchových jističů [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142300>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Radek Štohl.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Pavel Dušek*

VUT ID studenta: *203214*

Typ práce: *Diplomová práce*

Akademický rok: *2021/22*

Téma závěrečné práce: *Kompaktní testovací zařízení pro zkoušku trvanlivosti vzduchových jističů*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval 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 autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 10. května 2022

podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Radku Štohlovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a metodické vedení. Dále děkuji konzultantovi práce Ing. Tomáši Juklovi za odbornou pomoc při řešení technické části této diplomové práce. V neposlední řadě děkuji společnosti OEZ s.r.o. za možnost vypracování diplomové práce v prostředí renomované firmy z oboru.

V Brně dne: 10. května 2022

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	11
1. ÚVOD.....	12
2. JISTIČE NÍZKÉHO NAPĚTÍ	13
2.1 ROZDĚLENÍ DLE VYPÍNACÍHO MÉDIA.....	13
2.2 ROZDĚLENÍ DLE KONSTRUKCE	13
2.2.1 <i>Miniaturní jističe MCB</i>	14
2.2.2 <i>Kompaktní jističe MCCB</i>	14
2.2.3 <i>Vzduchové jističe ACB</i>	14
2.3 ROZDĚLENÍ JISTIČŮ DLE MÍSTA URČENÍ.....	14
2.3.1 <i>Jističe v souladu s IEC</i>	15
2.3.2 <i>Jističe pro severoamerický trh</i>	15
2.4 PŘEHLED ZÁKLADNÍCH ELEKTRICKÝCH PARAMETRŮ	16
2.4.1 <i>Jmenovité pracovní napětí U_e</i>	16
2.4.2 <i>Jmenovitý proud I_n</i>	16
2.4.3 <i>Redukovaný jmenovitý proud I_r</i>	16
2.4.4 <i>Vypínací čas tepelné spouště t_r</i>	16
2.4.5 <i>Výbavovací proud selektivní spouště I_{sd}</i>	16
2.4.6 <i>Vypínací čas selektivní spouště t_{sd}</i>	16
2.4.7 <i>Výbavovací proud zkratové spouště I_i</i>	16
2.4.8 <i>Hodnota proudu pro ochranu středního vodiče I_N</i>	17
2.4.9 <i>Výbavovací proud zemního spojení I_g</i>	17
2.4.10 <i>Doba zpoždění při zemním spojení t_g</i>	17
2.4.11 <i>Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost I_{cu}</i>	17
2.4.12 <i>Jmenovitá provozní zkratová vypínací schopnost I_{cs}</i>	17
2.5 VYPÍNACÍ CHARAKTERISTIKA.....	17
2.5.1 <i>Ochrana při přetížení (L_TRIP)</i>	18
2.5.2 <i>Krátkodobě zpožděná ochrana při zkratu (S_TRIP)</i>	19
2.5.3 <i>Okamžitá ochrana při zkratu (I_TRIP)</i>	19
2.5.4 <i>Ochrana středního vodiče (N_TRIP)</i>	19
2.5.5 <i>Ochrana proti zemnímu spojení (G_TRIP)</i>	19
2.6 KONSTRUKCE VZDUCHOVÉHO JISTIČE	20
2.6.1 <i>Části vedoucí elektrický proud</i>	21
2.6.2 <i>Izolační části</i>	22
2.6.3 <i>Mechanismy</i>	22
2.6.4 <i>Zhášedla</i>	23
2.6.5 <i>Nadproudová spoušť</i>	24
2.6.6 <i>Výzbroj</i>	25
3. JISTIČE SENTRON 3WL, 3WA.....	26
3.1 OVLÁDACÍ, SIGNALIZAČNÍ A KONSTRUKČNÍ PRVKY	27
3.2 ETU A KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ	29
3.3 PŘÍSLUŠENSTVÍ	30

3.3.1	<i>Pomocné spouště</i>	30
3.3.2	<i>Motorový pohon</i>	32
3.3.3	<i>Signalizační a pomocné spínače</i>	33
3.3.4	<i>Propojovací schéma</i>	35
3.4	VÝROBCEM UDÁVANÁ MECHANICKÁ TRVANLIVOST	36
4.	MECHANICKÁ TRVANLIVOST	37
4.1	NORMATIVNÍ POJETÍ TRVANLIVOSTI A PROVOZUSCHOPNOSTI	37
4.2	VÝVOJOVÉ ZKOUŠKY A ŘÍZENÍ KVALITY VÝROBY	38
5.	NÁVRH ZAŘÍZENÍ	40
5.1	TECHNICKÁ SPECIFIKACE	40
5.2	ŘÍZENÍ, VIZUALIZACE, KOMUNIKACE A MĚŘENÍ	41
5.2.1	<i>PLC a měření teploty</i>	41
5.2.2	<i>HMI a přístupový bod IWLAN AP</i>	44
5.2.3	<i>GSM modul</i>	45
5.3	BEZPEČNOSTNÍ PRVKY	46
5.4	SPÍNACÍ PŘÍSTROJE	47
5.5	DIAGRAMY STRUKTURY PROGRAMU	48
5.5.1	<i>Diagramy testovací sekvence</i>	48
5.5.2	<i>Diagram funkce simulátoru jističe</i>	51
5.5.3	<i>Diagram korekce zadaného tel. čísla</i>	52
5.6	PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ.....	52
5.6.1	<i>Stručný popis standardu Tool S7</i>	53
5.6.2	<i>Struktura a popis programu</i>	54
5.7	UŽIVATELSKÉ ROZHŘANÍ	56
5.7.1	<i>Hlavní obrazovka</i>	57
5.7.2	<i>Parametry testu</i>	58
5.7.3	<i>Adresář</i>	59
5.7.4	<i>Simulace jističe</i>	59
5.7.5	<i>Záznam zkoušek</i>	60
5.7.6	<i>Alarmy</i>	61
5.7.7	<i>Výběr jazyků</i>	61
5.7.8	<i>HMI nastavení</i>	62
5.7.9	<i>Manuální režim</i>	62
5.7.10	<i>Nastavení GSM modulu</i>	63
5.7.11	<i>Kalibrace RTD teplotních senzorů</i>	63
5.7.12	<i>Zpoždění vyhodnocení chyby</i>	64
5.7.13	<i>Elektronické pojistky PSE200U</i>	64
5.7.14	<i>Nastavení teplotní hystereze</i>	64
6.	OVĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ FUNKČNOSTI	66
7.	ZÁVĚR	68
	LITERATURA	69
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	73
	SEZNAM PŘÍLOH	76

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Zástupci jističů MCB, MCCB a ACB, převzato z [5]	13
Obrázek 2 – Vypínací charakteristiky B, C a D, převzato z [25] (upraveno)	18
Obrázek 3 – Variabilita nastavení parametrů vypínací charakteristiky, převzato z [25] (upraveno)	18
Obrázek 4 – Vypínací charakteristika vodiče N, převzato z [19] (upraveno)	19
Obrázek 5 – Vypínací charakteristika zemního spojení, převzato z [19] (upraveno)	20
Obrázek 6 – Náčrt konstrukce jističe ACB, převzato z [2] (upraveno)	20
Obrázek 7 – Zdvojené kontakty proudové dráhy, převzato z [2]	21
Obrázek 8 – Ruční střadačový zapínací mechanismus, převzato z [2]	23
Obrázek 9 – Rozčlenění oblouku ve zhasací komoře, převzato z [2]	24
Obrázek 10 – Sentron 3WL základní rozčlenění a vlastnosti, převzato z [16]	26
Obrázek 11 – Sentron 3WA základní rozčlenění a vlastnosti, převzato z [19]	26
Obrázek 12 – 3WL, 3WA ovládací, signalizační a konstrukční prvky; převzato z [17], [19], [20]	27
Obrázek 13 – Stavby indikátorů, převzato z [19], [20]	28
Obrázek 14 – ETU360 (vlevo), ETU660 (vpravo), převzato z [5]	29
Obrázek 15 – ETU15B, 25B, 27B, 45B, 76B, převzato z [18]	29
Obrázek 16 – ETU600, převzato z [5]	30
Obrázek 17 – Uložení pomocných spouští 3WL (vel. I, II, III) a 3WA, převzato z [17] (upraveno)	31
Obrázek 18 – Uložení pomocných spouští 3WL10, převzato z [20] (upraveno)	31
Obrázek 19 – Vlastnosti spouští CC a ST, převzato z [19], [20] (upraveno)	32
Obrázek 20 – Vlastnosti spouští UVR, převzato z [19], [20] (upraveno)	32
Obrázek 21 – Uložení motorového pohonu, vlevo 3WL10, vpravo 3WA, převzato z [17], [20]	33
Obrázek 22 – Vlastnosti MO, převzato z [18], [19], [20] (upraveno)	33
Obrázek 23 – Uložení spínačů 3WL (vel. I, II, III) a 3WA, převzato z [17] (upraveno)	34
Obrázek 24 – Uložení spínačů 3WL10, převzato z [20] (upraveno)	34
Obrázek 25 – Časové parametry cyklu	40
Obrázek 26 – Ovládací, signalizační a konstrukční prvky GSM modulu, převzato z [35]	46
Obrázek 27 – Spínací SSR prvky pomocných spouští	47
Obrázek 28 – Use case diagram	48
Obrázek 29 – Stavový diagram systému pro konkrétní stanoviště	48
Obrázek 30 – Sekvence stavu Vypnuto	49
Obrázek 31 – Sekvence stavu Odložený start	49
Obrázek 32 – Sekvence stavu Probíhá test	50
Obrázek 33 – Sekvence stavu Pozastaveno	50
Obrázek 34 – Sekvence stavu Přerušeno	51
Obrázek 35 – Sekvence stavu Dokončeno	51
Obrázek 36 – Diagram simulátoru jističe Sentron	52
Obrázek 37 – Diagram korekce telefonního čísla	52
Obrázek 38 – Struktura bloků standardu, převzato z [38] (upraveno)	53
Obrázek 39 – Struktura programu	54
Obrázek 40 – Krok sekvenceru	54
Obrázek 41 – Diagram funkčního bloku pro zasilání SMS, převzato z [36]	55
Obrázek 42 – Tlačítka „domů“ a „adresář“	56
Obrázek 43 – Stavby tlačítek	56
Obrázek 44 – Potvrzení kritického alarmu	56
Obrázek 45 – Hlavní obrazovka	57
Obrázek 46 – Obrazovka parametrů testu	58

Obrázek 47 – Obrazovka adresář.....	59
Obrázek 48 – Obrazovka simulátoru jističe	59
Obrázek 49 – Obrazovka záznamu zkoušek	60
Obrázek 50 – Ukázka záznamu z testu	60
Obrázek 51 – Obrazovka alarmů	61
Obrázek 52 – Obrazovka jazyků.....	61
Obrázek 53 – Obrazovka nastavení HMI.....	62
Obrázek 54 – Obrazovka manuálního režimu.....	62
Obrázek 55 – Obrazovka nastavení GSM modulu.....	63
Obrázek 56 – Obrazovka kalibrace RTD teplotních senzorů.....	63
Obrázek 57 – Obrazovka zpoždění vyhodnocení chyby	64
Obrázek 58 – Obrazovka elektronických pojistek	64
Obrázek 59 – Obrazovka nastavení teplotní hystereze	65
Obrázek 60 – Dílčí vývojová zkouška jističe 3WL13.....	66
Obrázek 61 – Dílčí zkouška kvality výroby jističe 3WL10	67
Obrázek 62 – Čelní pohled na zařízení a propojovací kabeláž	78
Obrázek 63 – Levá strana zařízení.....	79
Obrázek 64 – Pravá strana zařízení.....	80

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – 3WL, 3WA ovládací, signalizační a konstrukční prvky	27
Tabulka 2 – Pomocné a signalizační spínače 3WL (I, II, III) a 3WA.....	34
Tabulka 3 – Pomocné a signalizační spínače 3WL10.....	34
Tabulka 4 – Propojovací soupiska	35
Tabulka 5 – Mechanická trvanlivost jističů 3WL a 3WA.....	36
Tabulka 6 – Požadavky zkoušky provozuschopnosti.....	38
Tabulka 7 – Nastavení řídicího napětí v závislosti na prostředí	39
Tabulka 8 – Technické parametry CPU jednotky 1217C, viz [27]	42
Tabulka 9 – Soupis digitálních I/O	43
Tabulka 10 – Technické parametry jednotky SM 1231 RTD, viz [28].....	44
Tabulka 11 – Technické parametry HMI KTP900 Basic, viz [29]	44
Tabulka 12 – Technické parametry GSM modulu Scalance M874-2	45
Tabulka 13 – Stavby alarmů	61

1. ÚVOD

S rostoucí spotřebou elektrické energie v různých odvětvích lidské činnosti roste také poptávka po spínacích přístrojích zajišťujících ochranu elektrického obvodu před nadproudy a zkraty. Zástupcem této kategorie spínacích přístrojů je jistič. Na jističe jsou kladeny určité požadavky, které musí splňovat. Vlastnosti, konstrukční a technické požadavky jsou popsány v příslušných technických normách, a dle těchto norem probíhají také zkoušky těchto přístrojů. Jističe jsou konstruovány a prodávány s jasně udávaným počtem spínacích cyklů, které musí provést bez ztráty funkčnosti. Tato vlastnost jističe se nazývá trvanlivost (durability). Trvanlivost se dále dělí na mechanickou a elektrickou. V rámci vývoje jističů jsou využívány zařízení, které trvanlivost ověřují.

První část této diplomové práce se zabývá popisem konstrukce a vlastností jističů a jejich příslušenství. Detailněji je sepsán popis vzduchových jističů Sentron 3WL a 3WA. V neposlední řadě je popsána problematika zkoušení mechanické trvanlivosti a provozuschopnosti jističů nízkého napětí dle normy ČSN EN 60947-2 ed. 4 a dle vnitropodnikové legislativy pro udržení kvality výroby.

Druhá část práce se zabývá návrhem zařízení, které bude testovat mechanickou trvanlivost vzduchových jističů Sentron 3WL a 3WA. Tato část práce se zaměřuje na výběr komponentů, výběr bezpečnostních prvků, návrh elektrického schématu, návrh diagramů struktury řídicího programu, vytvoření potřebného programového vybavení, ověření a vyhodnocení funkčnosti zařízení.

Cílem diplomové práce je vytvoření zařízení, které bude schopné zkoušet mechanickou trvanlivost jističů 3WL a 3WA.

2. JISTIČE NÍZKÉHO NAPĚTÍ

Tato kapitola popisuje elektrický přístroj – jistič nízkého napětí. Nízkým napětím se rozumějí maximální hodnoty 1000 V AC a 1500 V DC. Jistič je mechanický spínací přístroj, který za normálních podmínek zapíná, přenáší a vypíná proudy tekoucí obvodem. Za abnormálních podmínek, což je např. nadproud nebo zkrat, zapíná, stanovenou dobu přenáší a samočinně vypíná proudy tekoucí obvodem. Samočinné rozpojení obvodu zajišťuje ochranu prvků vedení elektrického proudu, přístrojů a zařízení zapojených v obvodu proti působení nadproudu, zkratu a případně i podpětí.

Jističe nízkého napětí můžeme rozdělovat dle ČSN EN 60947-2 ed. 4 podle kategorie selektivity (druh A, B), vypínacího média, konstrukce, metody řízení ovládacího mechanismu, vhodnosti k bezpečnému odpojení (kat. vhodné, nevhodné), potřeby údržby (kat. vyžadující, nevyžadující), způsobu instalace (např. pevné, odnímatelné, výsuvné) a stupně ochrany krytem. Další možná kategorizace nezávisle na výše uvedené normě je rozdělení dle místa určení.

[1], [2], [4]

2.1 Rozdělení dle vypínacího média

Typem vypínacího média a způsobem zhášení oblouku lze jističe rozdělit na jističe s magnetickým zhášením oblouku ve vzduchu o atmosférickém tlaku (tzn. vzduchové jističe), jističe využívající velké difúze částic ve vakuu (tzn. vakuové jističe), jističe, jejichž kontakty jsou umístěny v jiném plynu, než je vzduch (tzn. plynové jističe) a jističe s volným zhášením oblouku v oleji (tzn. olejové jističe). V nízkonapětových aplikacích jsou využívány převážně vzduchové jističe. [2], [3], [4]

2.2 Rozdělení dle konstrukce

Dle konstrukce a velikosti rozdělujeme jističe na miniaturní (MCB), kompaktní (MCCB) a vzduchové (ACB).



Obrázek 1 – Zástupci jističů MCB, MCCB a ACB, převzato z [5]

2.2.1 Miniaturní jističe MCB

Malé jističe MCB se vyznačují maximálními jmenovitými proudy do 125 A, a jsou ve většině případů navrženy pro připevnění k DIN liště šířky 35 mm. Dělíme je dle použití na jističe pro ochranu instalací v budovách, jističe pro zařízení a jističe pro průmyslové použití. U MCB nelze na rozdíl od MCCB a ACB nastavovat vypínací charakteristiky. Jističe pro ochranu instalací v budovách se prodávají ve standardizovaných verzích s vypínacími charakteristikami B, C, D (viz kapitola 2.5). [3], [5], [6], [7], [10]

2.2.2 Kompaktní jističe MCCB

Jde se o jističe střední velikosti, jejichž jmenovité proudy bývají až 1 600 A. Jejich konstrukce je robustnější než konstrukce MCB. Nadproudové spouště MCCB jističů bývají termomagnetické a elektronické. U nadproudových spouští bývá možnost nastavení parametrů vypínací charakteristiky. V těle jističe bývá prostor pro instalaci volitelného příslušenství, jakými jsou pomocné spouště (napěťové, podpěťové), pomocné a signalizační spínače. MCCB jističe se používají k jištění vedení, motorů a generátorů. [3], [11].

2.2.3 Vzduchové jističe ACB

Jde o jističe velké velikosti, jejichž jmenovité proudy bývají až 6 300 A. Vzhledem k rozměrům bývá kromě varianty pro pevné připojení jističe dostupná také varianta výsuvného provedení, která usnadňuje výměnu, či odpojení v případě údržby. Konstrukce jističů bývá modulární a dle konfigurace může obsahovat střadačový motorový pohon (MO), pomocné a signalizační spínače (AUX, PSS), pomocné spouště, ruční střadačí páku, tlačítka pro ruční zapnutí a vypnutí, zamykací zařízení. Nadproudová spoušť bývá obvykle elektronická, řízená mikroprocesorem, umožňující nastavení vypínací charakteristiky a signalizaci stavu jističe. Jističe disponují funkcemi pro měření elektrických veličin a příslušenstvím pro datovou komunikaci. Díky své modulární konstrukci bývají ACB jističe snáze opravitelné a bývají u nich prováděny pravidelné údržby. [2], [3], [12]

2.3 Rozdělení jističů dle místa určení

Z celosvětového pohledu jsou na jističe kladeny v určitých regionech rozdílné požadavky. Státy většinou mívají své normalizační instituce, které vydávají, či přejímají normy. Zaměříme-li se na jističe nízkého napětí, tak převládají dva typy a to:

- jističe v souladu s IEC,
- jističe pro severoamerický trh.

2.3.1 Jističe v souladu s IEC

Jsou to jističe, které splňují technické normy Mezinárodní elektrotechnické komise (IEC). Konkrétně se jedná o technické normy:

- IEC 60947-2,
- IEC 60898,
- IEC 60934.

Jističe v souladu s IEC jsou používány mimo jiné i v zemích Evropské unie. Mezinárodní technické normy IEC byly adaptovány jako Evropské normy (EN) a dále byly přejaty jednotlivými státy EU jakožto národní normy. V České republice jsou tyto normy přejaty jako česká technická norma (ČSN). Jističe splňující výše uvedené technické normy se mezi sebou liší rozsahem použití.

ČSN EN 60947-2 specifikuje jističe obsluhované znalými, nebo alespoň poučenými osobami, kde napětí v obvodu nepřesahuje 1 000 V AC a 1 500 V DC.

ČSN EN 60898 specifikuje vzduchové jističe určené pro ochranu instalací v budovách a pro podobné účely. Jističe jsou navrženy pro používání nepoučenými osobami. Jmenovitý proud nepřesahuje 125 A. Norma je rozdělena na dvě části. První část pojednává o jističích pro střídavý proud. Druhá část pojednává o jističích pro střídavý a stejnosměrný proud.

ČSN EN 60934 specifikuje takzvané jističe pro zařízení (CBE) pro domácnosti a podobné použití. CBE jsou určené k ochraně obvodů elektrických zařízení a jejich součástí. Nesmějí se používat pro nadproudovou ochranu vedení v budovách. Jmenovitý proud těchto jističů nepřesahuje 125 A.

[4], [6], [7], [8], [9]

2.3.2 Jističe pro severoamerický trh

Jde o jističe určené primárně pro trh Spojených států amerických a Kanady, které se řídí následujícími normami:

- UL 489 / CSA C22.2 No. 5 – Specifikuje vlastnosti a zkoušky MCB, MCCB a některých ACB jističů.
- UL 1077 / CSA C22.2 No. 235 – Specifikuje vlastnosti a zkoušky tzn. pomocných chráničů (Supplementary Protectors). Jedná se v podstatě o ekvivalent k CBE (viz kapitola 2.3.1 – IEC 60934).
- UL 1066 / ANSI C37.13, .16, .17, .50 – Specifikuje vlastnosti a zkoušky ACB jističů.

[5], [13], [14], [15]

2.4 Přehled základních elektrických parametrů

V této kapitole je popsáno názvosloví základních elektrických parametrů jističe, které je dále využíváno napříč touto prací.

2.4.1 Jmenovité pracovní napětí U_e

Jedná se o hodnotu napětí stanovenou výrobcem. Hodnota U_e určuje použití jističe, vztahují se na ni kategorie užití a zkoušky dané příslušnými normami ([4], [7], [9]). Pro vícepólové jističe je U_e definováno jako napětí mezi fázemi. [4], [7], [9], [25], [26]

2.4.2 Jmenovitý proud I_n

Jedná se o hodnotu proudu, kterou může jistič vést nepřetržitě bez vybavení nadproudovou spouští. [25], [26]

2.4.3 Redukovaný jmenovitý proud I_r

Jedná se o hodnotu proudu nastavenou pomocí regulovatelné časově závislé (tepelné) spouště (MCCB, ACB). Změna hodnoty I_r způsobuje posun vypínací charakteristiky tepelné spouště v rámci proudové osy. Pokud není jistič vybaven nastavitelnou tepelnou spouští, tak je hodnota I_r rovna hodnotě I_n . Maximální nastavitelná hodnota je rovna I_n . [25], [26]

2.4.4 Vypínací čas tepelné spouště t_r

Jedná se o časový interval, který je vyvolán průchodem proudu $> I_r$. Po uplynutí tohoto intervalu jistič vybaví vlivem tepelné spouště. Změna hodnoty t_r způsobuje posun vypínací charakteristiky tepelné spouště v rámci časové osy. [26]

2.4.5 Vybavovací proud selektivní spouště I_{sd}

Jedná se o hodnotu proudu nastavenou pomocí časově nezávislé zpožděné (selektivní) spouště. Krátkodobé zpoždění vybavení při zkratu se využívá pro selektivní ochranu v případě více úrovní jištění. [12], [26]

2.4.6 Vypínací čas selektivní spouště t_{sd}

Jedná se o časový interval, který je vyvolán průchodem proudu $\geq I_{sd}$ a zároveň $< I_i$. Po uplynutí tohoto intervalu jistič vybaví vlivem zpožděné zkratové spouště. Změna hodnoty t_{sd} způsobuje posun vypínací charakteristiky tepelné spouště v rámci časové osy. [12], [26]

2.4.7 Vybavovací proud zkratové spouště I_i

Jedná se o hodnotu proudu nastavenou pomocí časově nezávislé okamžité (zkratové) spouště, která způsobí okamžité vybavení jističe při zkratu. [12], [26]

2.4.8 Hodnota proudu pro ochranu středního vodiče I_N

Jedná se o hodnotu proudu regulující procházející proud středním nulovým vodičem (N). I_N je nastavena regulovatelnou časově závislou (tepelnou) spouští. Je nutné dát si pozor na záměnu pojmů I_N (hodnota proudu pro ochranu středního vodiče) a I_n (jmenovitý proud). Změna hodnoty I_N způsobuje posun vypínací charakteristiky tepelné spouště středního vodiče v rámci proudové osy. Maximální nastavitelná hodnota I_N je rovna I_n . [19]

2.4.9 Vybavovací proud zemního spojení I_g

Jedná se o hodnotu vybavovacího proudu procházejícího mezi fázovými vodiči a uzemněnými částmi. [19]

2.4.10 Doba zpoždění při zemním spojení t_g

Jedná se o časový interval, který je vyvolán průchodem proudu $\geq I_g$. Po uplynutí tohoto intervalu jistič vybaví vlivem ochrany proti zemnímu spojení. [19]

2.4.11 Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost I_{cu}

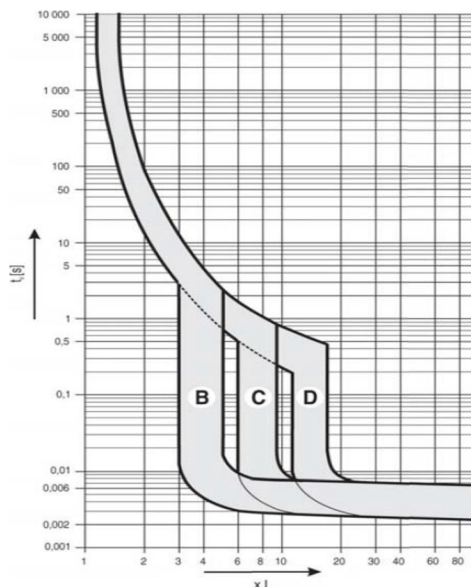
Jedná se o vypínací schopnost jističe vyjádřenou hodnotou zkratového proudu, při které musí být jistič schopen vybavit nadproudovou spouští, následně být zapnut při působení stejného zkratového proudu, načež musí být schopen opět vybavit nadproudovou spouští. Po této sekvenci není požadováno, aby byl jistič schopen nepřetržitého vedení I_n . Hodnota I_{cu} se stanovuje v souvislosti s U_e , jmenovitým kmitočtem (pro AC) a časovou konstantou (pro DC). [4], [26]

2.4.12 Jmenovitá provozní zkratová vypínací schopnost I_{cs}

Jedná se o vypínací schopnost jističe vyjádřenou hodnotou zkratového proudu, při které musí být jistič schopen vybavit nadproudovou spouští, následně být zapnut při působení stejného zkratového proudu, načež musí být schopen opět vybavit nadproudovou spouští. Sekvence zapnutí do zkratu s následným vybavením musí být provedena dvakrát. Po této sekvenci je požadováno, aby byl jistič schopen nepřetržitého vedení I_n . Hodnota I_{cs} se stanovuje v souvislosti s U_e , jmenovitým kmitočtem (pro AC) a časovou konstantou (pro DC). [4], [26]

2.5 Vypínací charakteristika

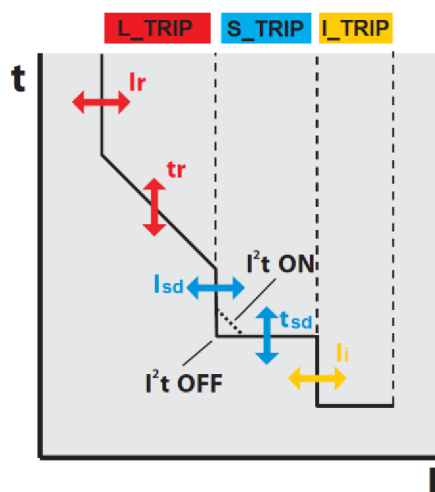
Vypínací charakteristika popisuje rychlost vybavení jističe v závislosti na protékajících násobcích proudu I_n . Jističe pro ochranu instalací v budovách se prodávají ve standardizovaných verzích s vypínacími charakteristikami B, C, D (viz obr. 2) a není u nich možnost dalšího nastavování charakteristiky.



Obrázek 2 – Vypínací charakteristiky B, C a D, převzato z [25] (upraveno)

Jističe vyráběné ve shodě s normou [4] mohou mít možnost nastavování parametrů vypínací charakteristiky, avšak na trhu jsou i jističe pro všeobecné použití s pevně nastavenou vypínací charakteristikou z výroby, u nichž není možnost dodatečné regulace dílčích parametrů. Vypínací charakteristika je rozdělena na několik základních ochranných funkcí uvedených v podkapitolách níže. Význam jednotlivých parametrů je podrobně popsán v kapitole 2.4.

[7], [12], [25]



Obrázek 3 – Variabilita nastavení parametrů vypínací charakteristiky, převzato z [25] (upraveno)

2.5.1 Ochrana při přetížení (L_TRIP)

Jedná se o část vypínací charakteristiky, která reaguje na malé a dlouhotrvající nadproudy. Vybavení jističe je realizováno časově závislou (tepelnou) spouští. Je možnost nastavení parametrů I_r a t_r . [25]

2.5.2 Krátkodobě zpožděná ochrana při zkratu (S_TRIP)

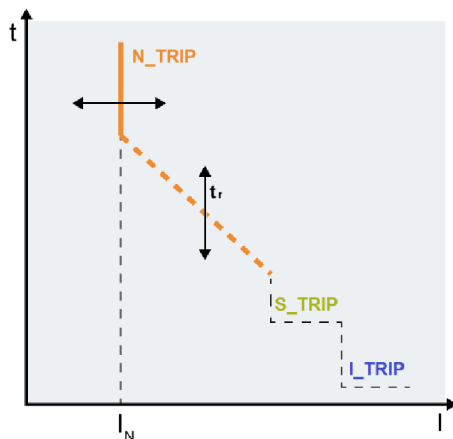
Jedná se o část vypínací charakteristiky, která reaguje na střední nadproudy. Je určena pro jističe kategorie selektivity B dle [4]. Rozumí se tím, že tato část vypínací charakteristiky je určena pro jističe, které mají zajišťovat časovou selektivitu vybavování mezi jisticími úrovněmi, pomocí zpoždění vybavení o hodnotu t_{sd} . Vybavení jističe je realizováno časově závislou zpožděnou (selektivní) spouští. Je možnost nastavení parametrů I_{sd} a t_{sd} . Dále bývá možnost nastavení proudově nepřímo závislého zpoždění dle charakteristiky I^2t . [25], [26]

2.5.3 Okamžitá ochrana při zkratu (I_TRIP)

Jedná se o část vypínací charakteristiky, která reaguje na velké zkratové proudy. Vybavení jističe je realizováno časově nezávislou okamžitou (zkratovou) spouští. Je možnost nastavení hodnoty I_i . [25]

2.5.4 Ochrana středního vodiče (N_TRIP)

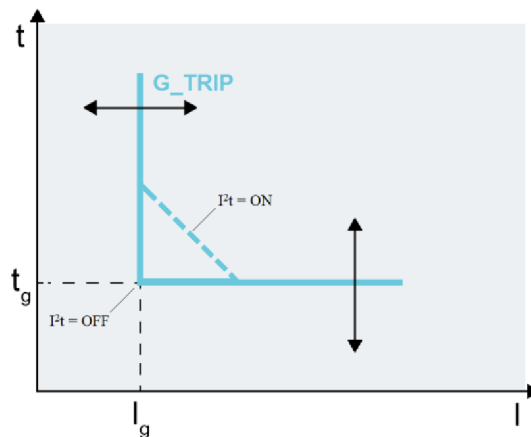
Jedná se o vypínací charakteristiku chránící střední vodič N před přetížením a zkratem. Ochrana středního vodiče je možná pouze u jističů, jejichž pólem prochází vodič N (čtyřpólové a dvoupólové varianty). Je možnost nastavení hodnoty I_N . Další možnosti nastavení jsou realizovány parametry sdílenými s vybavovací charakteristikou fázových vodičů (L_TRIP, S_TRIP, I_TRIP). Těmito sdílenými parametry jsou t_r , I_{sd} , t_{sd} a I_i . [19]



Obrázek 4 – Vypínací charakteristika vodiče N, převzato z [19] (upraveno)

2.5.5 Ochrana proti zemnímu spojení (G_TRIP)

Jedná se o vypínací charakteristiku chránící proti spojení fázových vodičů s uzemněnými částmi. Je možnost nastavení parametrů I_g a t_g . Dále bývá možnost nastavení proudově nepřímo závislého zpoždění dle charakteristiky I^2t . [12], [19]



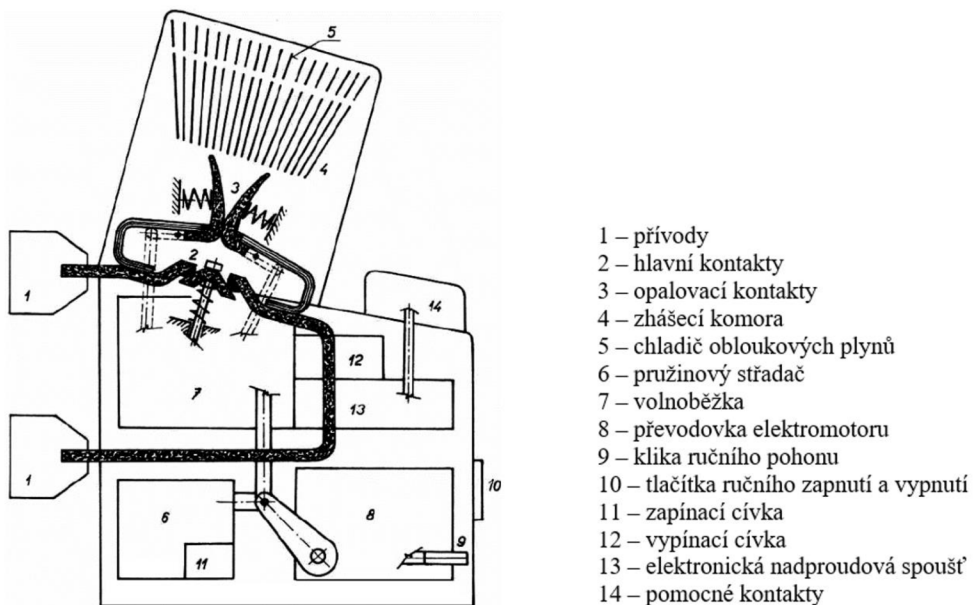
Obrázek 5 – Vypínací charakteristika zemního spojení, převzato z [19] (upraveno)

2.6 Konstrukce vzduchového jističe

Jelikož se práce zabývá návrhem zařízení pro zkoušení ACB jističe, tak je tato kapitola více zaměřena na popis konstrukce velkých jističů i jejich specifických součástí, které bychom u jističů s nízkými jmenovitými proudy (např. MCB) nemuseli objevit. Konstrukci lze rozdělit na následující oblasti:

- části vedoucí elektrický proud,
- izolační části,
- mechanismy,
- zhášedla,
- nadproudová spoušť,
- výzbroj.

[2]



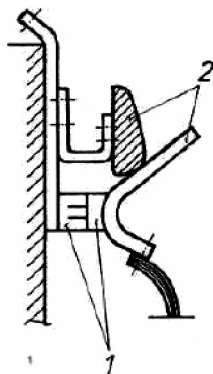
Obrázek 6 – Náčrt konstrukce jističe ACB, převzato z [2] (upraveno)

2.6.1 Části vedoucí elektrický proud

Části přenášející elektrický proud tvoří tzn. proudovou dráhu. Proudová dráha se skládá z hlavních přívodů, spojovacích částí, a kontaktů. Počet proudových drah je dán počtem pólů jističe. Každý pól jističe obsahuje alespoň dva kontakty – jeden pevný a jeden pohyblivý.

V rámci jedné proudové dráhy jističe určeného pro vyšší jmenovité proudy se můžeme setkat se segmentovaným kontaktem. Jedná se o paralelně řazené kontakty stejného typu (pevné / pohyblivé), kterými se zvyšuje kontaktní plocha, čímž se při stejném proudu sníží proudová hustota. Zároveň se minimalizuje kontaktní odpor a tím i úbytek napětí a s tím spojené oteplení. Každý jednotlivý segment kontaktu mívá vlastní pružinu, která zabezpečuje spolehlivý styk daného segmentu kontaktu s kontaktem protějším. Rozdělením kontaktů na segmenty se sníží kontaktní přitlak, teplotní namáhání a odpudivé elektrodynamické síly v proudové úžině.

U jističů pro vyšší jmenovité proudy se můžeme setkat se zdvojenou kontaktní soustavou (viz obr. 7). To znamená, že jistič má hlavní (obr. 7 – popisek 1) a k nim paralelně přidělené tzn. opalovací kontakty (obr. 7 – popisek 2). Při spínání se sepnou nejdříve opalovací a následně až hlavní kontakty. Při odpínání kontaktů se rozepnou nejdříve hlavní a následně pak opalovací kontakty. Toto řešení se používá k ochraně hlavních kontaktů proti opalování (tj. účinků vzniklým elektrickým obloukem). Opalovací kontakty jsou vyráběny z materiálů, které dobře odolávají opalování, jsou odolné proti deformacím a svaření. Těmito materiály jsou např. kombinace mědi a wolframu v určitých poměrech. Materiály opalovacích kontaktů mívají zpravidla horší elektrickou vodivost než hlavní kontakty. Na hlavní kontakty je kladen důraz na minimální přechodový odpor. Z tohoto důvodu jsou hlavní kontakty vyráběny např. z materiálů na bázi stříbra.



Obrázek 7 – Zdvojené kontakty proudové dráhy, převzato z [2]

Při vedení proudu, spínání a rozpínání obvodu daným jističem dochází k namáhání částí proudové dráhy. Nejvíce namáhanou částí jsou kontakty. Namáhání lze rozdělit na mechanické a tepelné. Mechanické namáhání způsobují především cykly spínání

kontaktů, kdy na kontakt působí síla vyvolaná tahem pružin spínacího mechanismu a tato síla je zbrzděna nárazem (tj. sepnutím) kontaktů. Tepelné namáhání lze rozdělit na trvalé, zvýšené a namáhání způsobené účinky elektrického oblouku. Trvalé a zvýšené tepelné namáhání je způsobeno průchodem proudu jističem, které je zapříčiněno přechodovými odpory. Trvalé tepelné namáhání vzniká při průchodu proudů jmenovitých a nižších než jmenovitých. Zvýšené namáhání vzniká průchodem proudů vyšších než jmenovitých. Extrémem zvýšeného tepelného namáhání je krátkodobý průchod zkratových proudů. Namáhání způsobené účinky elektrického oblouku vzniká při přibližování (spínání) a především při oddalování (odpínání) kontaktů jističe. Účinkem elektrického oblouku může docházet k nežádoucímu opalování kontaktů. Řešením je výše popsaná konstrukce zdvojené kontaktní sestavy.

Kvůli velkému namáhání bývávají zpravidla u ACB jističů po určitých provedených počtech spínacích cyklů kontakty v rámci údržby měněny, čímž se zvyšuje celková životnost jističe.

[2], [3], [12]

2.6.2 Izolační části

Izolace jističe se dělí na pevnou a plynou. Pevná izolace tvořící kryt jističe elektricky izoluje proudové dráhy od ostatních částí jističe a okolního prostředí a zároveň zajišťuje mechanické upevnění přívodních kontaktů, nepohyblivých částí proudové dráhy a dalších částí jističe. V neposlední řadě pevná izolace tvoří ochranu mezi jednotlivými proudovými dráhami s různými potenciály. Plynou izolací se u vzduchových jističů rozumí vzduch. Vzduchová mezera způsobuje elektrickou izolaci ve stavu rozpojeného pevného a pohyblivého kontaktu. [2]

2.6.3 Mechanismy

Mechanismus v tomto kontextu označuje soubor několika pák a pružin upevněných k nosnému rámu. Mezi mechanismy jističe patří:

- mechanismus vypínače,
- střadačový zapínací mechanismus.

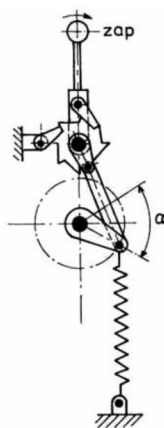
Ruční ovládání jističe z pohledu obsluhy se skládá z kroků popsaných v následujících větách. Sepnutí kontaktů jističů MCB a MCCB je realizováno prostřednictvím natažení páky mechanismu ovládání do zapnuté polohy. V případě jističe ACB je k sepnutí kontaktů nutné nejprve nastřádat energii do zapínací pružiny střadačového mechanismu (ručně pomocí páky / motorovým pohonem) a následně stisknout zapínací tlačítko. Vypnutí jističe, tedy rozepnutí kontaktů, probíhá z pohledu obsluhy obdobně, a to přesunutím páky mechanismu ovládání do vypnuté polohy (MCB, MCCB) nebo stisknutím vypínacího tlačítka (ACB). V případě vzdáleného ovládání je nutné, aby jistič

disponoval určitou výzbrojí (motorový pohon, zapínací a napěťová spoušť). Vzdálené ovládání jističe je poté realizováno přivedením napětí na zapínací (CC), či napěťovou (ST) pomocnou spoušť, přičemž je nutné napájet i motorový pohon (MO), který střídá energii do zapínací pružiny střadačového mechanismu.

Změna stavu kontaktů (sepnuto / rozepnuto) je z pohledu mechaniky zapříčiněna pákovými mechanismy zámků. Zámky dělíme na jednoduché a složené. Jednoduchými zámky jsou západky a prolomené páky. Složený zámek se nazývá volnoběžka. Volnoběžka vzniká spojením dvou a více jednoduchých zámků. Zapnutím jističe se zapříčiní napnutí vypínací pružiny. Vypnutí jističe je realizováno spouští (nadproudovou, podpěťovou a dalšími), vypínacím tlačítkem (ACB) nebo vypínací pákou (MCB, MCCB). Působení jednoho z těchto elementů zapříčiní uvolnění zámku (případně volnoběžky) a působením vypínací pružiny se kontakty jističe přesunou do polohy rozepnuto.

Střadačový zapínací mechanismus bývá pevnou součástí většinou pouze ACB jističů. U MCCB jističů může být dodán jako volitelné příslušenství v podobě motorového pohonu, který je na jistič upevněn. Důvodem jeho použití u ACB jističů je skutečnost, že síla potřebná pro ruční zapnutí pomocí páky by byla neúměrně vysoká. Zapínací pružina je natahována kývavými pohyby ruční páky (viz obr. 8) nebo působením převodového soukolí poháněného elektromotorem, či ručně klikou.

[2], [11]



Obrázek 8 – Ruční střadačový zapínací mechanismus, převzato z [2]

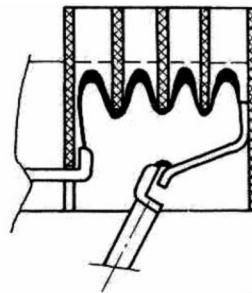
2.6.4 Zhášedla

Jističe musí být schopny vypínat proudy do velikosti jejich jmenovitého vypínacího proudu. Zhášedla ve formě zhášecí komory jsou zařízení používané v jističích za účelem zkrácení doby hoření elektrického oblouku (tzn. deionizace dráhy oblouku – podrobné fyzikální principy viz [2]), čímž zvyšují životnost kontaktů proudové dráhy. Zhášecí komory vzduchových jističů pracují na principu magnetického zhášení oblouku. Komory

jsou konstruovány nejčastěji z kovových plechů, tvořících paralelní roviny v pevně fixovaných polohách. Zhášecí komory jsou umístěné v těsné blízkosti kontaktů jističe. Kovové plechy spolu s proudovou smyčkou vyvolají elektrodynamickou sílu, která vhání elektrický oblouk do zhášecí komory, kde se dle počtu kovových plechů rozčlení na několik menších oblouků v sérii (viz obr. 9) a tyto menší oblouky jsou ve zhášecí komoře intenzivně ochlazovány. Tím se postupně sníží zkratový proud až na hodnotu, kdy elektrický oblouk samovolně zanikne. Magnetické vyfukování elektrického oblouku do zhášecích komor může být podpořeno zhášecími cívkami. Toto řešení se používá především u jističů stejnosměrného proudu.

Kvůli degradaci a opálení plechů zhášecích komor vlivem hoření elektrického oblouku bývají tyto části zpravidla u ACB jističů po určitých provedených počtech spínacích cyklů v rámci údržby měněny.

[2], [12]



Obrázek 9 – Rozčlenění oblouku ve zhášecí komoře, převzato z [2]

2.6.5 Nadproudová spoušť

Jedná se o zařízení, které monitoruje velikost proudů procházejících proudovými drahami jističe. Jestliže je tento proud vyšší než I_r , tak spoušť dle přednastavené vypínací charakteristiky (viz kapitola 2.5) jistič vybaví. K vybavení jističe dojde v případě, kdy nadproudová spoušť mechanicky zapůsobí na zámek vypínacího mechanismu (viz kapitola 2.6.3). Nadproudové spouště dělíme z konstrukčního pohledu na tepelné, zkratové a elektronické.

Tepelnou spoušť tvoří bimetalový pásek opřený o zámek vypínací spouště, kterým protéká proud procházející jističem. Protékajícím proudem se bimetal zahřívá a působením různé tepelné roztažnosti dvou kovů se ohýbá. Volný konec bimetalu vlivem ohybu uvolní zámek vypínacího mechanismu, čímž dojde k vybavení jističe. Bimetalová tepelná spoušť se používá u MCB a levnějších variant MCCB jističů.

Zkratová spoušť vybavuje při průchodu proudů násobků I_r dle nastavení I_i , či dle vypínací charakteristiky MCB (B, C nebo D). Používá se z důvodu co možná nejrychlejšího vybavení. Konstrukci tvoří cívka zapojená do proudové dráhy jističe.

Jestliže cívkou protékají zkratové proudy, tak vlivem elektromagnetického pole cívka přitáhne kotvu připevněnou k zámku vypínacího mechanismu, čímž dojde k vybavení jističe. Takto konstruovaná zkratová spoušť se používá u MCB a levnějších variant MCCB jističů.

U MCCB jističů se běžně můžeme setkat s tzn. termomagnetickou spouští (TMTU), což je kombinace obou výše uvedených spouští v jednom pouzdře.

Elektronická spoušť (ETU) se skládá z měřících transformátorů proudu, mikroprocesorové logiky a vybavovací cívky. Mikroprocesor monitoruje velikost proudů a v případě, že obvodem protéká proud $> I_r$, tak podle přednastavené vypínací charakteristiky vyšle signál k vybavení jističe. ETU se používá u ACB a částečně u MCCB jističů

[2], [3], [11]

2.6.6 Výzbroj

Výzbrojí se rozumí příslušenství, které není nutné k vykonávání primárního účelu jističe, tedy jištění nadproudů. Tímto příslušenstvím mohou být pomocné spouště, pomocné spínače, signalizační spínače, dodatečné ruční pohony, motorové pohony, počítadla spínacích cyklů, výsuvné zařízení, zamykací zařízení, měřicí a komunikační zařízení. Rozmanitost dodávaného příslušenství zpravidla roste s velikostí jističe. Vzhledem k cílům této práce budou detailněji popsány signalizační spínače, pomocné spínače a pomocné spouště.

Spínače dělíme na pomocné (AUX) a signalizační (PSS). Spínače v závislosti na pozici umístění v útroběch jističe signalizují stavy různých dějů. AUX signalizují stavy hlavních kontaktů. PSS slouží k zjištění příčin vybavení jističe, signalizaci stavů pomocných spouští, signalizaci stavu střádacího mechanismu a dalších. Typy kontaktů spínače mohou být spínací (NO), rozpínací (NC) a přepínací (SPDT).

Pomocné spouště slouží ke vzdálenému řízení jističe. Základními typy jsou zapínací spoušť (CC), napěťová spoušť (ST), podpěťová spoušť (UVR) a zpožděná podpěťová spoušť (UVR-TD). CC slouží ke vzdálenému zapnutí jističe. ST a případně i UVR slouží ke vzdálenému vypnutí jističe. UVR primárně slouží k vypnutí jističe při snížení napětí pod určitou velikost.

[2], [11], [12]

3. JISTIČE SENTRON 3WL, 3WA

Jedná se o ACB jističe společnosti Siemens vyráběné v České republice v závodě OEZ Letohrad. Jističe 3WA jsou na trhu dostupné od roku 2021 a jističe 3WL od roku 2001. Jističe jsou dostupné ve třípólových a čtyřpólových verzích ve třech (3WA) a ve čtyřech (3WL) velikostech. Je možnost výběru mezi variantou pro pevné připojení a výsuvné provedení, které je realizováno pomocí pevně instalovaného rámu, do kterého lze jistič mechanicky zasunout. Velikosti jsou označovány jako 0, I, II, a III. Dle velikosti konstrukce se odvíjí jejich maximální U_e , I_n , I_{cu} a I_{cs} . Největší jističe velikosti III mohou být nakonfigurovány na hodnoty:

- $U_{e \max} = 1\,150 \text{ V AC}$,
- $I_{n \max} = 6\,300 \text{ A}$,
- $I_{cu \max}, I_{cs \max} = 150 \text{ kA}$ (pro 3pól, při $U_e = 500 \text{ V}$).

	3WL10 >	3WL11 >	3WL12 >	3WL13 >
Frame size	0	I	II	III
Rated voltage U_e	Up to 690 V	Up to 1,000 V	Up to 1,150 V	Up to 1,150 V
Rated current I_n	630 A 800 A 1,000 A 1,250 A	630 A 800 A 1,000 A 1,250 A 1,600 A 2,000 A	800 A 1,000 A 1,250 A 1,600 A 2,000 A 2,500 A 3,200 A 4,000 A	4,000 A 5,000 A 6,300 A
Installation type	Withdrawable unit 3/4-pole	Fixed mounting 3/4-pole	Withdrawable unit 3/4-pole	Fixed mounting 3/4-pole
Number of poles				
Breaking capacity $I_{cu} = I_{cs}$ (440 V AC or 500 V AC)	440 V AC 42 kA 55 kA 66 kA	500 V AC 55 kA 66 kA 85 kA	500 V AC 66 kA 85 kA 100 kA 130 kA	500 V AC 100 kA 150 kA (130 kA, 4-pole)

Obrázek 10 – Sentron 3WL základní rozčlenění a vlastnosti, převzato z [16]

Class	Breaking capacity at 500 V AC [kA]	Rated current										
		630 A	800 A	1000 A	1250 A	1600 A	2000 A	2500 A	3200 A	4000 A	5000 A	6300 A
C	150											
H	100											
M	85											
S	66											
N	55											

Obrázek 11 – Sentron 3WA základní rozčlenění a vlastnosti, převzato z [19]

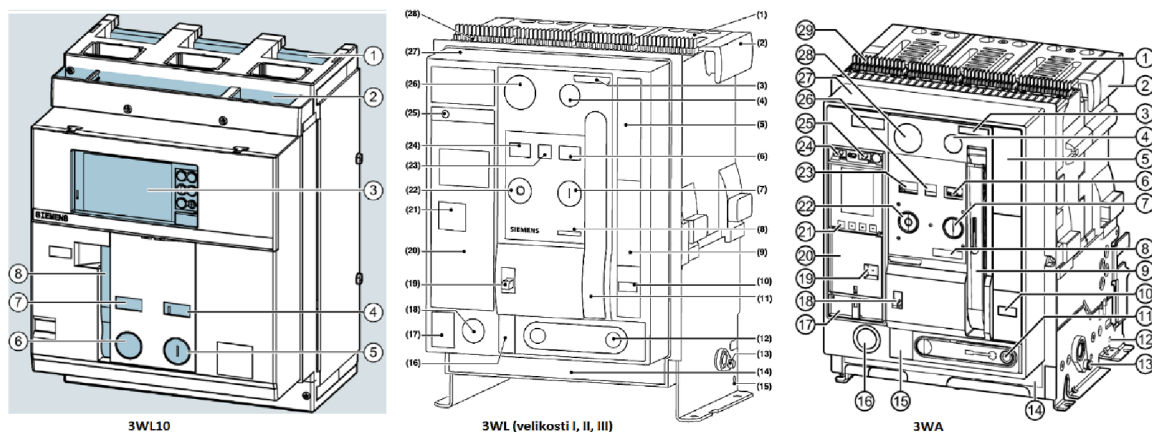
Jističe jsou dodávány i pro DC aplikace, avšak s omezenější variabilitou. 3WL jsou pro DC aplikace dodávány ve velikostech I a II. 3WA jsou pro DC aplikace dodávány pouze ve velikosti II. Nejvyšší možné hodnoty U_e , I_n jsou:

- $U_{e \max} = 1\,000 \text{ V DC}$,
- $I_{n \max} = 4\,000 \text{ A}$.

[16], [18], [19], [21]

3.1 Ovládací, signalizační a konstrukční prvky

Jističe 3WA a 3WL velikosti I, II a III jsou si v mnoha ohledech konstrukčně podobné, avšak nejsou stejné. Jističe 3WL10, tedy velikosti 0, mají zcela odlišnou konstrukci. Níže můžete vidět (viz obr. 12) číselné odkazy na ovládací, signalizační a konstrukční prvky jističů. V tabulce 1 jsou tyto prvky popsány v závislosti na daném typu jističe.



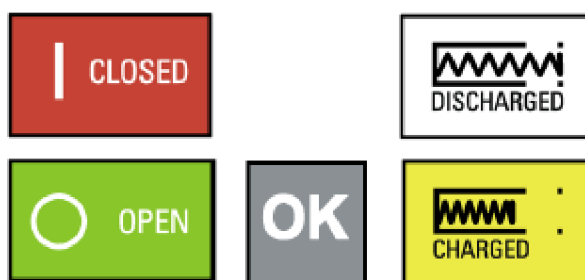
Obrázek 12 – 3WL, 3WA ovládací, signalizační a konstrukční prvky; převzato z [17], [19], [20]

Tabulka 1 – 3WL, 3WA ovládací, signalizační a konstrukční prvky

Popis ↓	Typ →	3WL10	3WL I, II, III	3WA
Připojovací kontakty		1		
Zhášecí komory			1	1
Transportní rukojeť			2	2
Identifikační štítek			3	3
Vypínač motoru			4	4
Typový štítek výkonového jističe			5	5
Indikace stavu pružinového střadače		7	6	6
Tlačítko pro zapnutí			7	7
Údaj o jmenovitém proudu jističe			8	8
Piktogram návodu na zasunutí jističe			9	
Počítadlo sepnutí			10	10
Ruční páka pohonu střadače		8	11	9
Ruční klika pro vysouvání jističe			12	11
Hřídel posuvu			13	13
Štítek údajů o vybavení jističe			14	14
Otvor pro uzemňovací svorník			15	12

Indikace polohy		16	15
Tabulka ochran při zemním spojení		17	
Bezpečnostní zámek ruční kliky		18	16
Modul napěťové odbočky (Voltage tap)			17
Mechanické odjištění ruční kliky		19	18
Tlačítko zjištění příčiny vybavení (Query button)			19
Modul ETU	3	20	20
Ovládací tlačítka ETU			21
Modul jmenovitého proudu		21	
Tlačítko pro vypnutí	6	22	22
Indikace "připraven k zapnutí"		23	26
Indikace stavu kontaktů	4	24	23
Indikace vypnutí spouští		25	24
Indikace vypnutí externí spouští			25
Uzamknutí pro vypnutý stav		26	28
Ovládací panel		27	27
Nožové kontakty pomocných obvodů	2	28	29

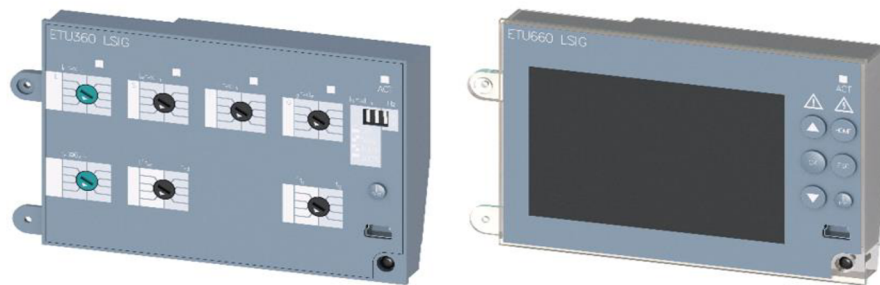
Indikátor stavu „připraven k zapnutí“ (Ready-to-close), dostupný u jističů 3WA a 3WL velikostí I, II a III, nabývá stavů OK, NOK. Jestliže je jistič připraven k zapnutí (stav OK), tak indikátor zobrazuje hodnotu OK. Pokud jistič není připraven k zapnutí (stav NOK), tak indikátor nezobrazuje žádnou hodnotu. Pro změnu stavu z NOK do OK je nutné, aby jistič nebyl uzamknut a dále musí být případné nainstalované pomocné spouště CC, ST bez napětí a UVR musí být napájeno. Indikace stavu pružinového střadače nabývá stavů nastřádáno (Charged) a nenastrádáno (Discharged). Indikace stavu kontaktů nabývá hodnot rozepnuto (Open) a sepnuto (Closed).
[17], [19], [20]



Obrázek 13 – Stav indikátorů, převzato z [19], [20]

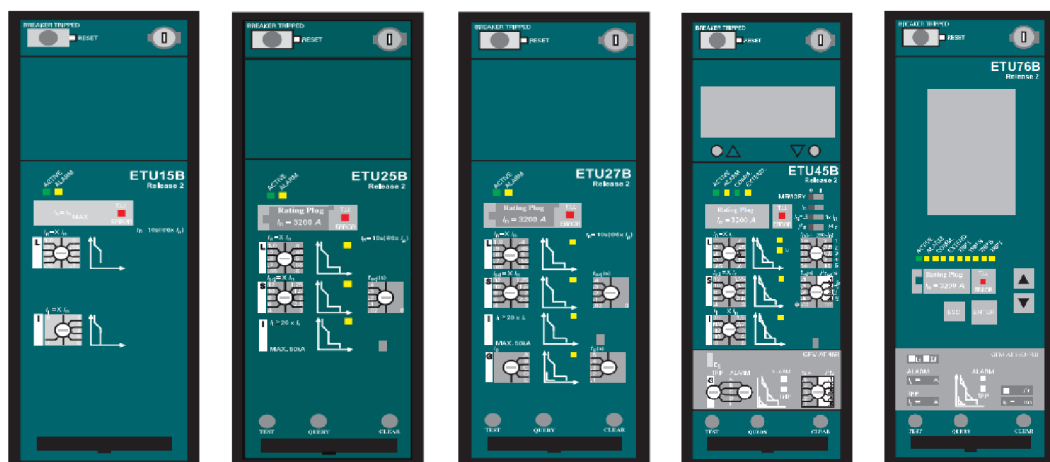
3.2 ETU a komunikační rozhraní

K jističům 3WL10 (velikost 0) je k dispozici pět typů ETU. Těmito typy jsou verze bez displeje (ETU320, ETU350, ETU360) a verze s displejem a podporou měřicích funkcí (ETU650, ETU660). ETU obsahují otvor pro vložení modulu jmenovitého proudu (Rating plug). Rating plug slouží k určení hodnoty I_n . Verze ETU se mezi sebou liší možnostmi nastavování vypínací charakteristiky. Jistič může být vybaven některým z komunikačních modulů (COM40, COM41, COM42, COM43), díky kterým lze s ETU komunikovat pomocí protokolů PROFINET IO, PROFIBUS DP, MODBUS TCP a MODBUS RTU.



Obrázek 14 – ETU360 (vlevo), ETU660 (vpravo), převzato z [5]

K jističům 3WL velikostí I, II, III je k dispozici pět typů ETU. Těmito typy jsou ETU15B, ETU25B, ETU27B, ETU45B a ETU76B. ETU obsahují otvor pro vložení modulu Rating plug. Jednotlivé ETU se mezi sebou odlišují možnostmi nastavování vypínací charakteristiky a množstvím indikačních a ovládacích prvků. Poslední dvě zmíněné ETU disponují částečným, či úplným ovládním skrze LCD displej, dostupností měřicích funkcí, zabudovaným komunikačním rozhraním CubicleBUS a mohou být vybaveny příslušenstvím pro komunikaci pomocí protokolů PROFINET IO, PROFIBUS DP, MODBUS TCP a MODBUS RTU.



Obrázek 15 – ETU15B, 25B, 27B, 45B, 76B, převzato z [18]

K jističům 3WA je k dispozici jediný typ ETU, nazvaný ETU600, který se dále dělí na verze LSI, LSIG a LSIG Hi-Z. Tyto verze se liší možnostmi ochrany proti zemnímu spojení (G_TRIP – viz kapitola 2.5.5). ETU600 obsahuje otvor pro připojení modulu napěťové odbočky (Voltage tap) a modulu „Option plug“. Voltage tap slouží jako odbočka pro funkce měření napětí. Option plug udává I_n a určuje dostupnost nastavování jednotlivých částí vypínací charakteristiky. ETU600 má zabudované komunikační rozhraní CubicleBUS². Jistič může být vybaven komunikačním modulem COM190 díky němuž lze s ETU komunikovat pomocí protokolů PROFINET IO a MODBUS TCP. ETU600 disponuje rozhraním USB-C a Bluetooth, díky kterým lze parametry jističe vzdáleně nastavovat pomocí PC, tabletu a chytrého telefonu.

[17], [18], [19], [20], [21]



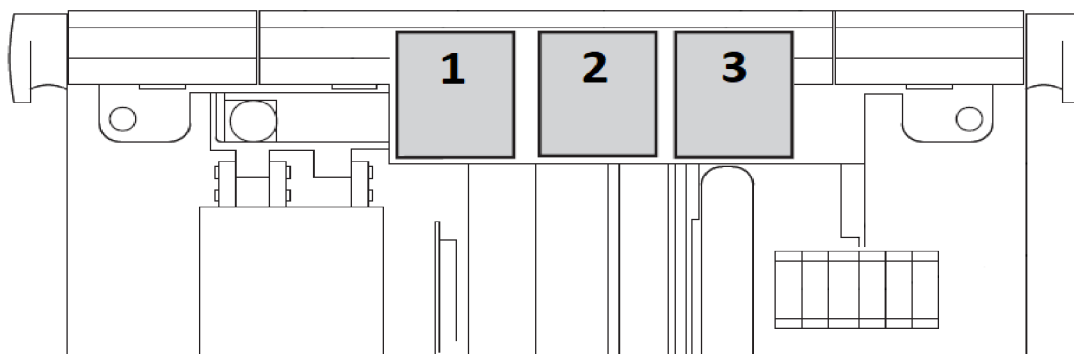
Obrázek 16 – ETU600, převzato z [5]

3.3 Příslušenství

Jističe 3WL a 3WA je možné vybavit celou řadou příslušenství včetně příslušenství popsaného v kapitole 2.6.6. Pro přípravu na praktickou část této práce je nutné se důkladněji zaměřit na pomocné spouště, motorové pohony a signalizační spínače. Díky tomuto příslušenství bude možné ovládat jistič a signalizovat jeho stavy při průběhu zkoušky trvanlivosti.

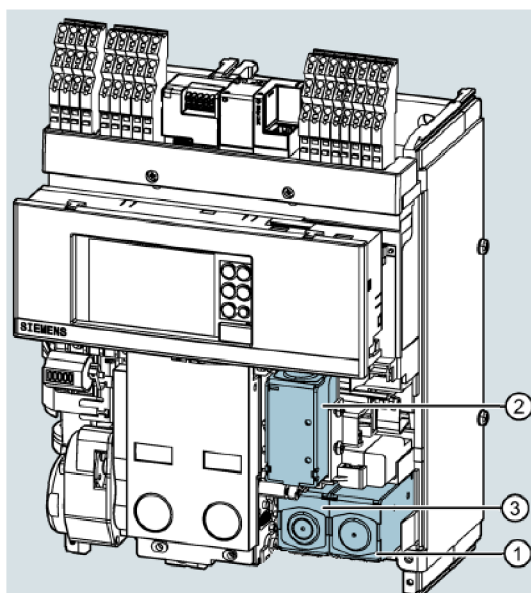
3.3.1 Pomocné spouště

Jističe 3WL a 3WA disponují třemi pozicemi pro přichycení pomocných spouští. Pozice uložení spouští je u jističů 3WL velikostí I, II a III obdobná jako u jističů 3WA (viz obr. 17).



Obrázek 17 – Uložení pomocných spouští 3WL (vel. I, II, III) a 3WA, převzato z [17] (upraveno)

Rozdílná konstrukce jističe 3WL10 má za následek i jiné dispoziční řešení uložení pomocných spouští (viz obr. 18).



Obrázek 18 – Uložení pomocných spouští 3WL10, převzato z [20] (upraveno)

Na obr. 17 a 18 jsou vyznačeny pozice 1, 2 a 3. Pozice 1 je určena pro uložení pomocné spouště ST. Pozice 2 slouží k uložení spouště CC a pozice 3 slouží k uložení spouště UVR nebo druhé pomocné spouště ST. V nabídce jsou pomocné spouště pro různé AC i DC napětí.

Spouště CC a ST jsou pro 3WL velikostí I, II, III a 3WA dostupné ve variantách standardní (zatěžovatel 100 %) a přebuzená (zatěžovatel 5 %). Rozdíly mezi těmito variantami jsou v rychlosti, kdy přebuzená spoušť (ST nebo CC) spíná rychleji a dále v možnosti trvalého provozu, kdy přebuzená cívka se trvalým napájením zničí. Standardní spouště ST mohou díky možnosti konstantního napájení sloužit jako elektrické blokování zapnutí. Mezi příslušenstvím jističů 3WL velikostí I, II, III a 3WA

je k dispozici kondenzátor, který je schopen při výpadku napájení dodat energii spouští ST pro provedení vybavovací operace. Spouště CC a ST pro jističe 3WL10 jsou dodávány pouze jako standardní s možností trvalého napájení. Na obr. 19 jsou vyobrazeny vlastnosti spouští CC a ST jističů 3WA a 3WL10. Příkony a časové intervaly pro sepnutí a rozepnutí kontaktů pomocnou spouští nebyly pro 3WL velikostí I, II a III nalezeny.

3WL10 CC & ST		3WA CC & ST		
Technical specifications		Operating range (acc. to IEC 60947-2)		
Rated control supply voltage U_s	AC / DC	85 ... 110% U_s		
	24 V	100% OP 5% OP		
	30 V	Switch-on power AC / DC	24 ... 30 V DC 48 ... 60 V DC 110 ... 127 V AC / 110 ... 125 V DC 208 ... 240 V AC / 220 ... 250 V DC	40 VA / 40 W 200 VA / 200 W 250 VA / 250 W
	48 V			
	60 V			
	110 to 120 V			
	120 to 127 V	Continuous power AC / DC		8 VA / 8 W --
	220 to 240 V	Minimum command duration at 100% U_s		60 ms 60 ms
	240 to 250 V	Maximum command time at 100% U_s		-- 2000 ms
380 to 400 V	Closing time of the circuit breaker at 100% U_s		100 ms 50 ms	
415 to 440 V	Opening time of the circuit breaker at 100% U_s		80 ms 50 ms	
Operating limits	ST: 70 to 110% U_s CC: 85 to 110% U_s			
Switch-on power	300 VA/W			
Continuous power	3.5 VA/W			
Break time ST	35 ms			
Make time CC	50 ms			

Obrázek 19 – Vlastnosti spouští CC a ST, převzato z [19], [20] (upraveno)

UVR pro 3WL velikostí I, II, III a 3WA jsou dodávány jako standardní a časově zpožděné. Jističe 3WL10 jsou dodávány pouze se standardní (nezpožděnou) UVR, ale je možné je vybavit dodatečným příslušenstvím v podobě externího zpoždovacího zařízení. Na obr. 16 jsou vyobrazeny vlastnosti spouští UVR jističů 3WA a 3WL10. [17], [19], [20], [21]

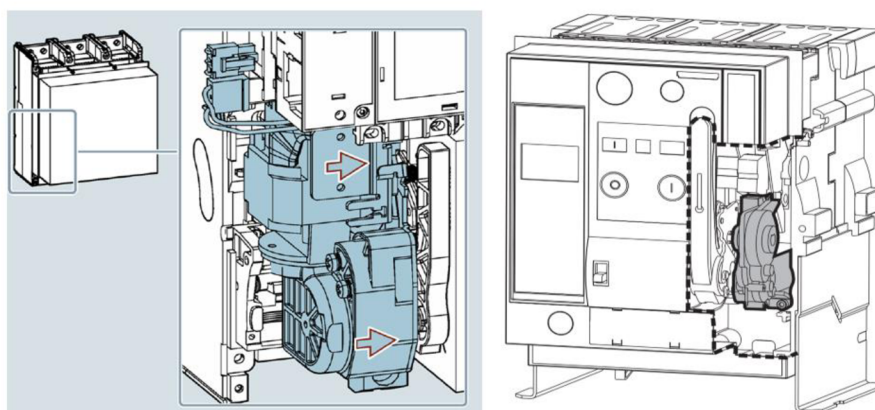
3WL10 UVR		3WA UVR	
Technical specifications		Rated control supply voltage U_s	
Rated control supply voltage U_s	24 V	AC	DC
	30 V	✓	✓
	48 V	✓	✓
	60 V	✓	✓
	110 to 120 V	✓	✓
	120 to 127 V	✓	✓
	220 to 240 V	✓	✓
	240 to 250 V	✓	✓
	380 to 400 V	✓	—
415 to 440 V	✓	—	
Operating limits	ON: 85 to 110% U_s OFF: ... < 70% U_s	Operate voltage < 70% U_s Pick-up voltage 85 ... 110% U_s	
Switch-on power	300 VA 300 W	Switch-on power AC / DC 50 VA / 50 W	
Continuous power	3.5 VA 3.5 W	Continuous power AC / DC 5 VA / 5 W	
Break time UVR	30 ms	Break time	
		Us = 0 with instantaneous UVR ≤ 80 ms	
		Us = 0 with short-time delayed UVR ≤ 200 ms	
		Us = 0 with delayed UVR-t 0.2 ... 3.2 s	
		For UVR-t by disconnecting the connection at terminals X5.13 and X5.14 (EMERGENCY STOP circuit) ≤ 100 ms	

Obrázek 20 – Vlastnosti spouští UVR, převzato z [19], [20] (upraveno)

3.3.2 Motorový pohon

Zpřevodované motorové pohony jističů 3WL a 3WA pracují na principu natahování zapínací pružiny střádačovým mechanismem (viz kapitola 2.6.3). V nabídce jsou MO pro

různé AC i DC napájecí napětí. Součástí MO je mikrospínač, který po nastřádání rozezne obvod napájení motoru, a tím pohon zastaví. Po vybití energie zapínací pružiny (sepnutí kontaktů jističe) mikrospínač sepne obvod napájení motoru a opět ho rozezne po nastřádání. Díky tomu není nutné MO řídit. K jeho funkci stačí pouze přivést na jeho svorky napájecí napětí. Na obr. 21 je vidět pozice uložení MO. Jističe 3WL velikostí I, II, III a 3WA mají MO umístěný na pravé části čelní strany, kdežto 3WL10 má MO uložený na levé části čelní strany. Na obr. 22 jsou vyobrazeny vlastnosti MO jističů 3WL10, 3WL10 velikostí I, II, III a 3WA. [17], [19], [20]



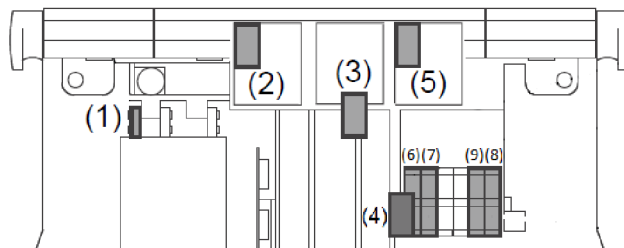
Obrázek 21 – Uložení motorového pohonu, vlevo 3WL10, vpravo 3WA, převzato z [17], [20]

3WL10 MO		3WL (I, II, III) MO		3WA MO	
Technical specifications	AC / DC			Rated control supply voltage U_s	24 V DC
Rated control supply voltage U_s	24 to 30 V	Voltage	Power	30 V DC	30 V DC
	48 to 60 V			110 to 130 V	48 V DC
	100 to 130 V			220 to 250 V	60 V DC
	220 to 250 V			24 V DC / 30 V DC	110 W
Operating limits	85 to 110% U_s	48 V DC / 60 V DC	120 W	110 ... 127 V AC / 110 ... 125 V DC	60 V DC
Switch-on power	300 VA/W	110-127 V AC / 110-125 V DC	150 W	208 ... 240 V AC / 220 ... 250 V DC	135 VA / W
Continuous power	100 VA/W	208-240 V AC / 220-250 V DC	130 W	Switch-on power	135 VA / W
Make time	200 ms			Continuous power	135 VA / W
Charging time	7 s			Charging time	≤ 10 s

Obrázek 22 – Vlastnosti MO, převzato z [18], [19], [20] (upraveno)

3.3.3 Signalizační a pomocné spínače

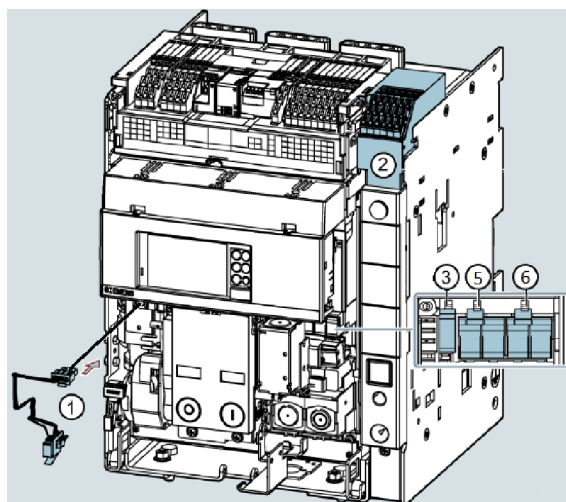
Na obr. 23 jsou vyznačeny pozice umístění AUX a PSS spínačů pro jističe 3WL velikostí I, II, III a 3WA. V tab. 2 jsou spínače popsány. Na obr. 24 jsou vyznačeny pozice umístění AUX a PSS spínačů pro jistič 3WL10 a v tab. 3 jsou popsány.



Obrázek 23 – Uložení spínačů 3WL (vel. I, II, III) a 3WA, převzato z [17] (upraveno)

Tabulka 2 – Pomocné a signalizační spínače 3WL (I, II, III) a 3WA

Pozice	Spínač	Označení spínače
1.	S24	Vybaveno nadproudovou spouští
2.	S22	Vybaveno pomocnou spouští ST
3.	S20	Připraven k zapnutí
4.	S21	Stav pružinového střadače
5.	S23	Vybaveno pomocnou spouští UVR / ST2
6.	S1	Pomocný spínač stavu jističe
7.	S2	Pomocný spínač stavu jističe
8.	S4 / S8	Pomocný spínač stavu jističe
9.	S3 / S7	Pomocný spínač stavu jističe



Obrázek 24 – Uložení spínačů 3WL10, převzato z [20] (upraveno)

Tabulka 3 – Pomocné a signalizační spínače 3WL10

Pozice	Spínač	Označení spínače
1.	S24	Vybaveno nadproudovou spouští
2.		Svorkovnice AUX a PSS spínačů
3.	S20	Připraven k zapnutí
5.	AUX1 – AUX2	Pomocný spínač stavu jističe
6.	AUX3 – AUX4	Pomocný spínač stavu jističe

Signalizační a pomocné spínače jističů 3WL a 3WA budou v praktické části této práce používány pro zjištění stavů jističe. Konkrétněji se budou používat spínače:

- připraven k zapnutí (S20),
- stav pružinového střadače (S21),
- pomocný spínač stavu jističe S1 (AUX1 – pro 3WL10).

AUX a PSS jsou dodávány pro různé napájecí napětí a proudové zatížení (podrobněji viz průvodní dokumentace jističů).

[17], [19], [20]

3.3.4 Propojovací schéma

V průvodních dokumentacích jističů jsou komplexně popsány propojovací schémata příslušenství jističů s piny konektorů. Propojovací schéma lze najít v kapitole 10 (jistič 3WL10 – viz [20]), v kapitole 7 (jistič 3WL velikost I, II, III – viz [17]) a v kapitole 6 (jistič 3WA – viz [19]). Z důvodu přípravy na praktickou část této práce jsou piny konektorů příslušenství, které bude použito pro ovládání a signalizaci, podrobně popsány v tab. 4. [17], [19], [20]

Tabulka 4 – Propojovací soupiska

Označení	Popis	3WL10	3WL (I, II, III)	3WA
CC.L	Spoušť CC, potenciál L / L+	X1.C1	X6.8	X6.8
CC.M	Spoušť CC, potenciál N / L-	X1.C3	X6.7	X6.7
ST.L	Spoušť ST, potenciál L / L+	X1.O1	X6.14	X6.14
ST.M	Spoušť ST, potenciál N / L-	X1.O3	X6.13	X6.13
UVR.L	Spoušť UVR, potenciál L / L+	X1.C5	X5.12	X5.12
UVR.M	Spoušť UVR, potenciál N / L-	X1.C6	X5.11	X5.11
MO.L	Motorový pohon, potenciál L / L+	X1.U1	X5.2	X5.2
MO.M	Motorový pohon, potenciál N / L-	X1.U2	X5.1	X5.1
S1.NO (AUX1.NO)	Stav jističe – spínací kontakt	X1.11 X1.13	X6.11 X6.12	X6.11 X6.12
S1.NC (AUX1.NC)	Stav jističe – rozpínací kontakt	X1.11 X1.12	X6.9 X6.10	X6.9 X6.10
S20.NO	Připraven k zapnutí – spínací kontakt	X1.51 X1.53	X6.5 X6.6	X6.5 X6.6
S21.NO	Stav střadače – spínací kontakt	X1.81 X1.83	X7.10 X7.11	X7.4 X7.5

3.4 Výrobce udávaná mechanická trvanlivosť

Mechanická trvanlivosť jističov sa znižuje v závislosti na veľkosti I_{cu} a veľkosti jističa. Jističe 3WA a 3WL veľkostí I, II, a III majú udávanú mechanickú trvanlivosť bez provádania údržby a s provádáním údržby. Údržbou sa rozumí výmena komponent podléhajících opotrebení. Těmito spotřebními komponentami jsou hlavní kontakty a zášecí komory. V průvodních dokumentacích jističov jsou popsány intervaly údržby v závislosti na počtu spínacích cyklů. V tab. 5 jsou vypsané mechanické trvanlivosti AC jističov s ohledem na jejich velikost a zkratovou vypínací schopnost. S přihlédnutím na hodnoty v tab. 5 lze konstatovat, že jističe 3WA dosahují vyšší mechanické trvanlivosti než jističe 3WL. [21]

Tabulka 5 – Mechanická trvanlivosť jističov 3WL a 3WA

Jističe →	3WL vel. 0	3WL vel. I	3WA vel. I	3WL vel. II	3WA vel. II	3WL vel. III	3WA vel. III
Mechanická trvanlivosť bez provádania údržby [Počet spínacích cyklů]	20000	15000	15000	10000	10000	5000	7500
Mechanická trvanlivosť s provádáním údržby [Počet spínacích cyklů]	–	25000	30000	17500	20000	10000	15000
Vypínací schopnosť [-]	N, S	N, S	N, S	N, S	S, M, E, H	H, C	H

4. MECHANICKÁ TRVANLIVOST

Zařízení, které je navrženo a konstruováno v rámci této práce bude sloužit k testování mechanické trvanlivosti jističe 3WL a 3WA. Pojem mechanická trvanlivost je skloňován nejen v rámci normativních požadavků na jistič pro všeobecné použití ([1], [4]), ale také v rámci jeho vývojových zkoušek a řízení kvality výroby.

4.1 Normativní pojetí trvanlivosti a provozuschopnosti

Termín trvanlivost je popisovaný v normě ČSN EN 60947-1 ed. 4 jako počet spínacích cyklů, které jistič zvládne provést bez ztráty funkčnosti. Spínací cyklus je definován jako posloupnost zapnutí a následného vypnutí jističe. V průvodní dokumentaci velkých ACB jističů bývají popsány požadavky na pravidelnou údržbu jističe. Údržba se provádí po stanoveném počtu provedených spínacích cyklů a skládá se z výměny opotřebovaných částí, jakými mohou být zhášecí komory a kontakty jističe. V takovém případě může být trvanlivost jističe uvedena včetně provedené údržby. Trvanlivost dělíme na elektrickou a mechanickou. Mechanickou trvanlivostí rozumíme termín udávající odolnost jističe vůči mechanickým opotřebením, kdy kontakty jističů neprotéká žádný proud. Elektrickou trvanlivostí rozumíme termín udávající odolnost jističe vůči elektrickým opotřebením, kdy kontakty jističů protéká proud odpovídající provozním podmínkám.

Zkoušky dané normou ČSN EN 60947-2 ed. 4 dělíme na typové, výrobní kusové a zvláštní. Typová zkouška se provádí před uvedením jističe na trh jako důkaz splnění požadavků dané výrobní normy a dále případně po provedených změnách konstrukce jističe. Typové zkoušky jsou seskupeny do sledů. Některé sledy jsou určeny pouze pro určitou skupinu jističů. V daných sledech se zkoušky provádějí v předepsaném pořadí. Typové zkoušky se provádějí na nových a čistých vzorcích daného typu jističe.

Norma [4] termín trvanlivost ve všeobecném pojetí nezná, avšak zavádí termín provozuschopnost, který je definovaný jako zkouška prověřující schopnost jističe zapínat, přenášet a vypínat proudy, které procházejí jeho proudovými drahami. Provozuschopnost je součástí typových zkoušek jističe. Provozuschopnost se dále dělí, podobně jako trvanlivost, na provozuschopnost bez proudu a provozuschopnost s proudem. V tab. 6 jsou uvedeny požadavky zkoušky. Požadované množství provedených spínacích cyklů a frekvence spínání jsou závislé na I_n jističe. Zkoušky provozuschopnosti bez proudu definují dále uvedené rozšiřující podmínky. Pokud může být jistič vybaven pomocnými spouštěmi CC, ST a UVR, tak z celkového počtu spínacích cyklů musí 10 % tvořit operace zapínání a vypínání pomocí CC a ST, které jsou napájeny maximálním jmenovitým řídicím napětím $U_{s \max}$ a dále 10 % spínacích cyklů musí tvořit operace vypnutí pomocí UVR, která je napájena minimálním jmenovitým řídicím napětím $U_{s \min}$.

Polovina operací při maximálním (CC, ST) a minimálním (UVR) U_s musí být provedena na začátku zkoušky a druhá polovina na konci zkoušky. MO, pokud jím jistič může být vybaven, musí být napájen U_s .

[1], [4]

Tabulka 6 – Požadavky zkoušky provozuschopnosti

Maximální jmenovitý proud I_n [A]	Minimální počet spínacích cyklů za hodinu	Počet spínacích cyklů		
		Bez proudu	S proudem	Celkem
$I_n \leq 100$	120	8 500	1 500	10 000
$100 < I_n \leq 315$	120	7 000	1 000	8 000
$315 < I_n \leq 630$	60	4 000	1 000	5 000
$630 < I_n \leq 2 500$	20	2 500	500	3 000
$2 500 < I_n$	10	1 500	500	2 000

4.2 Vývojové zkoušky a řízení kvality výroby

V zájmu výrobce by mělo být, aby jeho produkt – jistič byl spolehlivý po celou dobu jeho produkce. Z tohoto důvodu jističe podstupují různé pravidelné i nepravidelné zkoušky, jejichž náplň a specifika jsou iniciovány odděleními řízení kvality. Dalším druhem zkoušek, které výrobci obvykle provádějí, jsou zkoušky vývojové. Jedná se o zkoušky prováděné za účelem ověření navrženého konstrukčního řešení při vývoji daného typu jističe a případně později při dílčích změnách konstrukce a materiálů. V této práci bohužel není možné popsat, a případně srovnat postupy zkoušek mechanické trvanlivosti více zavedených výrobců, jelikož zkoušky vycházející z vnitrofiremních legislativ bývají obvykle v režimu utajení, avšak je zde obecně popsán postup zkoušení mechanické trvanlivosti jističů 3WL a 3WA.

Zkouška mechanické trvanlivosti 3WA a 3WL iniciovaná oddělením kvality (dále uváděné pouze jako zkouška) se provádí na vybraném a neupraveném novém jističi, který je vyroben standardním postupem na výrobní lince. Harmonogram zkoušek a počet zkoušených vzorků je definován oddělením řízení kvality v tzn. testovacím plánu, na základě množství a rozložení objednávek z minulého účetního období a z predikce očekávaných objednávek pro následující účetní období. Zkouška z podstaty vychází z normy [1] (viz kapitola 4.1 – Mechanická trvanlivost), avšak v mnoha ohledech je náročnější.

Zkouška má být řízena PLC a ovládána za pomoci příslušenství jističe (CC, ST, UVR, MO, PSS, AUX). V programu musí být možné nastavit parametry počtu vykonaných spínacích cyklů a frekvence spínání. Stav testovaného jističe je vyhodnocen za pomoci

PSS a AUX spínačů. V případě, že zpětná vazba od spínačů neodpovídá předpokládanému stavu, tak musí zařízení řídicí průběh zkoušky zkoušku pozastavit a nahlásit chybový stav.

Zkouška se skládá z přípravné, testovací a konečné fáze. Mezi těmito fázemi probíhá vizuální kontrola a měření parametrů jističe. Při vizuální kontrole se na jednotlivých dílech jističe vyhodnocuje přítomnost oděrů, trhlin a úlomků, uvolnění mechanismů, stav mazání, stav elektrické výzbroje a stav štítků. Na jističi je dále prováděno měření sil potřebných pro zapnutí a vybavení jističe, měření vzdáleností hlavních kontaktů, měření úbytku napětí na hlavních kontaktech a měření funkčnosti ETU.

V přípravné fázi se po provedení vizuální kontroly a měření jistič umístí do klimatické komory, či na zkušební stůl. Svorkovnice relevantních pomocných spouští, spínačů a napájení MO jsou propojeny (viz tab. 4) se zařízením řídicím průběh zkoušky a dále jsou nastaveny parametry frekvence spínání, počet požadovaných spínacích cyklů a řídicí napětí pomocných spouští a MO.

Testovací fázi tvoří etapy spínacích cyklů a provedená údržba jističe, stanovená dle průvodní dokumentace. Každá etapa se skládá ze stanoveného množství spínacích cyklů, přičemž tato hodnota je pro všechny etapy stejná. Mezi jednotlivými etapami a provedením údržby je vykonávána vizuální kontrola a měření parametrů jističe. Etapy se mezi sebou liší teplotou prostředí, ve kterém jistič podstupuje zkoušku, přičemž jsou definovány obecně tři prostředí – chladné (až $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$), horké ($+70\text{ }^{\circ}\text{C}$) a prostředí pokojové teploty. Nastavení řídicího napětí pomocných spouští a MO závisí na typu prostředí. Specifikace nastavení řídicího napětí v závislosti na typu prostředí je popsána v tabulce 7. Řídicí napětí je zde zapsáno jako procentuální hodnota jmenovitého řídicího napětí U_s .

Tabulka 7 – Nastavení řídicího napětí v závislosti na prostředí

Typ řídicího napětí →	AC		DC	
Typ příslušenství → Typ prostředí ↓	CC, ST, MO	UVR	CC, ST, MO	UVR
Horké	110 % U_s	110 % U_s	126 % U_s	126 % U_s
Pokojová teplota	U_s	U_s	U_s	U_s
Chladné	85 % U_s	85 % U_s	70 % U_s	85 % U_s

V konečné fázi se provede demontáž jističe, vizuální kontrola a vyhodnocení funkčnosti relevantních dílů jističe. Jistič je uložen do archivu a je vypracován zkušební protokol, popisující všechny skutečnosti dané zkoušky.

[22], [23], [24]

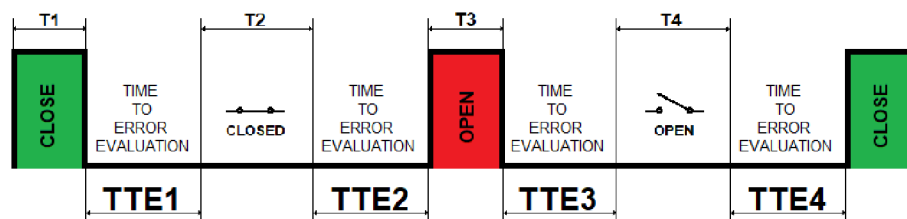
5. NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Tato kapitola se zaměřuje na návrh zařízení schopného řídit zkoušku mechanické trvanlivosti jističů 3WL a 3WA.

5.1 Technická specifikace

Zařízení musí být schopné řídit zkoušku mechanické trvanlivosti dvou na sobě navzájem nezávislých stanovišť s jističi 3WL a 3WA. Uživatel musí mít možnost ovládat zkoušku a být informován signalizací pomocí dotykového HMI panelu. K zapínání, vypínání a ke zpětné vazbě stavu musí být použito příslušenství testovaného jističe. Jistič musí být zapínán pomocí CC, vypínán pomocí ST, ST2 nebo UVR. Nastřádání zapínací pružiny musí být realizováno vestavěným MO. Stav jističe musí být monitorován pomocí stavu hlavních kontaktů, PSS a AUX spínačů. Konkrétněji se jedná o AUX a PSS spínače S1 (AUX1 pro 3WL10), S20 a S21 (viz tab. 2, tab. 3). Pomocný spínač S1 (AUX1) může být typu NO nebo NC.

Na obrazovce HMI musí být možnost výběru typu vypínací spouště (ST, UVR), výběru typu pomocného spínače S1 / AUX1 (NO / NC), možnost zadání požadovaného počtu spínacích cyklů, délky zapínacího impulsu T1 (viz obr. 25), délky prodlevy mezi zapínacím a vypínacím impulsem T2, délky vypínacího impulsu T3, délky prodlevy mezi jednotlivými cykly T4 a možnost zadání parametrů odloženého vyhodnocení chyb testovaného jističe (TTE1 až TTE4). Všechny výše uvedené parametry musejí být nastavitelné nezávisle pro obě testovací stanoviště. V okamžiku zadání časových parametrů musí zařízení zobrazit předpokládaný čas pro ukončení zkoušek a tento čas v průběhu zkoušky aktualizovat.



Obrázek 25 – Časové parametry cyklu

Dojde-li k vyhodnocení závady na testovaném jističi, musí být spuštěn časový odpočet TTE (viz obr. 25). Zkouška musí být přerušena v případě, kdy závada přetrvává i po uplynutí časového intervalu TTE. Perioda cyklu standardně obsahuje pouze části T1 až T4. Časové zpoždění TTE je vyvoláno pouze při vyhodnocení závady.

V případě přerušení je nutné signalizovat příčinu poruchy na HMI panelu a uživateli automatizovaně zaslat SMS zprávu s upozorněním na přerušení zkoušky. Všechny události a chybové hlášky opatřené časovou známkou je nutné automatizovaně zapisovat do záznamu zkoušky. Testovací zařízení musí být schopno vyhodnocovat následující závady:

- chyba 1 – jistič nezapnul,
- chyba 2 – jistič nevypnul,
- chyba 3 – jistič vybavil během střádání,
- chyba 4 – jistič nenastřádal,
- chyba 5 – jistič nepřipraven k zapnutí,
- chyba 6 – chyba pomocného kontaktu,
- chyba 7 – nastřádáno ihned po zapnutí jističe,
- chyba 8 – jistič připraven k zapnutí při sepnutých hlavních kontaktech.

Součástí zařízení musí být pro obě stanoviště teplotní senzor měřící teplotu v rozsahu - 40 až 70 °C s přesností alespoň ± 1 °C. Měření teploty bude využíváno k tzn. odloženému startu, kdy po dosažení předem nastavené teploty se začne odpočítávat předem nastavený čas. Po uplynutí tohoto času dojde k automatickému spuštění zkoušky mechanické trvanlivosti. Alternativně musí být možné nastavit bez závislosti na teplotě pouze odpočet času, po jehož uplynutí bude zkouška spuštěna. Teplotní senzory musí být možné kalibrovat změnou konstant v prostředí HMI.

5.2 Řízení, vizualizace, komunikace a měření

Konstruované zařízení je určeno k provozu ve firmě O EZ s.r.o., která je součástí skupiny Siemens. Z tohoto důvodu byl pro návrh konstrukce zadán požadavek na použití co možná největšího počtu komponentů vyráběných těmito výrobci. K řízení zařízení mělo původně sloužit PLC Simatic ET 200SP společně s vizualizačním HMI panelem Simatic Comfort, avšak tou dobou probíhající krize s nedostatkem čipů zapříčinila výrazné časové zpoždění dodacích lhůt těchto komponent. Z tohoto důvodu bylo nutné zvolit komponenty s ohledem na termín odevzdání diplomové práce.

5.2.1 PLC a měření teploty

Z výše uvedených důvodů bylo vybráno PLC produktové řady Simatic S7-1200, které v době konstruování zařízení mělo stále krátké dodací lhůty.

Programové vybavení je realizováno v souladu s vnitropodnikovým standardem „Tool S7“. Použití tohoto standardu je spojeno s vyššími nároky na operační, programovou a datovou paměť. Z tohoto důvodu byla vybrána jednotka CPU 1217C, která disponuje nejlepšími technickými parametry ve srovnání s ostatními variantami standardních CPU produktové řady S7-1200. Tyto parametry jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka 8 – Technické parametry CPU jednotky 1217C, viz [27]

Operační paměť	150 kB
Programová a datová paměť	4 MB
Zálohovací paměť	14 kB
Bitová paměť	8 kB
Počet digitálních vstupů DI (24 V DC)	10
Počet diferenčních digitálních vstupů	4
Počet digitálních výstupů DO (24 V DC)	6
Počet diferenčních digitálních výstupů	4
Počet analogových vstupů (AI)	2
Napěťový rozsah analogového vstupu	0–10 V
Rozlišení analogového vstupu	10 bitů
Přesnost měření analogového vstupu	3,5 % z rozsahu
Počet analogových výstupů (AO)	2
Proudový rozsah analogového výstupu	0–20 mA
Rozlišení analogového výstupu	10 bitů
Přesnost analogového výstupu	3,5 % z rozsahu
Rozšiřitelnost signálovými moduly (SM)	max. 8
Rozšiřitelnost komunikačními moduly (CM)	max. 3
Rozšiřitelnost kartami (SB, BB, CB)	max. 1
Vysokorychlostní čítače	4x 1 MHz, 6x 100 kHz, 4x 30 kHz
Pulsní výstupy	4x 1 MHz, 6x 100 kHz
Napájecí napětí	24 V DC
Příkon	12 W
Rozlišení cyklického přerušení	4x 1 ms
Rozlišení hardwarového přerušení	12x náběžná hrana, 12x sestupná hrana
Přesnost hodin reálného času	± 60 s/měsíc
Doba uložení reálného času při výpadku napájení	min. 12 dní

Při výběru PLC bylo nutné uvážit množství vstupů, výstupů (I/O) a jejich typů. Problematikou příslušenství potřebného k ovládání a signalizaci stavů testovaného jističe se zabývá kapitola 3.3 a z pohledu testovacího zařízení kapitola 5.1. Dále bylo nutné přičíst DI/DO potřebné k ovládání a vyhodnocení stavu bezpečnostní logiky KOF (viz příloha C, str. 6b), selektivního modulu F1 (viz příloha C, str. 6a) a k vyhodnocení stavu vypínače S1 (viz příloha C, str. 6a), kterým je ovládáno napájení průmyslového bezdrátového přístupového bodu A4 (IWLAN AP, viz příloha C, str. 6g) a GSM modulu A5 (viz příloha C, str. 6g). Soupis použitých DI a DO je popsán v tabulce 9. Dle údajů v této tabulce je potřeba zpracovat 11 DI a 8 DO. CPU jednotka 1217C disponuje 10 DI a 6 DO (viz tab. 8), proto bylo nutné PLC rozšířit o signálový modul (SM). Byl vybrán modul SM1223 (6ES7223-1BH32-0XB0; označení A1.1 – viz příloha C, str. 6d), který rozšiřuje CPU jednotku o 8 DI typu sink (24 V DC) a 8 DO typu source (24 V DC).

Tabulka 9 – Soupis digitálních I/O

Digitální vstupy DI:	Digitální výstupy DO:
Hlavní kontakt – jistič 1	Zapínací spoušť CC – jistič 1
Pomocný kontakt S1/AUX1 – jistič 1	Vypínací spoušť ST/UVR – jistič 1
Stav střadače S21 – jistič 1	Motorový pohon MO – jistič 1
Připraven k zapnutí S20 – jistič 1	
Hlavní kontakt – jistič 2	Zapínací spoušť CC – jistič 2
Pomocný kontakt S1/AUX1 – jistič 2	Vypínací spoušť ST/UVR – jistič 2
Stav střadače S21 – jistič 2	Motorový pohon MO – jistič 2
Připraven k zapnutí S20 – jistič 2	
Status bezpečnostního modulu K0F	Spuštění bezpečnostního modulu K0F
Status selektivního modulu F1	Reset výpadku selektivního modulu F1
Stav vypínače S1	

Testované jističe mohou být vybaveny PSS a AUX určenými pro různé napájecí napětí, avšak navrhované testovací zařízení musí být schopno vyhodnocovat stavy jakéhokoliv typu PSS a AUX popsanych v tabulce 9. Konzultací s kolegou z firmy OEZ bylo zjištěno, že se v minulosti při návrhu jiného testovacího zařízení vyskytovaly problémy s vyhodnocováním stavů určitých typů PSS a AUX spínačů napájených napětím 24 V DC. Z tohoto důvodu bylo pro navrhované testovací zařízení zvoleno konstrukční řešení, které tento případný problém s vyhodnocováním PSS a AUX řeší zvolením vyššího napájecího napětí. Napájení PSS a AUX je realizováno spínaným zdrojem Mean Well HDR-15-48, jehož výstupní DC napětí je nastavitelné v rozsahu 43,2 V až 55,2 V (viz [31]). Použitím vyššího napájecího napětí na PSS a AUX musel být upraven způsob vyhodnocení těchto vstupů. K tomuto účelu byly použity oddělovací polovodičové relé Schneider Electric SSL1D101ND, které spínají svůj výstup při přivedeném DC napětí v rozmezí 38 V až 72 V (viz [32]). Tímto způsobem bylo navíc vytvořeno galvanické oddělení, které chrání digitální vstupy PLC před přivedením napětí vyššího než 24 V DC. Způsob vyhodnocování PSS a AUX spínačů je ve formě elektrického zapojení popsán v příloze C na straně 6h.

Pro funkci odloženého startu zkoušky (viz kapitola 5.1, odstavec 3) bylo nutné navrhnout způsob měření teploty prostředí testovaných jističů. Z technických požadavků na měření teploty byla zadána minimální přesnost ± 1 °C a rozsah měřených teplot -40 °C až +70 °C (viz kapitola 5.1, odstavec 3). Dle těchto kritérií byly zvoleny platinové odporové RTD snímače teploty Pt100 od společnosti RS PRO (skladové číslo 123-5603, viz [28]), které měří v rozsahu teplot -50 °C až +200 °C s odchylkou měření třídy B dle ČSN EN 60 751. Měření teploty pomocí snímačů RT1, RT2 je realizováno čtyřvodičovým zapojením, čímž je kompenzován odpor přívodních vodičů (délka 6 m, viz příloha C, str. 6e). Logiku měření teploty zajišťuje signálový modul SM1231 RTD

(6ES7231-5PD32-0XB0; označení A1.2 – viz příloha C, str. 6e). Technické parametry tohoto RTD SM jsou popsány v tabulce 10.

[27], [28]

Odvod odpadního tepla z rozvaděče zařízení je realizován dvojicí otvorů osazených ventilační mřížkou s prachovými filtry. Odvod teplého vzduchu na vrchní straně zařízení je podpořen ventilátorem. Řízení ventilátoru je programově realizováno jako dvoustavový regulátor s hysterezí. Měření teploty uvnitř rozvaděče je realizováno pomocí RTD snímače teploty Pt1000 a signálového modulu SM1231 RTD,

Tabulka 10 – Technické parametry jednotky SM 1231 RTD, viz [28]

Označení	SM 1231 RTD
Výrobní číslo	6ES7231-5PD32-0XB0
Počet vstupů	4x RTD AI
Typ zapojení	2-vodičové, 3-vodičové, 4-vodičové
Rozlišení (el. odpor / teplota)	15 bitů + znak / 0,1 °C
Metoda měření	Integrační
Přesnost měření Pt100 (podrobněji viz [27], str. 1296)	±0,20 °C; ±0,50 °C; ±0,80 °C
Opakovatelnost měření	±0.05% FS
Maximální odpor přívodního vedení	20 Ω

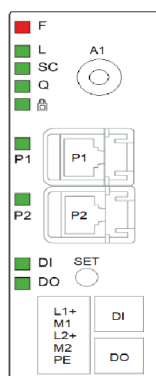
5.2.2 HMI a přístupový bod IWLAN AP

Z důvodů uvedených v úvodu kapitoly 5.2 byl vybrán HMI panel z produktové řady Simatic Basic. Veškeré ovládání a signalizaci zajišťuje HMI panel, proto je nutné, aby tyto prvky byly dostatečně velké a čitelné. Z tohoto důvodu byl vybrán HMI panel Simatic KTP900 Basic, který disponuje 9" dotykovou obrazovkou. Technické parametry tohoto HMI jsou popsány v tabulce 11. [29]

Tabulka 11 – Technické parametry HMI KTP900 Basic, viz [29]

Označení	KTP900 Basic
Velikost displeje	9"
Rozlišení	800 x 480 px
Hardwarová tlačítka	8
Paměť pro data	256 MB
Paměť pro program	512 MB
Komunikační protokol	Profinet
Konektory	RJ-45, USB
Spotřeba proudu	max. 440 mA
Počet tagů	max. 800
Počet obrazovek	max. 250
Počet tagů na obrazovku	max. 100
Počet grafických seznamů	max. 100

GMS modul obsahuje ovládací, signalizační a konstrukční prvky vyznačené na obr. 32. Tlačítko SET slouží k restartování, nahrání firmwaru a resetování do továrního nastavení. Výběr funkce závisí na délce stisknutí tlačítka (viz [35], str. 29). Konektory P1 a P2 typu RJ-45 slouží k připojení do místní sítě. Konektor A1 typu SMA slouží k připojení GSM antény. Zařízení obsahuje svorkovnice pro připojení napájení, DI a DO. Signalizačními prvky jsou LED diody, které svým rozsvícením či blikáním signalizují stavy popsané v průvodní dokumentaci GSM modulu (viz [35], str. 23-25).



Obrázek 26 – Ovládací, signalizační a konstrukční prvky GSM modulu, převzato z [35]

GSM modul bylo nutné před použitím nastavit pomocí webového uživatelského rozhraní. Po přihlášení a změně defaultního hesla bylo nutné povolit zapnutí rozhraní 2G sítě, zadat PIN kód SIM karty, zadat parametry poskytovatele mobilních služeb 2G sítě, povolit a nastavit parametry funkce SMS Relay (Outgoing).

5.3 Bezpečnostní prvky

Před návrhem elektrického schématu byla vypracována analýza rizik zkušebního zařízení. Z analýzy rizik bylo identifikováno nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Nebezpečí bylo možné snížit konstrukčními opatřeními v podobě bezpečného návrhu zkušebního zařízení. Zkušební zařízení je navrženo v souladu se základní bezpečnostní normou typu A ČSN EN ISO 12 100, obecnou bezpečnostní normou typu B1 ČSN EN 60 204-1 ed. 3, obecnými bezpečnostními normami typu B2 ČSN EN ISO 13 849-1, ČSN EN ISO 13 850 a normou typu C pro zřizování a provoz zkušebních elektrických zařízení (ČSN EN 50 191 ed. 2). Testovací zařízení obsahuje bezpečnostní funkci nouzového vypnutí, která zajišťuje okamžité vypnutí napájení CC, ST/UVR a MO obou testovaných stanovišť. Posouzení rizik dle ČSN EN ISO 13 849-1 určilo požadovanou úroveň vlastností funkce nouzového zastavení $PLr = c$, což je nejnižší přípustná hodnota PLr dle normy ČSN EN ISO 13 850. Zkušební zařízení je určeno pro provoz 5 dní v týdnu, 52 týdnů v roce. Bylo definováno, že mechanické prvky bezpečnostního obvodu jsou spínány jedenkrát denně v rozsahu výše uvedených dní a týdnů. Střední počet cyklů za rok byl definován vztahem

$$n_{op} \left(\frac{\text{cyklů}}{\text{rok}} \right) = \text{počet sepnutí za den} * \text{počet dní v týdnu} * \text{počet týdnů v roce} =$$

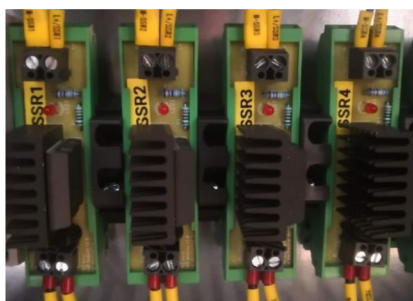
$$= 1 * 5 * 52 = 260 \frac{\text{cyklů}}{\text{rok}}. \quad (1.1)$$

Výběr komponentů a výpočet úrovně vlastností PL bezpečnostní funkce probíhaly prostřednictvím programu TIA Selection Tool. Vstupní komponentou bezpečnostní funkce je tlačítko nouzového zastavení se dvěma kontakty typu NC (3SU1100-1HB20; označení SB1 – viz příloha C, str. 6b). Vyhodnocování bezpečnostní funkce řídí modul Siemens 3SK1111, který je ve schématu označen jako K0F (viz příloha C, str. 6b). Výstupními komponentami bezpečnostní funkce jsou stykače Siemens 3RT2018. Zapojení odpovídá kategorii 2 dle ČSN EN ISO 13 849-1 (viz příloha C, str. 6b). Protokol vyhodnocení bezpečnostní funkce je přiložen v příloze D. [33]

5.4 Spínací přístroje

Ovládání MO je z důvodu minimální potřeby řízení při probíhající zkoušce (mikrospínač – viz kapitola 3.3.2) realizováno pouze stykači KM1 3 a KM 2 3 (viz příloha C, str. 6b, 6j).

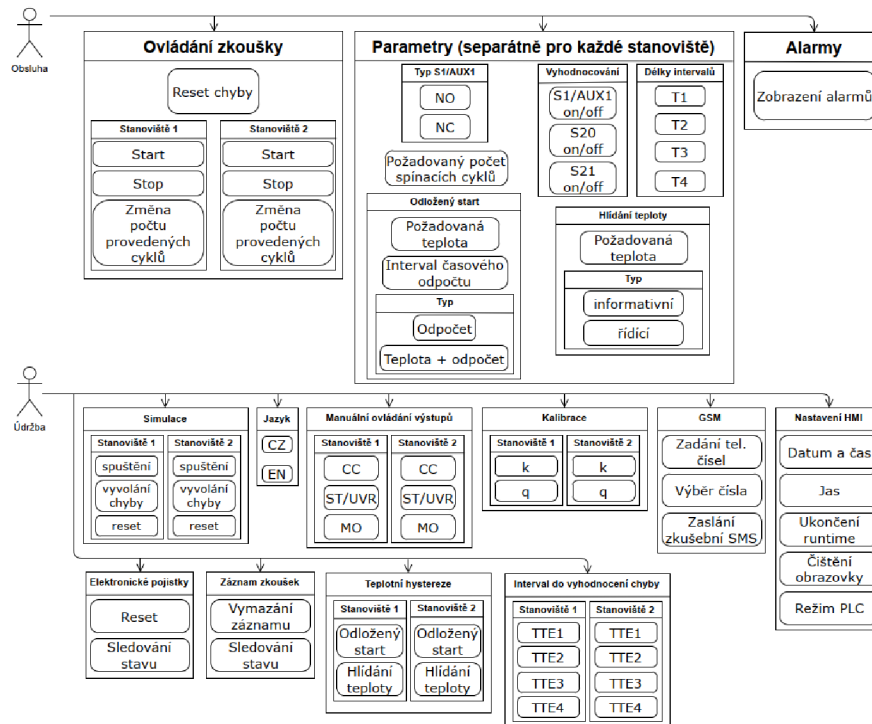
CC a ST/UVR jsou dodávány pro použití s různými hodnotami AC a DC napájecího napětí (viz obr. 19, obr. 20), přičemž spínací prvek musí být schopen spínat napětí velikostí až 277,2 V DC a 456,5 V AC (viz tab. 7) a spínat proudy velikostí až 12,5 A (pro 24 V DC – viz obr. 19, obr. 20). Z důvodu velkého množství provedených spínacích cyklů během zkoušek je kladen požadavek na vysokou životnost spínacích prvků. Výše uvedená kritéria by bylo velmi obtížné splnit použitím mechanických spínacích prvků (relé, stykač). Z těchto důvodů je ovládání CC a ST/UVR na obou testovacích stanovištích realizováno pomocí modulů polovodičových relé SSR (viz příloha C, str. 6i). Moduly jsou navrženy jako DPS (viz příloha C, str. 6k) s SSR spínacím prvkem K1 (IXYS CPC1968J), indikací stavu LED1 a s obousměrnou TVS diodou D1 (Littelfuse 1.5KE480CA), která chrání zátěž a K1 proti přepětí. K1 byla zvolena z důvodu možnosti spínání AC i DC napětí o velikosti až 500 V při průchodu proudy o velikosti až 15 A (viz datasheet [34]).



Obrázek 27 – Spínací SSR prvky pomocných spouští

5.5 Diagramy struktury programu

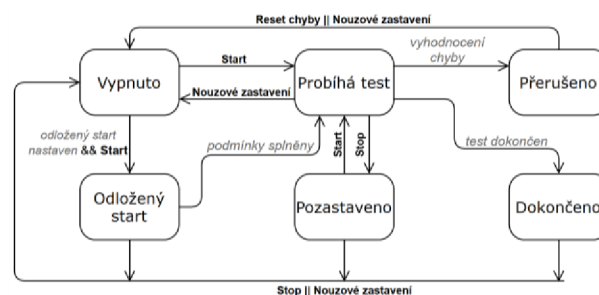
Use case diagram (viz obr. 28) popisuje funkcionalitu z pohledu možností obsluhování systému. Případy užití jsou rozděleny mezi aktéry, kterými jsou obsluha a údržba. Systém obsahuje dvě testovací stanoviště, jejichž ovládání a nastavování je navzájem nezávislé.



Obrázek 28 – Use case diagram

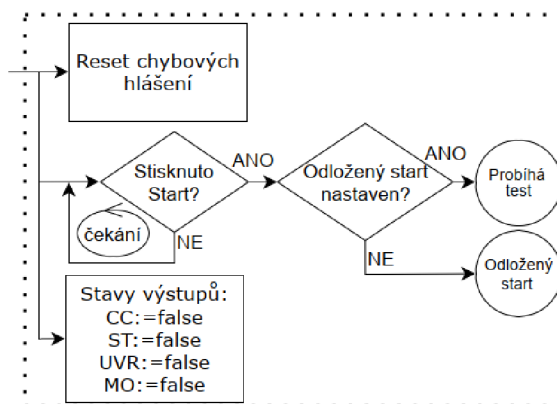
5.5.1 Diagramy testovací sekvence

Na obr. 29 je vyobrazen stavový diagram pro konkrétní stanoviště systému. Přesunout se ze stavu **Vypnuto** do stavu **Probíhá test** je možné pomocí tlačítka „Start“ nebo skrze stav **Odložený start**. Zkoušku je možné pozastavit, což znázorňuje stav **Pozastaveno**. V případě vyhodnocení chybového stavu testovaného jističe se systém přesune ze stavu **Probíhá test** do stavu **Přerušeno**. Do stavu **Vypnuto** se systém může dostat z kteréhokoliv stavu stisknutím tlačítka nouzového zastavení.



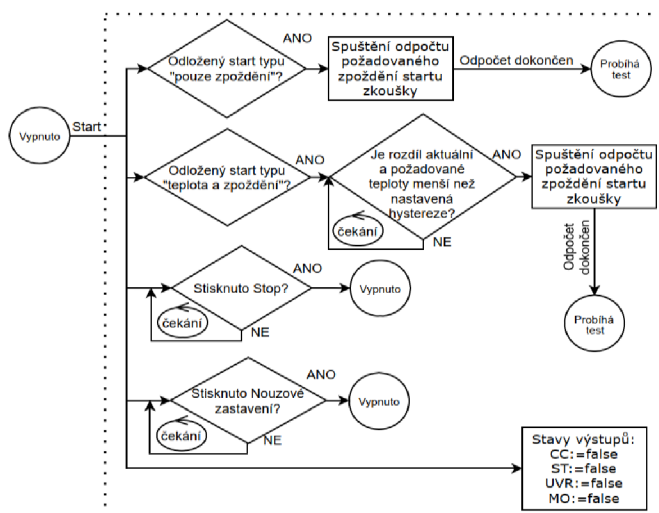
Obrázek 29 – Stavový diagram systému pro konkrétní stanoviště

Na obr. 30 je vyobrazena sekvence stavu **Vypnuto**. Jedná se o výchozí a konečný stav systému, ve kterém jsou vypnuty akční členy (CC, ST, UVR a MO) a jsou resetovány chyby testu.



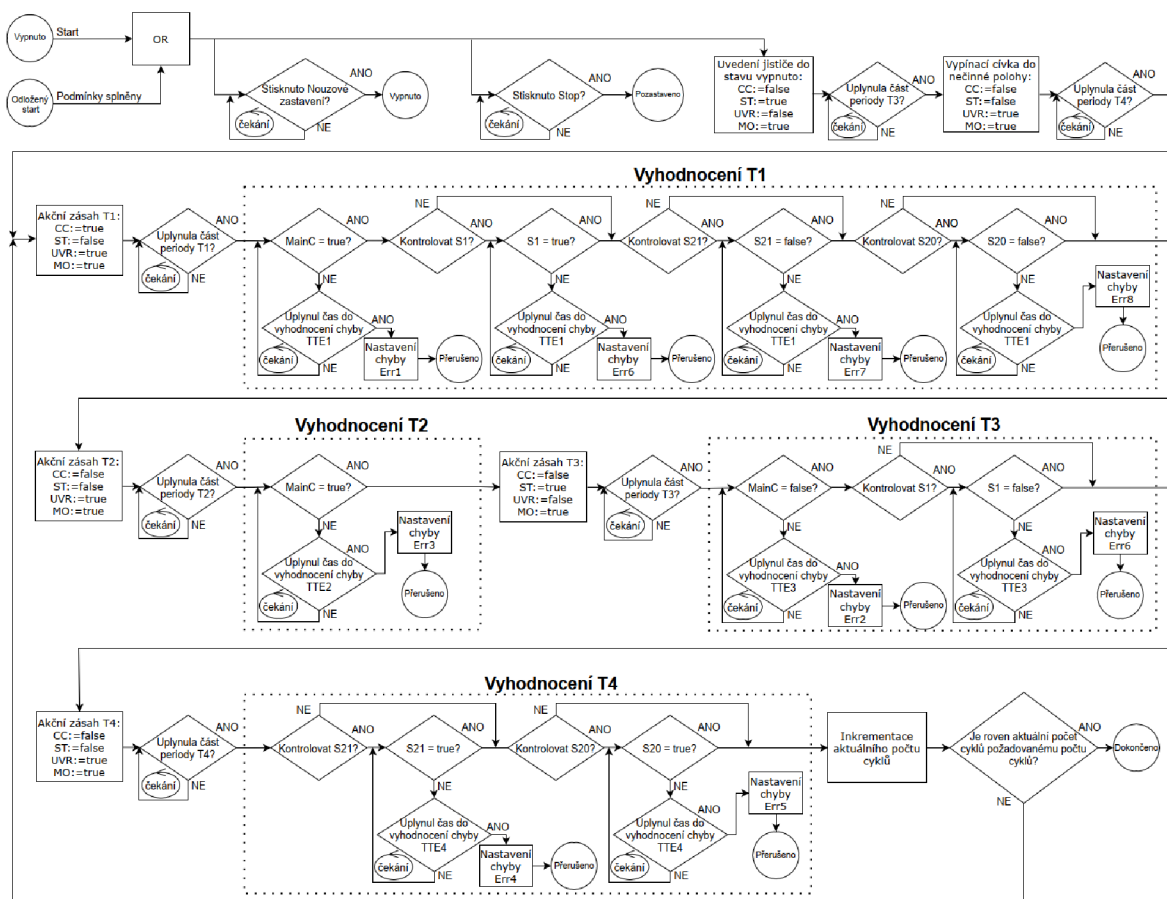
Obrázek 30 – Sekvence stavu Vypnuto

Odložený start je možné rozdělit na dvě podskupiny dle typu. Prvním typem je odložený start „pouze zpoždění“, kdy je uživatelem nastaven čas zpoždění, po jehož uplynutí dochází k přechodu do stavu **Probíhá test**. Druhým typem je „teplota a zpoždění“, kdy je k zapnutí časovače nutné, aby rozdíl požadované a měřené teploty byl nižší než nastavená hystereze.



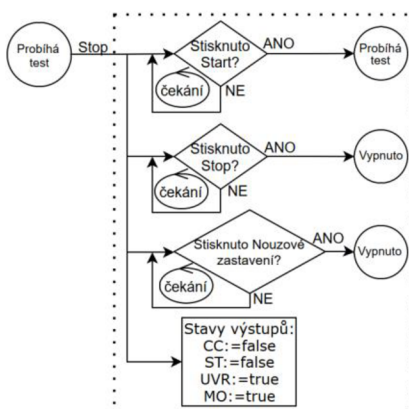
Obrázek 31 – Sekvence stavu Odložený start

Na obr. 32 je blokově popsána sekvence stavu **Probíhá test**. Přechod do stavu **Pozastaveno** je umožněn ve všech dílčích krocích sekvence. Testování je dokončeno, jestliže je dosaženo požadovaného počtu spínacích cyklů. V takovém případě nastává přechod do stavu **Dokončeno**. Sekvence cyklu se skládá z dílčích kroků akčních zásahů a vyhodnocování dílčích částí periody cyklu (T1 až T4)



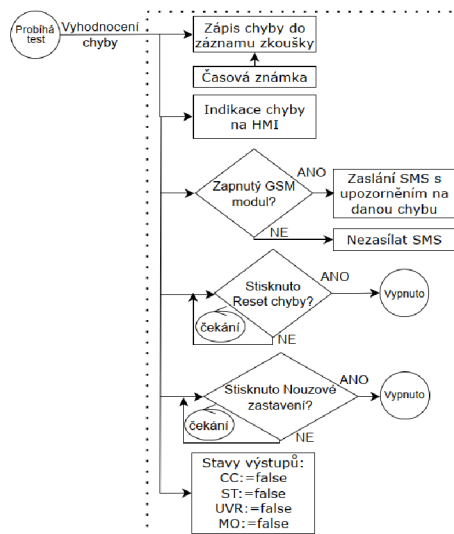
Obrázek 32 – Sekvence stavu Probíhá test

Pozastaveno je stav, ve kterém jsou pomocné spouště nastaveny do nečinných stavů. Návrat zpět do stavu Probíhá test je realizován na pozici naposledy provedeného akčního zásahu dané části perrody (T1 až T4).



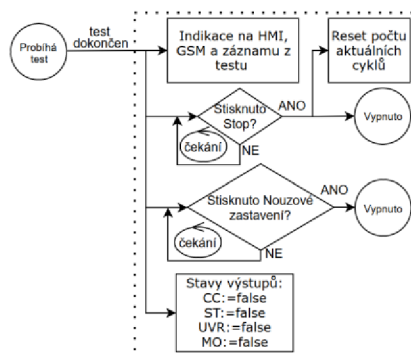
Obrázek 33 – Sekvence stavu Pozastaveno

Na obr. 34 je blokově popsána sekvence stavu Přerušeno. Jedná se o stav systému, ve kterém jsou vypnuty akční členy a uživatel je informován o chybách testu.



Obrázek 34 – Sekvence stavu Přerušeno

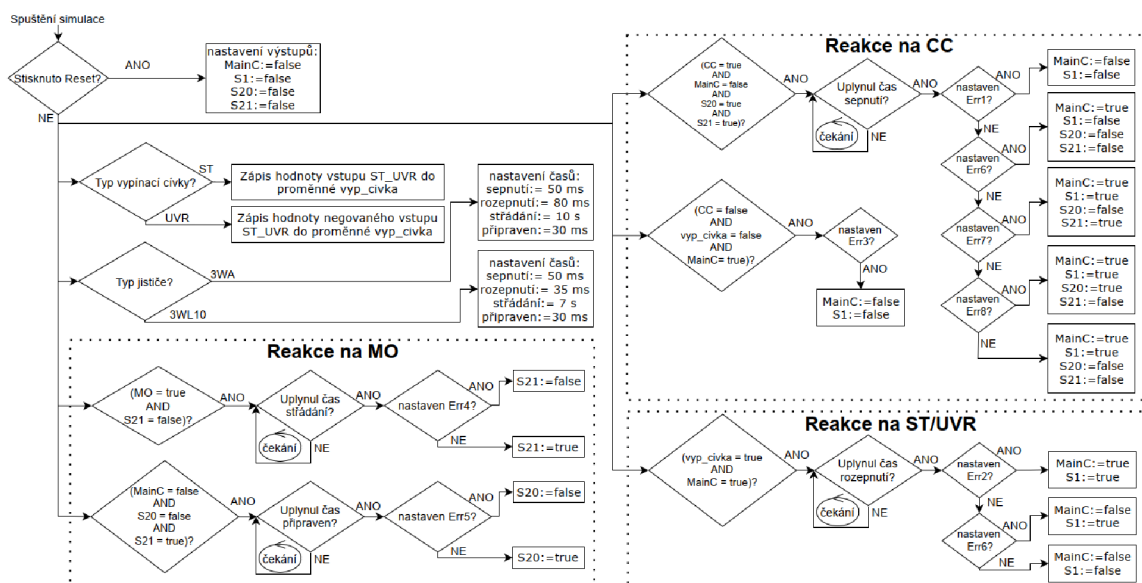
Dokončeno je stav, ve kterém jsou vypnuty akční členy testovaného jističe. Přejít do tohoto stavu ze stavu Probíhá test je podmíněn splněním požadavku dokončení požadovaného počtu spínacích cyklů. Přejít do stavu Vypnuto je realizován stisknutím tlačítka „Stop“, přičemž tímto úkonem je aktuální počet cyklů nastaven na hodnotu 0.



Obrázek 35 – Sekvence stavu Dokončeno

5.5.2 Diagram funkce simulátoru jističe

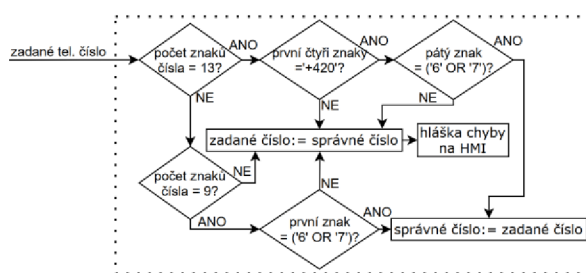
Pro potřeby testování vytvářeného programového vybavení a později i pro potřeby ověřování funkčnosti byl naprogramován simulátor jističe Sentron, který je schopen nastavovat virtuální hlavní kontakty, PSS a AUX spínače na patřičné hodnoty dle stavů virtuálních pomocných spouští (CC, ST, UVR) a MO. Odezvy simulátoru na stavy vstupů (pomocné spouště, MO) jsou naprogramovány s ohledem na reálné zpoždění mechanických komponent fyzického jističe a s ohledem na vybraný typ jističe. Hodnoty zpoždění byly převzaty z dokumentací jističů (viz kapitola 3.3.1, obr. 19, 20 a kapitola 3.3.2, obr. 22). V simulátoru je možné vyvolávat chybové stavy virtuálního jističe. Popisy vyvolaných chybových stavů v diagramu (viz obr. 36) odpovídají terminologii popsané v kapitole 5.1.



Obrázek 36 – Diagram simulátoru jističe Sentron

5.5.3 Diagram korekce zadaného tel. čísla

Pro komunikaci s GSM modulem slouží knihovní funkční blok LSmsSR_SndSms (podrobněji viz kapitola 5.6.2). Pro tento funkční blok bylo nutné vytvořit dílčí funkce pro korekci a nastavení parametrů SMS zprávy (výběr tel. čísla, text zprávy, příznak pro akci zaslání atd.). Jednou z těchto dílčích funkcí je korekce uživatelem zadaného tel. čísla. Funkce je vytvořená v souladu s čísly přidělenými Českým telekomunikačním úřadem pro přístup k veřejné mobilní komunikační síti (viz [37]). Tomuto odpovídá nutnost zadání správné předvolby pro ČR a správného prvního znaku samotného tel. čísla (viz obr. 37). V případě chybně zadaného tel. čísla je číslo přepsáno posledním korektně zadaným tel. číslem a uživateli je tato skutečnost oznámena hláškou na HMI panelu.



Obrázek 37 – Diagram korekce telefonního čísla

5.6 Programové vybavení

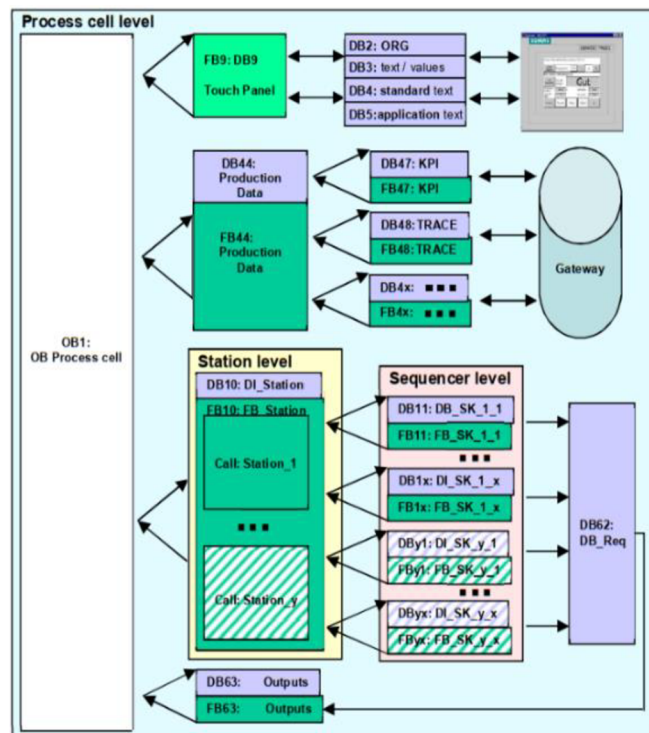
Konstruované zařízení popisované v praktické části této práce je vyvíjeno za účelem uplatnění v prostorách firmy OEZ. Přáním zákazníka bylo, aby programové vybavení bylo vytvořeno v souladu s vnitropodnikovým standardem Tool S7. Tento standard byl vyvinut pro použití s PLC řady Simatic S7-300, S7-1500 a ET 200SP. Z důvodů

popsaných v kapitole 5.2.1 muselo být pro řízení zvoleno PLC řady Simatic S7-1200. Standard Tool S7 používá datové typy (např. ANY), které nejsou pro PLC řady S7-1200 dostupné. Zároveň jsou některé klíčové FB standardu uzamčeny pro čtení a zápis (tzv. „know-how protection“). Bez znalosti hesla k odemknutí není možné tyto FB upravit, tak aby byly použitelné pro PLC řady S7-1200. Z těchto důvodů je programové vybavení vytvářeno se záměrem, aby se strukturou a popisem co možná nejlépe podobalo originálnímu standardu Tool S7. [38]

5.6.1 Stručný popis standardu Tool S7

Program je vytvářen úpravou předdefinovaných bloků. Jsou zavedeny pojmy procesní buňka, stanice a sekvencer. Procesní buňka může obsahovat několik na sobě navzájem nezávislých stanic, které mají vlastní sekvencery. Počet sekvencerů stanice je roven počtu paralelně probíhajících procesů. Sekvencer je tvořen sekvencemi kroků a výchozí pozicí.

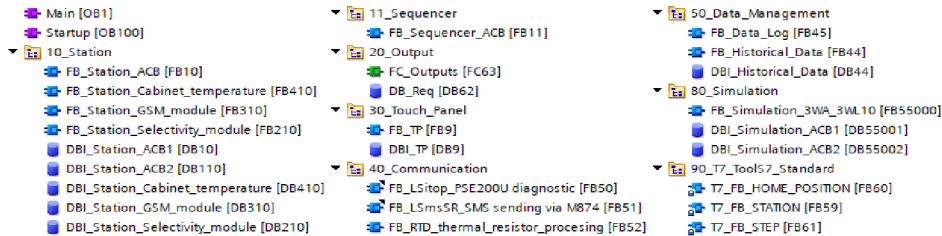
V předdefinovaných blocích je nutné nastavit I/O, nastavit jména výstupů v DB62, nastavit popisy na HMI panelu (DB2, DB3, DB4, DB5), definovat funkce pro ovládání HMI panelu (FB9), přiřadit výstupy a navrhnout ochrany proti případným kolizím ve FB63. Dále je nutné definovat stanice, jejich standardizovaný řídicí blok (FB59), sekvencery a vytvořit dílčí funkce pro danou aplikaci. U sekvencerů je nutné definovat standardizovanými bloky výchozí pozici (FB60) a vytvářet jednotlivé kroky sekvenceru (FB61). Standard dále umožňuje vzájemnou výměnu dat s výrobními databázemi (FB44 až FB48). [38]



Obrázek 38 – Struktura bloků standardu, převzato z [38] (upraveno)

5.6.2 Struktura a popis programu

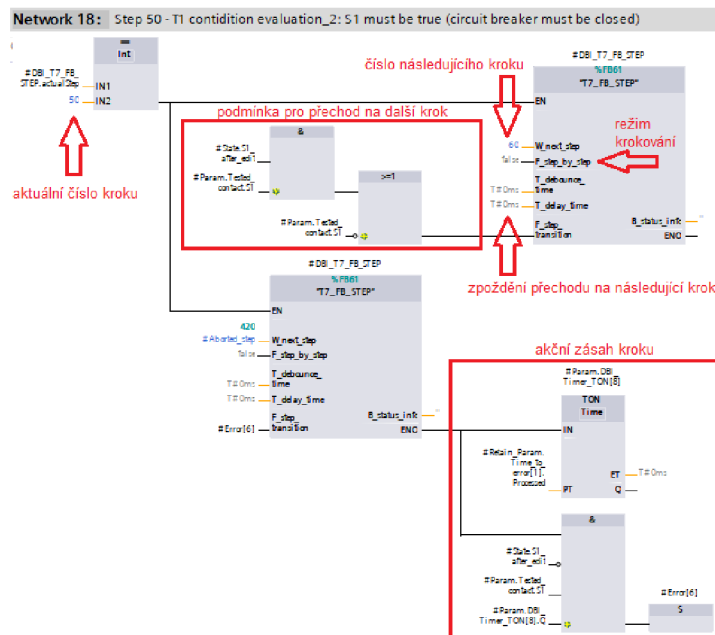
Program je vytvořen převážně pomocí programovacího jazyku FBD a částečně pomocí jazyku SCL. Jazyk FBD byl využíván primárně z důvodu jeho dobré znalosti místními údržbáři a programátory. Případné úpravy programového vybavení pracovníkem, který není autorem původního kódu by z tohoto důvodu měly být snazší.



Obrázek 39 – Struktura programu

Zařízení se skládá z pěti stanic. První dvě stanice tvoří multi-instance testovacích stanovišť jističů ACB (FB10; DB10, DB110). Dále zde jsou stanice pro řízení modulu elektronických pojistek Sitop (FB210; DB210), zaslání SMS zpráv (FB310; DB310) a řízení teploty uvnitř rozvaděče (FB410; DB410).

Manuální režim ovládání CC, ST / UVR a MO obou stanovišť je implementován ve funkci FC63. Stanicím testovacích stanovišť jističů jsou přiřazeny sekvencery (FB11). Datové bloky sekvencí FB11 a řídicích bloků (FB60, FB61) jsou řešeny formou instance v DB10 (stanoviště 1) a DB110 (stanoviště 2). Řídicí bloky (FB59, FB60, FB61) pro adaptaci originálního standardu Tool S7 v PLC řady S7-1200 byly převzaty od kolegy z O EZ.

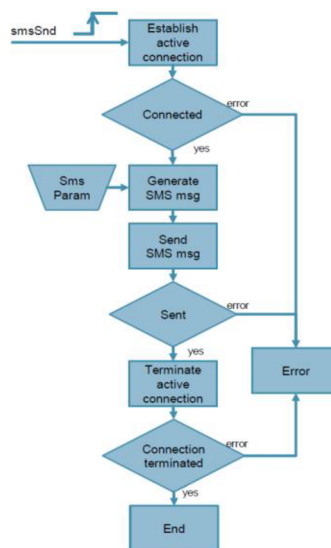


Obrázek 40 – Krok sekvencery

Na obr. 40 je popsán jeden krok sekvenceru. V jednom kroku může být použito více řídicích funkcí FB61, což způsobí větvení sekvence. Krok obsahuje podmínky pro přechod na následující krok, instrukce prováděné při aktivaci kroku (akční zásah kroku), číslo následujícího kroku a zpoždění přechodu na následující krok.

Stanice řízení modulu elektronických pojistek FB210 využívá knihovní funkční blok pro komunikaci s modulem Sitop PSE200U (FB50). V této stanici jsou dílčí funkce pro vizualizaci stavu napájení zátěží a řízení zapnutí zátěží po výpadku.

Stanice zasílání SMS FB310 využívá knihovní funkční bloky pro komunikaci s GSM modulem (FB51). Sekvence tohoto knihovního funkčního bloku je popsána níže uvedeným diagramem (viz obr. 41). Ve stanici zasílání SMS FB310 probíhá korekce zadaných tel. čísel, výběr primárního a sekundárního čísla pro zaslání SMS, nastavení textu SMS zprávy a nastavení příznaku pro zaslání SMS.



Obrázek 41 – Diagram funkčního bloku pro zasílání SMS, převzato z [36]

Stanice řízení teploty uvnitř rozvaděče FB410 zajišťuje dvoustavovou regulaci s hysterezí pro odvod tepla ze zařízení pomocí ventilátoru. Zpracování a kalibrace měřené teploty jsou zajištěny funkčním blokem FB52.

Záznam z testování ukládaný na paměťovou kartu PLC je vytvářen knihovním funkčním blokem FB45. Tento funkční blok je řízen FB44, ve kterém jsou zpracovávány texty zapisovaných událostí záznamu z testování a dále nastavovány parametry záznamu.

5.7 Uživatelské rozhraní

Ovládání uživatelského rozhraní je rozděleno na sekce funkcí dostupných obsluze a funkcí dostupných údržbě (viz obr. 28). Funkce dostupné údržbě jsou přístupné po zadání hesla.

Pohyb po obrazovkách uživatelského rozhraní HMI je realizován tlačítky domů a adresář. Tyto tlačítka jsou umístěna na horních rozích všech obrazovek. Tlačítko domů realizuje návrat na hlavní obrazovku. Tlačítko adresář realizuje přesun na obrazovku s výpisem všech dostupných obrazovek (viz kapitola 5.7.3).



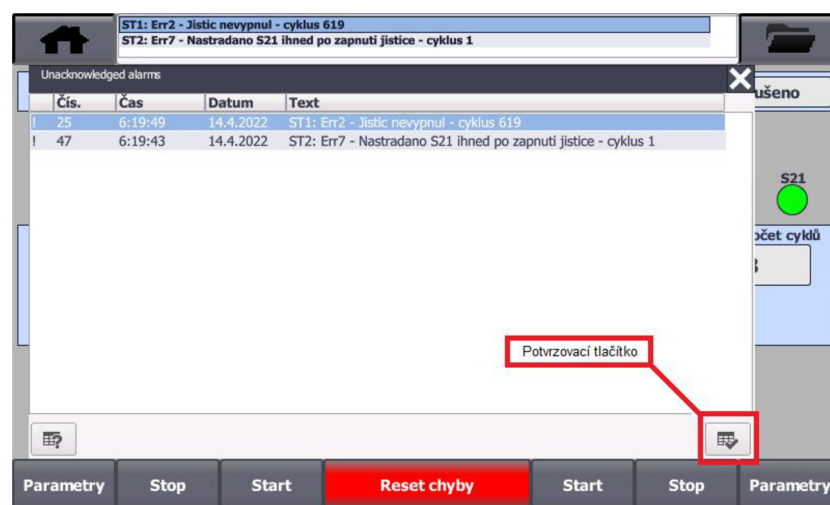
Obrázek 42 – Tlačítka „domů“ a „adresář“

Tlačítka na obrazovkách uživatelského rozhraní mají tři stavy. Šedá nesvítilící tlačítka indikují neaktivitu stavů, které reprezentují. Svítící tlačítka indikují aktivitu stavů, které reprezentují. Blikající tlačítka vyžadují akci obsluhy.



Obrázek 43 – Stavy tlačítek

Editovatelné hodnoty parametrů jsou na obrazovkách podbarveny čistě bílým pozadím. Parametry, které není možné editovat mají světle šedé pozadí.

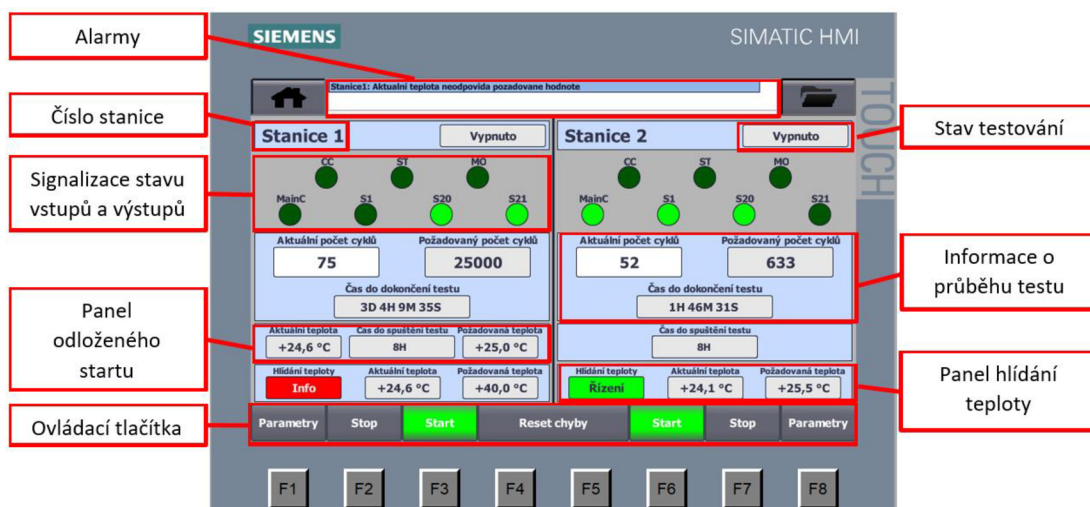


Obrázek 44 – Potvrzení kritického alarmu

Alarmy jsou rozděleny do dvou skupin. První skupinou jsou alarmy nekritické (informativní), jimiž jsou např. odpojení teplotního senzoru, hláška funkce hlídání teploty upozorňující na neodpovídající teplotu a další. Text alarmu je zobrazen na obrazovce alarmů a na hlavní obrazovce. Druhou skupinou jsou alarmy kritické, jimiž jsou vyhodnocení chyby testovaného jističe, stisknutí tlačítka nouzového vypnutí, výpadek elektronické pojistky a další. Tyto alarmy je nutné potvrdit, odstranit jejich příčinu (např. deaktivace tlačítka nouzového vypnutí atd.) a poté stisknout tlačítko `reset chyby`, čímž je alarm smazán. Neplatný kritický alarm zůstane zobrazený, pokud nebylo stisknuto potvrzovací tlačítko (např. byl stisknut pouze křížek uzavírající potvrzovací menu).

5.7.1 Hlavní obrazovka

Jedná se o výchozí obrazovku, která je dostupná po zapnutí zařízení a načtení HMI panelu. Na obrazovce jsou k dispozici ovládací a signalizační prvky pro řízení automatizovaného testu mechanické trvanlivosti. Obrazovka je vlivem zobrazení dvou stanovišť rozdělena na poloviny, přičemž ovládací a signalizační prvky jsou pro obě stanoviště identické. Jediným nastavitelným parametrem na této obrazovce je hodnota aktuálního počtu cyklů. Panel odloženého startu a panel hlídání teploty je zobrazen pouze pokud je jeho funkce povolena na obrazovce parametrů (viz kapitola 5.7.2). Pokud se stanoviště nachází ve stavu odloženého startu, tak je červeně podbarven text parametru (aktuální teploty, času do spuštění testu), který nesplňuje podmínku pro přechod do stavu probíhá test. Podbarvení pozadí typu funkce hlídání teploty je závislé na splnění podmínky, kdy je aktuální teplota s tolerancí nastavené hystereze rovna požadované teplotě. Pozadí zbarveno červeně, pokud podmínka není splněna. V opačném případě je pozadí zbarveno zeleně. Tlačítka `start`, `stop` a `parametry` má každé stanoviště vlastní. Tlačítko `reset chyby` je pro obě stanice společné. Tlačítka tvořící spodní lištu obrazovky mohou být ovládána také fyzickými klávesami F1 až F8.

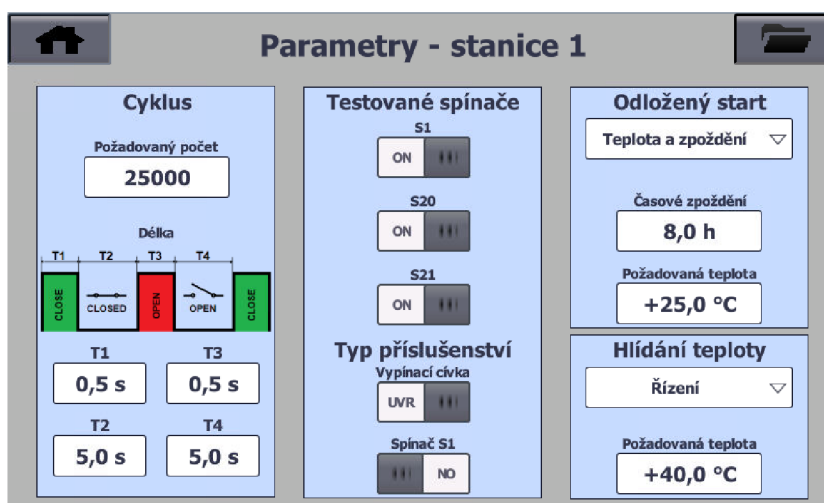


Obrázek 45 – Hlavní obrazovka

5.7.2 Parametry testu

Na obrazovce parametrů testu je možné nastavovat

- požadovaný počet cyklů,
- dílčí části periody cyklu T1 až T4,
- testování pomocných spínačů,
- výběr typu vypínací cívky,
- výběr typu pomocného spínače S1,
- odložený start – typ / vypnutí,
- odložený start – časové zpoždění,
- odložený start – požadovanou teplotu,
- hlídání teploty – typ / vypnutí,
- hlídání teploty – požadovanou teplotu.



Obrázek 46 – Obrazovka parametrů testu

Funkce hlídání teploty je rozdělena na typy `info` a `řízení`. V případě, kdy rozdíl aktuální a požadované teploty není nižší než nastavená hystereze, tak typ `info` pouze informuje uživatele prostřednictvím upozorňovacího alarmu, zápisu do záznamu z testu a případně zašle SMS zprávu. Typ `řízení` informuje stejně jako typ `info` a dále pozastaví test. Testování je opětovně spuštěno až tehdy, pokud je teplotní podmínka splněna. Pokud je test pozastaven funkcí hlídání teploty, tak není možné zkoušku uživatelským zásahem opětovně spustit tlačítkem start. V případě potřeby opětovného spuštění zkoušky uživatelským zásahem navzdory nesplněné teplotní podmínce je nutné funkci hlídání teploty nejprve vypnout.

5.7.3 Adresář

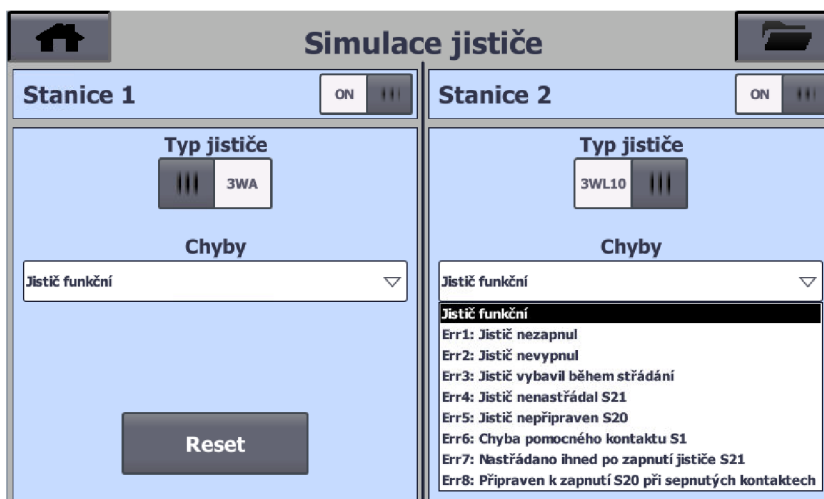
Na této obrazovce jsou umístěny tlačítka, která odpovídají dostupným obrazovkám uživatelského prostředí. Stisknutím tlačítka je realizován přechod na vybranou obrazovku. Obrazovky určené pro údržbu je nejprve nutné odemknout zadáním hesla.



Obrázek 47 – Obrazovka adresář

5.7.4 Simulace jističe

Zařízení je možné provozovat bez fyzicky připojených testovaných jističů. Na obrazovce je možné vybrat typ simulovaného jističe a případně typ chyby, která má být simulována (podrobněji viz kapitola 5.5.2).



Obrázek 48 – Obrazovka simulátoru jističe

5.7.5 Záznam zkoušek

Na obrazovce záznamu zkoušek je možné vypnout funkci zaznamenávání událostí, vymazat doposud uložené události, sledovat status funkce a celkový počet záznamů. Pro jednotlivé stanice jsou zaznamenávány:

- provedené změny hodnot parametrů,
- chybové hlášky,
- počet aktuálně provedených cyklů,
- stavy stanovišť.



Obrázek 49 – Obrazovka záznamu zkoušek

K uloženému záznamu je možné přistupovat skrze webové rozhraní PLC., které je k dispozici na IP adrese 192.168.1.2. Po načtení rozhraní jsou vyžadovány přihlašovací údaje. Záznam je dostupný na kartě `Data Logs`.

460	04/06/2022	10:15:51	ST2: Err7 - Nastradano S21 ihned po zapnuti jistice - cyklus 0
461	04/06/2022	10:15:56	ST1: Err4 - Jistic nenastradal S21 - cyklus 27
462	04/06/2022	10:16:06	Stanice2: Neaktivni
463	04/06/2022	10:16:21	Stanice1: Test spusten
464	04/06/2022	10:16:22	Stanice2: Test spusten
465	04/06/2022	10:16:37	ST1: Err1 - Jistic nezapnul - cyklus 27
466	04/06/2022	10:16:38	ST2: Err3 - Jistic rozpojen v prubehu stradani - cyklus 0
467	04/06/2022	10:16:55	Stanice2: Neaktivni
468	04/06/2022	10:17:05	Stanice1: Test spusten
469	04/06/2022	10:17:05	Stanice2: Test spusten
470	04/06/2022	10:17:16	Stanice1: Zmena hodnoty - Aktualni cyklus testu = 28
471	04/06/2022	10:17:16	Stanice2: Zmena hodnoty - Aktualni cyklus testu = 1
472	04/06/2022	10:17:26	Stanice2: Test pozastaven
473	04/06/2022	10:17:27	Stanice1: Zmena hodnoty - Aktualni cyklus testu = 29
474	04/06/2022	10:17:30	Stanice2: Neaktivni
475	04/06/2022	10:17:38	Stanice1: Zmena hodnoty - Aktualni cyklus testu = 30
476	04/06/2022	10:17:42	Stanice2: Zmena hodnoty - Casove zpozdeni odlozeneho startu = +0.100 h
477	04/06/2022	10:17:45	Stanice2: Zmena hodnoty - Pozadovana teplota odlozeneho startu = +26.000 *C

Obrázek 50 – Ukázka záznamu z testu

Záznam z testování tvoří soubor `Historical_data`. Počet řádků záznamu odpovídá počtu zaznamenaných událostí. Maximální počet řádků je nastaven na hodnotu 100 000. Po dosažení tohoto počtu řádků se časově nejstarší záznamy začínají přepisovat záznamy novými. Sloupce záznamu se skládají z indexu daného řádku, časové známky a popisu zaznamenané události.

5.7.6 Alarmy

Na obrazovce je zobrazena historie alarmů. První sloupec odpovídá číslu chyby. Ve čtvrtém sloupci jsou uvedeny stavy alarmů.

Tabulka 13 – Stav alarmů

Označení	Popis
I	Nekritický alarm aktivní
IO	Nekritický alarm neaktivní
IA	Kritický alarm aktivní
IAO	Kritický alarm neaktivní

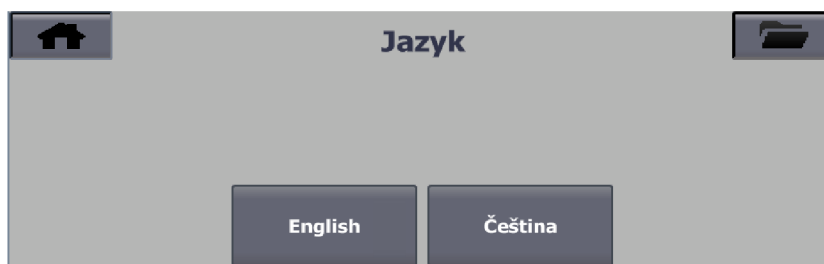


Čís.	Čas	Datum	Stav	Text
31	5:59:38	6.4.2022	IAO	ST1: Err8 - Pripraven S20 pri zapnutem jistici - cyklus 1
19	5:59:38	6.4.2022	I	Stanice1: Neaktivni
44	5:59:38	6.4.2022	IAO	ST2: Err4 - Jistic nenastradal S21 - cyklus 4
36	5:59:38	6.4.2022	I	Stanice2: Neaktivni
44	5:59:35	6.4.2022	IA	ST2: Err4 - Jistic nenastradal S21 - cyklus 4
31	5:59:34	6.4.2022	IA	ST1: Err8 - Pripraven S20 pri zapnutem jistici - cyklus 1
20	5:58:16	6.4.2022	IO	Stanice1: Test spusten
31	5:58:16	6.4.2022	I	ST1: Err8 - Pripraven S20 pri zapnutem jistici - cyklus 1
37	5:58:01	6.4.2022	IO	Stanice2: Test spusten
44	5:58:01	6.4.2022	I	ST2: Err4 - Jistic nenastradal S21 - cyklus 4
36	5:57:05	6.4.2022	IO	Stanice2: Neaktivni
37	5:57:05	6.4.2022	I	Stanice2: Test spusten
19	5:57:03	6.4.2022	IO	Stanice1: Neaktivni
20	5:57:03	6.4.2022	I	Stanice1: Test spusten
19	5:54:29	6.4.2022	I	Stanice1: Neaktivni
36	5:54:29	6.4.2022	I	Stanice2: Neaktivni

Obrázek 51 – Obrazovka alarmů

5.7.7 Výběr jazyků

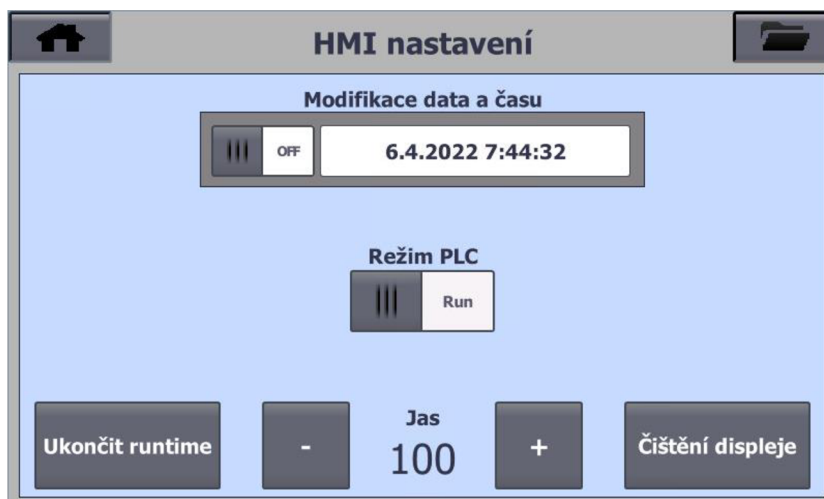
Uživatelské prostředí je dostupné v českém a anglickém jazyce.



Obrázek 52 – Obrazovka jazyků

5.7.8 HMI nastavení

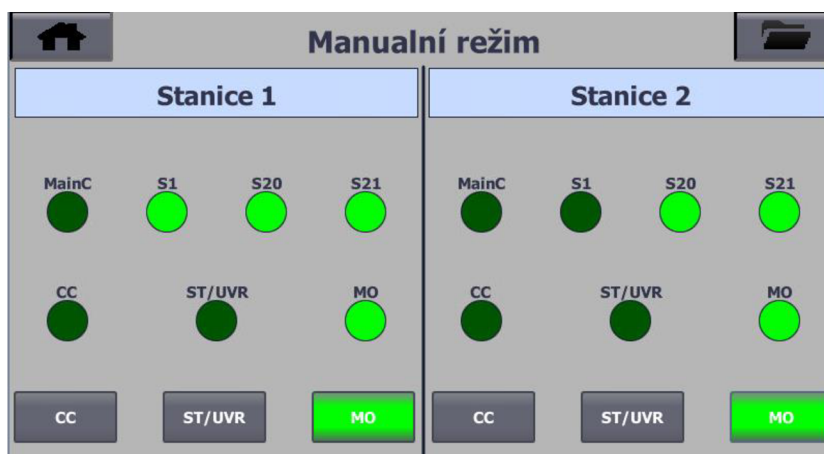
Na obrazovce nastavení HMI je možné nastavovat datum, čas, režim PLC a jas displeje. Datum a čas je možné nastavovat pouze pokud je přepínač v poloze ON. Po nastavení je nutné přepínač přepnout opět do polohy OFF. Jas obrazovky je možné nastavovat s krokem 10 % od 10 % do 100 %. Dále jsou na obrazovce tlačítka umožňující ukončit runtime HMI a vyčistit displej (bílá obrazovka po dobu 30 s).



Obrázek 53 – Obrazovka nastavení HMI

5.7.9 Manuální režim

Na obrazovce manuálního režimu je možné ovládat výstupy a sledovat stavy vstupů. Zobrazením obrazovky manuálního režimu se automatizovaný test přepne do stavu vypnuto. Po opuštění obrazovky manuálního režimu jsou výstupy resetovány. Případný dříve spuštěný automatizovaný test je nutné opětovně spustit.



Obrázek 54 – Obrazovka manuálního režimu

5.7.10 Nastavení GSM modulu

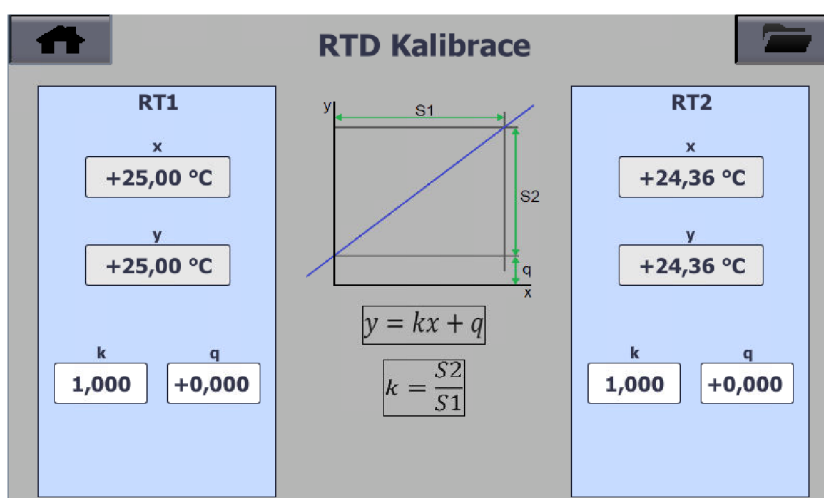
Na obrazovce je možné nastavit pět telefonních čísel, ze kterých je dále možné vybrat primární a sekundární tel. číslo pro zasílání SMS s informacemi o stavu testu a vyhodnocených chybách. V případě chybně zadaného tel. čísla je uživatel upozorněn kritickým alarmem a chybně zadané tel. číslo je změněno na poslední správně zadané tel. číslo. Nastavení je možné ověřit zasláním testovací SMS zprávou s uživatelsky nastavitelným textem. Funkci GSM modulu je možné vypnout přepínačem GSM status.



Obrázek 55 – Obrazovka nastavení GSM modulu

5.7.11 Kalibrace RTD teplotních senzorů

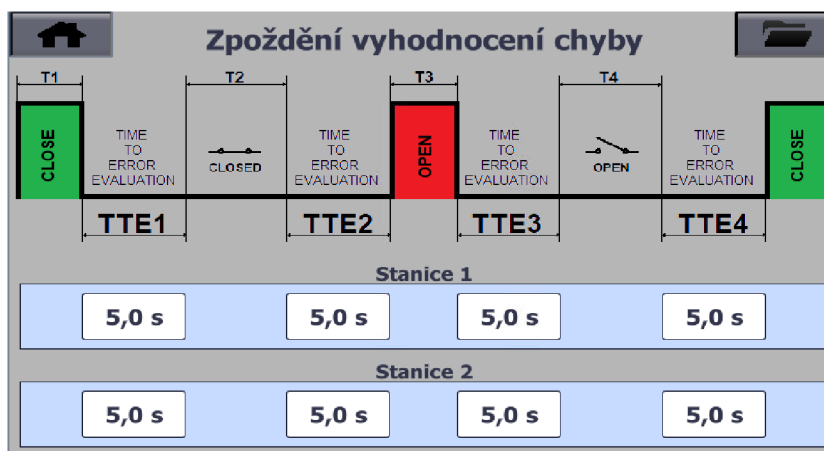
Kalibraci je možné provádět pomocí parametrů rovnice přímky (k a q). Na obrazovce je možné sledovat hodnoty vstupní (x) a výsledné (y) hodnoty kalibované teploty.



Obrázek 56 – Obrazovka kalibrace RTD teplotních senzorů

5.7.12 Zpoždění vyhodnocení chyby

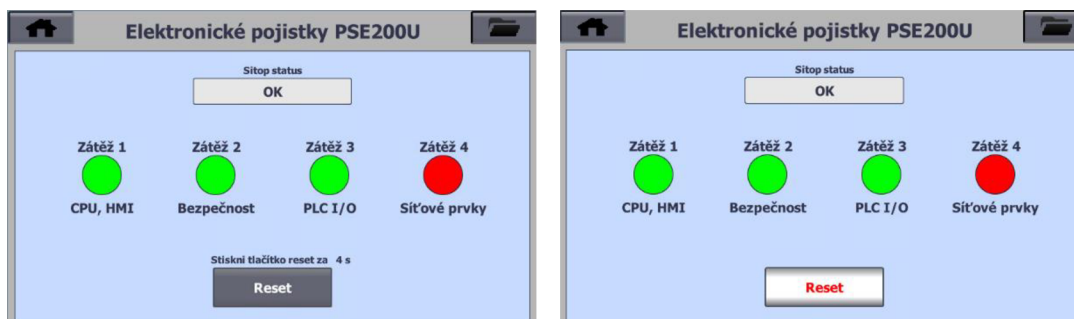
Na obrazovce je možné editovat délku časových intervalů TTE (viz kapitola 5.1).



Obrázek 57 – Obrazovka zpoždění vyhodnocení chyby

5.7.13 Elektronické pojistky PSE200U

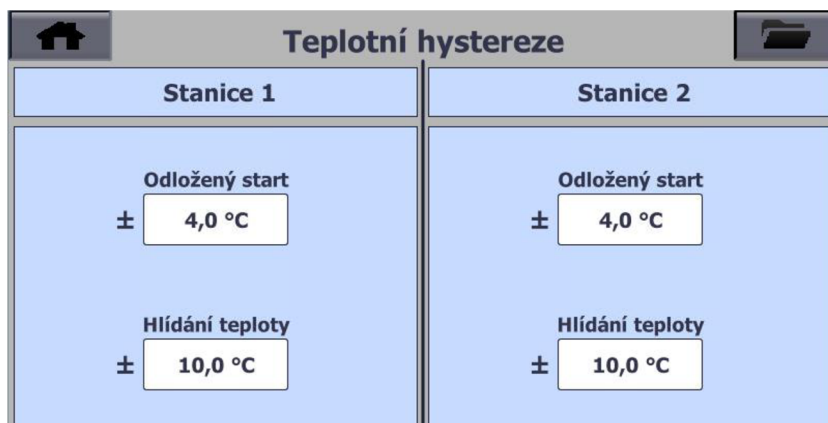
Jedná se o obrazovku, na které je možné sledovat stav jednotlivých napájených okruhů zařízení a zároveň resetovat výpadky napájení. Obnovení napájení je možné provést po uplynutí 20 s od vzniku výpadku.



Obrázek 58 – Obrazovka elektronických pojistek

5.7.14 Nastavení teplotní hystereze

Teplotní hystereze reprezentuje tolerovaný rozdíl mezi požadovanou a aktuální (měřenou) teplotou. Hodnoty hystereze musí být zvoleny v závislosti na znalosti přesnosti řízení teploty klimatické komory a přesnosti měřícího řetězce teploty (RT1, RT2). V případě zadání příliš malých tolerančních hodnot hystereze mohou nastat situace, kdy nemohou být splněny podmínky z důvodu nepřesností (např. není možný přechod ze stavu odložený start do stavu probíhá test).



Obrázek 59 – Obrazovka nastavení teplotní hystereze

6. OVĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ FUNKČNOSTI

Po zkonstruování a ověření funkčnosti bylo zařízení převezeno na měrové oddělení, kde byla kalibrovaným měřidlem ověřena správná funkce čítače cyklů. Poté bylo zařízení v rámci zkušebního provozu nasazeno k provedení zkoušky trvanlivosti vývojového prototypu jističe 3WL13. Pro zkoušku byl záměrně vybrán jistič s problematickým MO, aby bylo možné ověřit správné vyhodnocení chyby jističe testovacím zařízením. Zadání dílčího testu dle testovacího plánu (podrobněji viz kapitola 4.2) bylo provedení 1000 cyklů v klimatické komoře při teplotě $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po nastavení hodnot dílčích parametrů periody cyklu (T1 až T4) byl nastaven odložený start testu s podmínkou dosažení teploty $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ s hysterezí $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a s časovým zpožděním startu testu 5 hodin. Při cyklu 161 byla vyhodnocena chyba 4 (jistič nenastrádal). Tato chyba se několikrát opakovala do cyklu 196, kdy se MO testovaného jističe nenávratně poškodil. Po výměně MO testovaného jističe test pokračoval, načež byl úspěšně dokončen. Zařízení úspěšně odhalilo závady na testovaném jističi a patřičně informovalo uživatele.



Obrázek 60 – Dílčí vývojová zkouška jističe 3WL13

Dalším úkonem v rámci zkušebního provozu byla zkouška pro ověření kvality výroby jističe 3WL10. Zadání dílčí zkoušky dle testovacího plánu bylo provedení 1000 cyklů v klimatické komoře při teplotě $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Byl nastaven odložený start testu s podmínkou dosažení uvedené teploty a s časovým zpožděním startu testu 8 hodin. Po uplynutí zpoždění odloženého startu byl test spuštěn. V průběhu testu nenastala žádná závada na testovaném jističi.



Obrázek 61 – Dílčí zkouška kvality výroby jističe 3WL10

Záznamy obou zkoušek jsou součástí přílohy A. V rámci zkušebního provozu byla prokázána spolehlivost konstruovaného zařízení. Aktuálně je zařízení předané zákazníkovi. Za období, co je zařízení provozováno nebyla objevena jediná závada, či chyba programového vybavení.

7. ZÁVĚR

Kapitola 2 se zabývá rešerší jističů nízkého napětí. Rešerše se skládá z rozčlenění jističů, popisu základních parametrů, vypínacích charakteristik a popisu konstrukčních částí jističe. Rozčlenění jističů je popsáno dle konstrukce, vypínacího média a dle normativních požadavků. Vypínací charakteristiky byly rozčleněny na pět oblastí, přičemž ke každé oblasti byl uveden její účel a způsob nastavování parametrů. Konstrukční části jističe byly rozděleny na části vedoucí elektrický proud, izolační části, mechanismy, zhášedla, nadproudové spouště a na výzbroj. Byl vysvětlen princip jejich funkce a účel.

V kapitole 3 je zpracována rešerše zabývající se popisem jističů Sentron 3WL a 3WA. Rešerše staví na znalosti informací uvedených v kapitole 2. Kapitola se snaží důkladně popsat rozdíly mezi vlastnostmi, parametry a konstrukcí rozdílných dílčích typů těchto jističů. Jsou popsány mezní hodnoty jističů, stavy jističe, základní členění dle velikosti a je popsáno umístění ovládacích, signalizačních a konstrukčních prvků. Jsou porovnány dodávané druhy nadproudových spouští a dostupnost komunikačních a měřících funkcí. Velký důraz je kladen na popsání technických parametrů, vlastností, umístění a rozčlenění příslušenství jističů. V neposlední řadě jsou uvedeny výrobcem udávané mechanické trvanlivosti těchto jističů.

V kapitole 4 jsou vysvětleny pojmy mechanická trvanlivost a provozuschopnost. Dále jsou tyto pojmy rozděleny dle významu normativního, z pohledu řízení kvality a vývojových zkoušek.

Kapitola 5 se zabývá návrhem testovacího zařízení pro zkoušky mechanické trvanlivosti jističů 3WL a 3WA. Jsou popsány technická specifikace zařízení, časová souslednost cyklu zkoušky, architektura řízení, způsoby měření a vyhodnocování, bezpečnostní prvky, spínací přístroje, diagram popisující možnosti ovládání a nastavování, diagramy testovací sekvence, diagram popisující funkci simulátoru jističe a diagram popisující korekci telefonního čísla. V neposlední řadě je popsáno ovládání uživatelského rozhraní.

Kapitola 6 se zabývá ověřením funkčnosti navrhovaného zařízení. V rámci kapitoly jsou popsané dva dílčí testy jističů, které byly v rámci testovacího provozu provedeny

Výsledkem této diplomové práce je autorem vlastnoručně navržené, zkonstruované, oživené a předané testovací zařízení, které plně vyhovuje svému účelu dle zadání. Zařízení je plnohodnotně používáno pro testování mechanické trvanlivosti v prostorách zkušebny firmy OEZ s.r.o.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 60947-1 ed. 4. Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí – Část 1: Všeobecná ustanovení. Praha: Český normalizační institut. [cit. 15.11.2021]
- [2] HAVELKA, Otto. *Elektrické přístroje*. Praha: SNTL, 1985.
- [3] ŠIC, Pavel. Bilance elektrodynamických sil působících na kontakt elektrického přístroje [online]. Brno, 2016 [cit. 2021-11-07]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/58972>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Bohuslav Bušov.
- [4] ČSN EN 60947-2 ed. 4. Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí – Část 2: Jističe. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. [cit. 15.11.2021]
- [5] Siemens AG. SENTRON Protection, Switching, Measuring and Monitoring Devices – Industry Mall – Siemens [online]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Products/10005570?tree=CatalogTree>
- [6] MCB (Miniature Circuit Breakers) - Types, Working and Trip Curves. StudyElectrical.Com | Online Electrical Engineering Learning Site [online]. [cit. 17.11.2021]. Dostupné z: <https://studyelectrical.com/2014/07/miniature-circuit-breakers-mcb-types-characteristic-curves.html>
- [7] ČSN EN 60898-1. Elektrická příslušenství – Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací – Část 1: Jističe pro střídavý provoz (AC). Praha: Český normalizační institut [cit. 15.11.2021]
- [8] ČSN EN 60898-2 ed. 2. Elektrická příslušenství – Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací – Část 2: Jističe pro střídavý a stejnosměrný proud: Český normalizační institut [cit. 15.11.2021]
- [9] ČSN EN 60934 ed. 3. Jističe pro zařízení (CBE). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. [cit. 15.11.2021]
- [10] TVERDOCHLEB, Vladislav. IEC 60898-1 and IEC 60947-2: a tale of two standards. Schneider Electric Blog [online]. 6. února 2014 [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://blog.se.com/energy-regulations/2014/02/06/iec-60898-1-iec-60947-2-tale-two-standards/>
- [11] OEZ s.r.o. Katalog: Kompaktní jističe 3VA [online]. [cit. 17.11.2021]. Dostupné z: https://www.oez.cz/files/editor_source/Dokumenty/Katalogy/3va/oez_3va-mo01_2020_cz.pdf
- [12] OEZ s.r.o. Návod k použití: Podrobný návod k použití jističe Arion WL [online]. [cit. 17.11.2021]. Dostupné z: https://www.oez.cz/files/editor_source/Dokumenty/Katalogy/Vzduchove%20jisticke%20Arion/oez-arion-navod-991058b-z00.pdf
- [13] KIMBLIN, C.W a R.W LONG. Low-voltage power circuit breakers and molded case circuit breakers-a comparison of test requirements. In: 1999 IEEE Industrial

- and Commercial Power Systems Technical Conference (Cat. No.99CH36371) [online]. IEEE, 1999, 7 pp. [cit. 2021-11-19]. ISBN 0780355938. Dostupné z: doi:10.1109/ICPS.1999.787230
- [14] ESSER, Wolfgang. Molded case circuit breakers for applications in North America. Eaton Technical paper [online]. 2011 [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: http://www.moeller.net/binary/ver_techpapers/ver939en.pdf
- [15] Siemens AG. Configuration Manual: Miniature Circuit Breakers SENTRON [online]. [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:437a8419-5e99-4da3-a854-c0e4f041be58/Teknista-tietoa-johdonsuojista-englanti.pdf>
- [16] Siemens AG. Technical basic information: 3WL Air Circuit breakers. Industry Online Support [online]. Regensburg: Siemens, 2019 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109767789/technical-basic-information-%E2%80%93-3wl-air-circuit-breakers?dti=0&lc=en-WW>
- [17] Siemens AG. Operating Instructions: 3WL1 Circuit breaker (IEC). Industry Online Support [online]. Regensburg: Siemens, 2019 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: [https://support.industry.siemens.com/cs/document/109761064/sentron-wl-3wl1-circuit-breaker-\(iec\)?dti=0&lc=en-CZ](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109761064/sentron-wl-3wl1-circuit-breaker-(iec)?dti=0&lc=en-CZ)
- [18] Siemens AG. Configuration Manual: 3WL1 Air Circuit breakers. Industry Online Support [online]. Regensburg: Siemens, 2018 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/35681108/configuration-manual-3wl1-air-circuit-breakers?dti=0&lc=en-CZ>
- [19] Siemens AG. Equipment manual: 3WA Air Circuit breakers. Industry Online Support [online]. Regensburg: Siemens, 2021 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109763061/equipment-manual-3wa-air-circuit-breakers?dti=0&lc=en-CZ>
- [20] Siemens AG. Equipment manual: SENTRON 3VA27 molded case circuit breakers & 3WL10 air circuit breakers. Industry Online Support [online]. Regensburg: Siemens, 2018 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109753821/manual-3va27-molded-case-circuit-breakers-3wl10-air-circuit-breakers?dti=0&lc=en-CZ>
- [21] Siemens AG. Catalog: Air Circuit Breakers. Industry Online Support [online]. Regensburg: Siemens, 2021 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: [https://support.industry.siemens.com/cs/document/109750636/catalog-air-circuit-breakers-\(catalog-extract-iv-10-%E2%80%A2-04-2021\)-?dti=0&lc=en-CZ](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109750636/catalog-air-circuit-breakers-(catalog-extract-iv-10-%E2%80%A2-04-2021)-?dti=0&lc=en-CZ)
- [22] Siemens AG. Quality Management Control Plan: ACB_CP_060 – Product monitoring tests on 3WA Air Circuit Breakers – Operational performance capability without current. Siemens internal rules. Siemens, 2021 [cit. 2021-11-30].
- [23] Siemens AG. Quality Management Control Plan: ACB_CP_008_A5 – Test voltages for Electrical accessories. Siemens internal rules. Siemens, 2015 [cit. 2021-11-30].

- [24] Siemens AG. Quality Management Control Plan: ACB_CP_008_A2 – Test voltages for Electrical accessories. Siemens internal rules. Siemens, 2020 [cit. 2021-11-30].
- [25] OEZ s.r.o. Příručka elektrotechnika: Jistící přístroje I. Letohrad: OEZ s.r.o., 2011 [cit. 2021-12-04].
- [26] OEZ s.r.o. Příručka elektrotechnika: Jistící přístroje II. Letohrad: OEZ s.r.o., 2012 [cit. 2021-12-04].
- [27] Siemens AG. System manual – Simatic S7-1200 Programmable controller. [online]. Nürnberg: Siemens, 2021 [cit. 2021-12-18]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109797241/simatic-s7-s7-1200-programmable-controller?dti=0&lc=en-WW>
- [28] RS PRO. Datasheet – Platinum Resistance Thermometer Pt100 Industrial Sensor Probe, Class B [online]. RS Components Sp. z o.o. [cit. 2021-12-20]. Dostupné z: <https://docs.rs-online.com/5fad/0900766b815bb279.pdf>
- [29] Siemens AG. Operating Instructions – HMI devices Basic Panels 2nd Generation. [online]. Nürnberg: Siemens, 2021 [cit. 2021-12-20]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/90114350/simatic-hmi-hmi-devices-basic-panels-2nd-generation?dti=0&lc=en-WW>
- [30] Siemens AG. Industry online support – Remote Access to SIMATIC HMI Operator Panels. [online]. Siemens, 2020 [cit. 2021-12-20]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109476153/remote-access-to-simatic-hmi-operator-panels?dti=0&dl=en&lc=nl-NL>
- [31] Mean Well. Datasheet – HDR-15 series. [online]. 2021 [cit. 2021-12-20]. Dostupné z: <https://www.meanwellweb.com/content/files/pdfs/productPdfs/MW/HDR-15/HDR-15-spec.pdf>
- [32] Schneider Electric. Technický list – Polovodičové relé SSL1D101ND. [online]. 2021 [cit. 2021-12-20]. Dostupné z: <https://www.se.com/cz/cs/product/download-pdf/SSL1D101ND>
- [33] ŠTOHL, Radek. Funkční bezpečnost v průmyslové automatizaci: Prezentace z přednášek a cvičení předmětu. FEKT VUT, 2021 [cit. 2021-12-21].
- [34] IXYS. Datasheet – CPC1968J 500V Single-Pole, Normally Open Power Relay. [online]. 2020 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: [https://www.ixysic.com/home/pdfs.nsf/www/CPC1968J.pdf/\\$file/CPC1968J.pdf](https://www.ixysic.com/home/pdfs.nsf/www/CPC1968J.pdf/$file/CPC1968J.pdf)
- [35] Siemens AG. Operating Instructions – Industrial Remote Communication Remote Networks SCALANCE M874, M876 [online]. Siemens, 2018 [cit. 2021-12-24]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/74518712/simatic-net-industrial-remote-communication-remote-networks-scalance-m874-m876?dti=0&lc=en-CZ>

- [36] Siemens AG. Application Example – Sending and Receiving SMS Messages via a SCALANCE M Router [online]. Siemens, 2019 [cit. 2021-12-24]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/54361177/sending-and-receiving-sms-messages-via-a-scalance-m-router?dti=0&lc=en-DE>
- [37] Český telekomunikační úřad. Přidělená čísla a kódy [online]. Český telekomunikační úřad, 2018 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://www.ctu.cz/vyhledavaci-databaze/pridelena-cisla-a-kody>
- [38] Siemens AG. Programming Instructions: Tool S7 in TIA Portal with testing machine. Siemens, 2018 [cit. 2022-04-27].

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

AC	Střídavý proud (Alternating Current)
ACB	Vzduchový jistič (Air Circuit Breaker)
AI	Analogový vstup (Analog Input)
AO	Analogový výstup (Analog Output)
ANSI	Americká standardizační organizace
AP	Přístupový bod (Access Point)
AUX	Pomocný spínač (Auxiliary Switch)
BB	Bateriová karta (Battery Board)
CB	Komunikační karta (Communication Board)
CBE	Jistič pro zařízení (Circuit Breaker for Equipment)
CC	Zapínací spoušť (Closing Coil)
CCF	Porucha se společnou příčinou
CM	Komunikační modul (Communication Module)
CPU	Centrální procesorová jednotka (Central Processing Unit)
CSA	Kanadská standardizační asociace
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
DC	Stejnoseměrný proud (Direct Current)
DI	Digitální vstup (Digital Input)
DPS	Deska plošných spojů
DO	Digitální výstup (Digital Output)
eGPRS	Služba přenosu dat mobilní sítí pomocí GSM
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EN	Evropská norma (European Standard)
ETU	Elektronická spoušť (Electronic Trip Unit)
FB	Funkční blok (Function Block)
FBD	Jazyk funkčních bloků (Function Block Diagram)
GPRS	Služba přenosu dat mobilní sítí pomocí GSM
GSM	Telekomunikační standard (Groupe Spécial Mobile)
G_TRIP	Ochrana před zemním spojením
HMI	Rozhraní člověk-stroj (Human Machine Interface)
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
IWLAN	Průmyslový bezdrátový LAN (Industrial Wireless LAN)
I/O	Vstupy/výstupy (Inputs/Outputs)
I_TRIP	Okamžitá ochrana při zkratu
LAN	Lokální síť (Local Area Network)
L_TRIP	Ochrana při přetížení (Overload protection)

MCB	Miniaturní jistič (Miniature Circuit Breaker)
MCCB	Kompaktní jistič (Molded Case Circuit Breaker)
MO	Motorový pohon (Motor Operator)
N	Střední vodič (Neutral pole)
NC	Rozpínací kontakt (Normally Closed)
NO	Spínací kontakt (Normally Open)
N_TRIP	Ochrana středního vodiče
OEZ	Výrobce jističů a pojistek (Orlické elektrotechnické závody)
PIN	Osobní identifikační číslo (Personal Identification Number)
PLC	Programovatelný logický automat
PSS	Signalizační spínač (Position Signaling Switch)
RTD	Odporový teplotní detektor
SB	Signálová karta (Signal Board)
SCL	Programovací jazyk (Structured Control Language)
SIM	Účastnická identifikační karta (Subscriber Identity Module)
SM	Signálový modul (Signal Module)
SPDT	přepínací kontakt (Single Pole Double Throw)
SSR	Polovodičové relé (Solid State Relay)
ST	Napěťová spoušť (Shunt Trip)
S_TRIP	Krátkodobě zpožděná ochrana při zkratu
TMTU	Termomagnetická spoušť (Thermal-Magnetic Trip Unit)
TTE	Odložené vyhodnocení chyb (Time To Error evaluation)
TVS	Transil (Transient Voltage Suppression diode)
UL	Certifikační organizace UL
UVR	Podpěťová spoušť (Under Voltage Release)
UVR-TD	Zpožděná podpěťová spoušť
2G	Druhá generace bezdrátové telefonní technologie

Symbols:

I_g	Vybavovací proud zemního spojení	(A)
I_i	Vybavovací proud zkratové spouště	(A)
I_{cs}	Jmenovitá provozní zkratová vypínací schopnost	(A)
I_{cu}	Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost	(A)
I_n	Jmenovitý proud	(A)
I_N	Hodnota proudu pro ochranu středního vodiče	(A)
I_r	Redukovaný jmenovitý proud	(A)
I_{sd}	Vybavovací proud selektivní spouště	(A)
I^2t	Proudově nepřímo závislé zpoždění	(-)
n_{op}	Střední počet cyklů za rok	(-)

PL	Úroveň vlastností	(-)
PLr	Požadovaná úroveň vlastností	(-)
t_g	Doba zpoždění při zemním spojení	(s)
t_r	Vypínací čas tepelné spouště	(s)
t_{sd}	Vypínací čas selektivní spouště	(s)
U_e	Jmenovité pracovní napětí	(V)
U_s	Jmenovité řídicí napětí	(V)
$U_{s \max}$	Maximální jmenovité řídicí napětí	(V)
$U_{s \min}$	Minimální jmenovité řídicí napětí	(V)

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - OBSAH PŘÍLOH NA CD	77
PŘÍLOHA B - FOTODOKUMENTACE	78
PŘÍLOHA C - TECHNICKÁ DOKUMENTACE.....	81
PŘÍLOHA D - VYHODNOCENÍ BEZPEČNOSTNÍ FUNKCE	109

Příloha A - Obsah příloh na CD

Přílohy na CD obsahují elektronickou verzi diplomové práce v souboru Dusek_DP.pdf.

Technická dokumentace a schémata elektrického zapojení se nacházejí ve složce 01_Technická_dokumentace. Tato složka obsahuje dokumentaci ve formátu pdf, zkomprimovaný zdrojový soubor z návrhového prostředí Eplan Electric P8 a zkomprimované zdrojové soubory z návrhového prostředí Autodesk Eagle.

Příložené soubory zdrojového kódu pro PLC a HMI se nacházejí ve složce 02_Programová_dokumentace. V této složce se nachází přepis programu ve formátu pdf a zkomprimovaný zdrojový soubor projektu z programovacího prostředí TIA portal V16.

Ve složce 03_Vyhodnocení_bezpečnostní_funkce se nachází protokol o posouzení bezpečnosti funkce nouzového zastavení vytvořený pomocí programu Siemens TIA Selection Tool. Protokol je přiložen ve formátu pdf. Dále je přiložen zdrojový soubor s vyhodnocením bezpečnostní funkce.

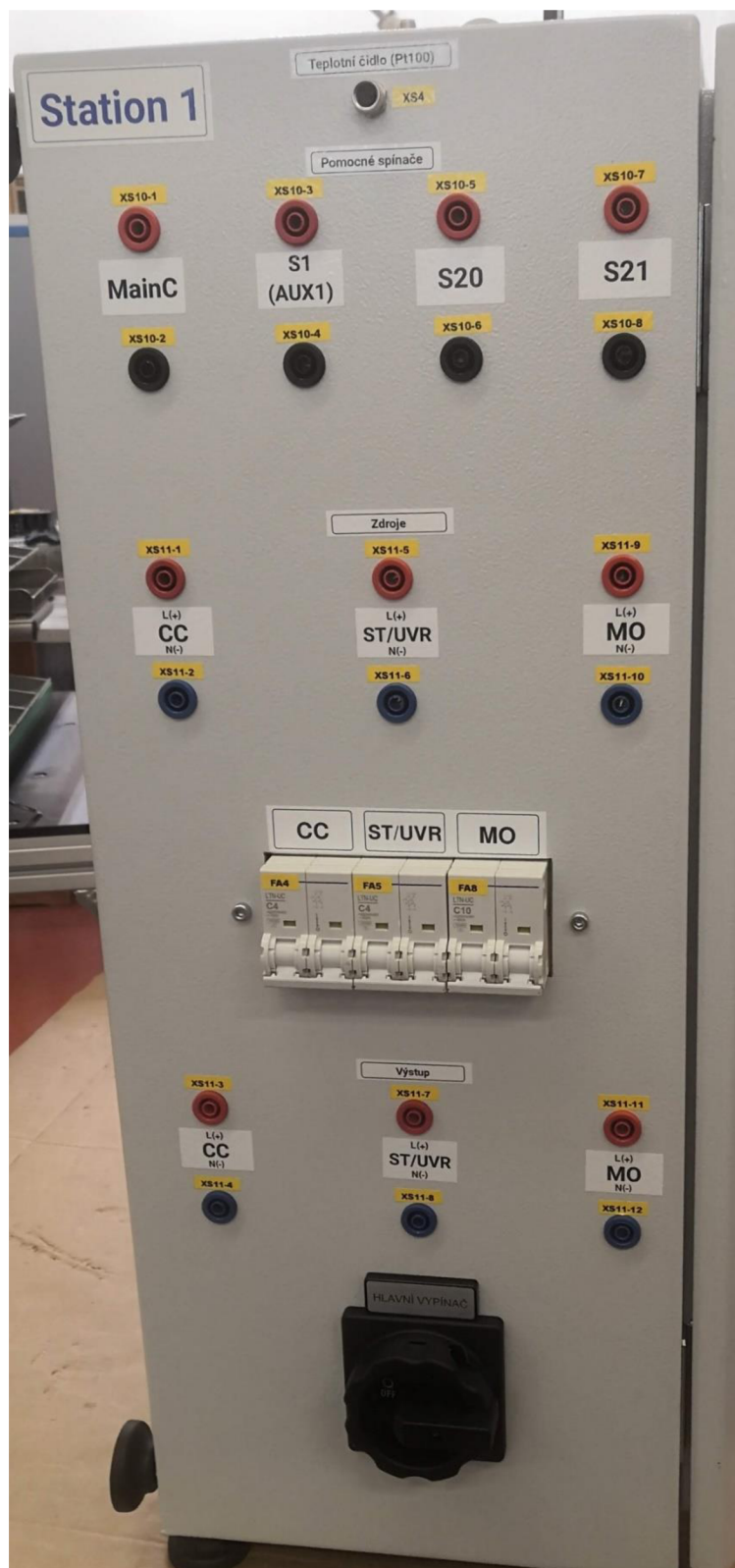
Ve složce 04_Fotodokumentace se nacházejí fotografie pořízené v průběhu konstruování zařízení a dále zaznamenané snímky obrazovek HMI panelu.

Ve složce 05_Záznamy_z_testů se nacházejí automatizovaně vygenerované soubory záznamů z testování mechanické trvanlivosti jističů.

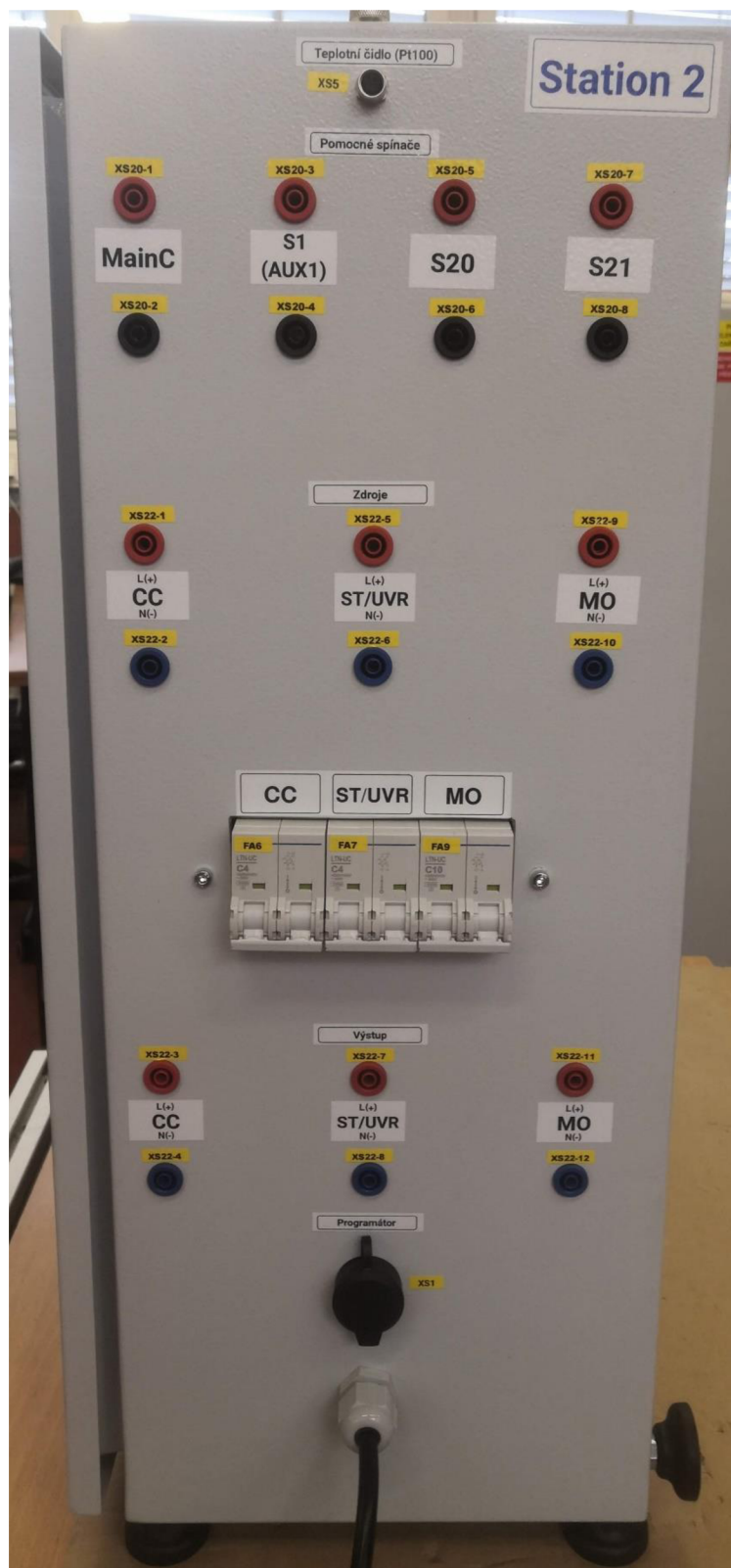
Příloha B - Fotodokumentace



Obrázek 62 – Čelní pohled na zařízení a propojovací kabeláž



Obrázek 63 – Levá strana zařízení



Obrázek 64 – Pravá strana zařízení

Příloha C - Technická dokumentace



Šedivská 339, 561 51 Letohrad

Šedivská 339, 561 51 Letohrad

561 51 Šedivská 339, 561 51 Letohrad

Firma / zákazník

SI EP R&D OEZ TL

Popis projektu

L786_Mobilní zařízení pro zkoušku mechanické trvanlivosti ACB

Číslo výkresu

LT83210101

Napájení

230 V / 50 Hz

Ovládací napětí

24 V DC

Osoba odpovědná za projekt

Pavel Dušek

Kreslil

Pavel Dušek

Vytvořeno dne

19.10.2021

Zpracováno dne

13.04.2022

Počet stran 27

2

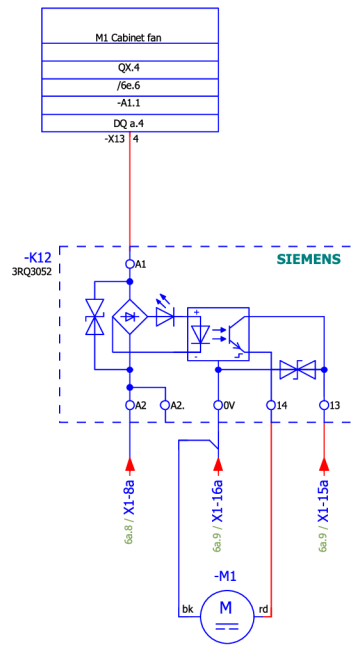
			Datum	29.10.2021	LT83210101		Titulní strana	= ANL + DBT	LT83210101	1
			Zprac.	Z003W63K						1
			Zkontr.							27
Změna	Datum	Název	Přív.		Náhrada z	Nahrazeno čím				

Kusovník artiklů

F01_001

Označení přístroje	Množství	Označení	Typové číslo	Dodavatel	Číslo artiklu
A1.0	1	Simatic S7-1200 CPU 1217C	6ES7217-1AG40-0XB0	Siemens	
A1.1	1	Modul digitálních vstupů / výstupů SM 1223 8DI / 8DO	6ES7223-1BH32-0XB0	Siemens	
A1.2	1	Modul analogových vstupů SM1231, AI 4xRTD	6ES7231-5PD32-0XB0	Siemens	
A2	1	SIMATIC HMI KTP900 Basic	6AV2124-0JC01-0AX0	Siemens	
A3	1	SCALANCE XB008 průmyslový switch	6GK5008-0BA10-1AB2	Siemens	
A4	1	IWLAN access point SCALANCE W761-1	6GK5761-1FC00-0AA0	Siemens	
A4_ANT	1	IWLAN anténa ANT795-4MA	6GK5795-4MA00-0AA3	Siemens	
A5	1	GSM SCALANCE M874-2 2G router	6GK5874-2AA00-2AA2	Siemens	
A5_ANT	1	GSM anténa ANT896-4MA	6GK5896-4MA00-0AA3	Siemens	
F1	1	SITOP PSE200U 10 A Selectivity module	6EP1961-2BA41	Siemens	
G1	1	SITOP PSU6200 24 V/10 A Stabilizovaný zdroj	6EP3334-7SB00-3AX0	Siemens	
K0F	1	Bezpečnostní monitorovací relé 3SK1	3SK1111-1AB30	Siemens	
K1, K2, K3, K12	4	Vazební optočlen vstupů	3RQ3052-1SM30	Siemens	
KM11, KM12, KM13, KM21, KM22, KM23	6	Stykač	3RT2018-1UB42	Siemens	
S1	1	vyřináč kulatý, otočný 22mm, 1NO+1NC	3SU1100-2BF60-1MA0	Siemens	
SB1	1	Tlačítko nouzového vypnutí	3SU1100-1HB20-1PG0	Siemens	
SQ1	1	Hlavní vyřináč černý	3LD2003-1TK51	Siemens	
XS2, XS3	2	SMA propojovací kabel 1m samec/samec	6XV1875-5UH10	Siemens	
XS2, XS3	2	SMA konektor do panelu samice/samice	6GK5798-0PT00-2AA0	Siemens	
-	1	Přídchoďka PG11		Výdejna elektro	
-	18	Svorka koncová - Bečov L 35		Výdejna elektro	
-	2	Kanál rozváděčový 25x 80 IBODD (délka 2m)	Sonepar 1211250	Výdejna elektro	
SSR-INPUT, SSR-OUTPUT	8	DPS svorkovnice šroubovací, 2 bloky, rozteč 5,08 mm		Výdejna elektro	
WS4, WSS	2	M8 konektor, 4-pin, samice		Výdejna elektro	
X0	3	Svorka Bečov RSA 2,5 bílá+sv. modrá + zelenožlutá		Výdejna elektro	
X1	8	Svorka Wago 280-520		Výdejna elektro	
XP4, XP5, WP4, WP5	4	M8 konektor, 4-pin, samec		Výdejna elektro	
XPE	2	Svorka Wago 280-517		Výdejna elektro	
XS1	1	Siemens konektor RJ-45, s gumovou krytkou		Výdejna elektro	
FA1	1	LTE-10C-1	OEZ:41891	OEZ expedice	
FA2	1	LTN-2C-1	OEZ:41651	OEZ expedice	
FA3	1	LTN-0,3C-1	OEZ:41647	OEZ expedice	
FA4, FA5, FA6, FA7	4	LTN-UC-4C-2	OEZ:41862	OEZ expedice	
FA8, FA9	2	LTN-UC-10C-2	OEZ:41865	OEZ expedice	
-	1	Rozvaděč OEZ NP66-0606025	OEZ:44052	OEZ expedice	
-	1	Flexo napájecí kabel s konektorem CEE 7/4, 16 A, 1,5 mm2	693-4940	RS-Components	
-	10	Faston zásuvka 4,75 x 0,8 mm průřez 0,5 -1,5 mm2	267-4221	RS-Components	
-	40	Faston zásuvka 4,8 x 0,8 mm průřez 1,5 -2,5 mm2	534-749	RS-Components	
G2	1	Napájecí zdroj Mean Well HDR-15-48	145-7863	RS-Components	
K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10, K11	8	Montážní sada DIN pro SSR Schneider electric SSLZRA2	922-1868	RS-Components	
K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10, K11	8	Polovodičové relé Uin=60V Schneider electric SSL1D101ND	922-1855	RS-Components	
K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10, K11	8	Relé Uin=48V Schneider electric RSL1PVEU	179-7328	RS-Components	
RT1, RT2	2	Temperature sensor Pt100, -50/+250 °C, RS PRO, kabel 2m	123-5603	RS-Components	
XS10, XS11, XS20, XS22 (platí pro: 1, 3, 5, 7, 9, 11)	20	Banánková zásuvka, 24A, 4 mm, 1000V, Červená, Samice	179-6949	RS-Components	
XS10, XS20 (platí pro: 2, 4, 6, 8)	8	Banánková zásuvka, 24A, 4 mm, 1000V, Černá, Samice	179-6950	RS-Components	
XS11, XS22 (platí pro: 2, 4, 6, 8, 10, 12)	12	Banánková zásuvka, 24A, 4 mm, 1000V, Modrá, Samice	179-6945	RS-Components	
XS4, XS5	2	M8 konektor do panelu, 4-pin, samice	892-0101	RS-Components	
SSR-D1	4	TVS Diode bidirectional Littelfuse 1.5KE480CA	3010353	Farnell	
SSR-Heat_sink	4	Chladič 27,8 x 27,8 x 11,2 mm; BGA-STD-065	2084437	Farnell	
SSR-K1	4	AC/DC solid state relay - IXYS OPC1968J	3565931	Farnell	
SSR-LED1	4	LED červená, 3mm, 20 mA, 1,85 V	1142514	Farnell	
SSR-R1	4	2K2 rezistor THT - MCMF060FFZ201A50	2401762	Farnell	
SSR-R2	4	14K rezistor THT - MBB02070C140ZF00	5401720	Farnell	
SSR1, SSR2, SSR3, SSR4	4	DPS SSR module v1.0 for mechanical durability equipment		Pragoboard	
-	8	Bočnice M72ECL 07.6010000 Italtronic 11,25mm	1000187	Enika	
-	4	Úchyt základny M72G 07.6000000 Italtronic	1000186	Enika	

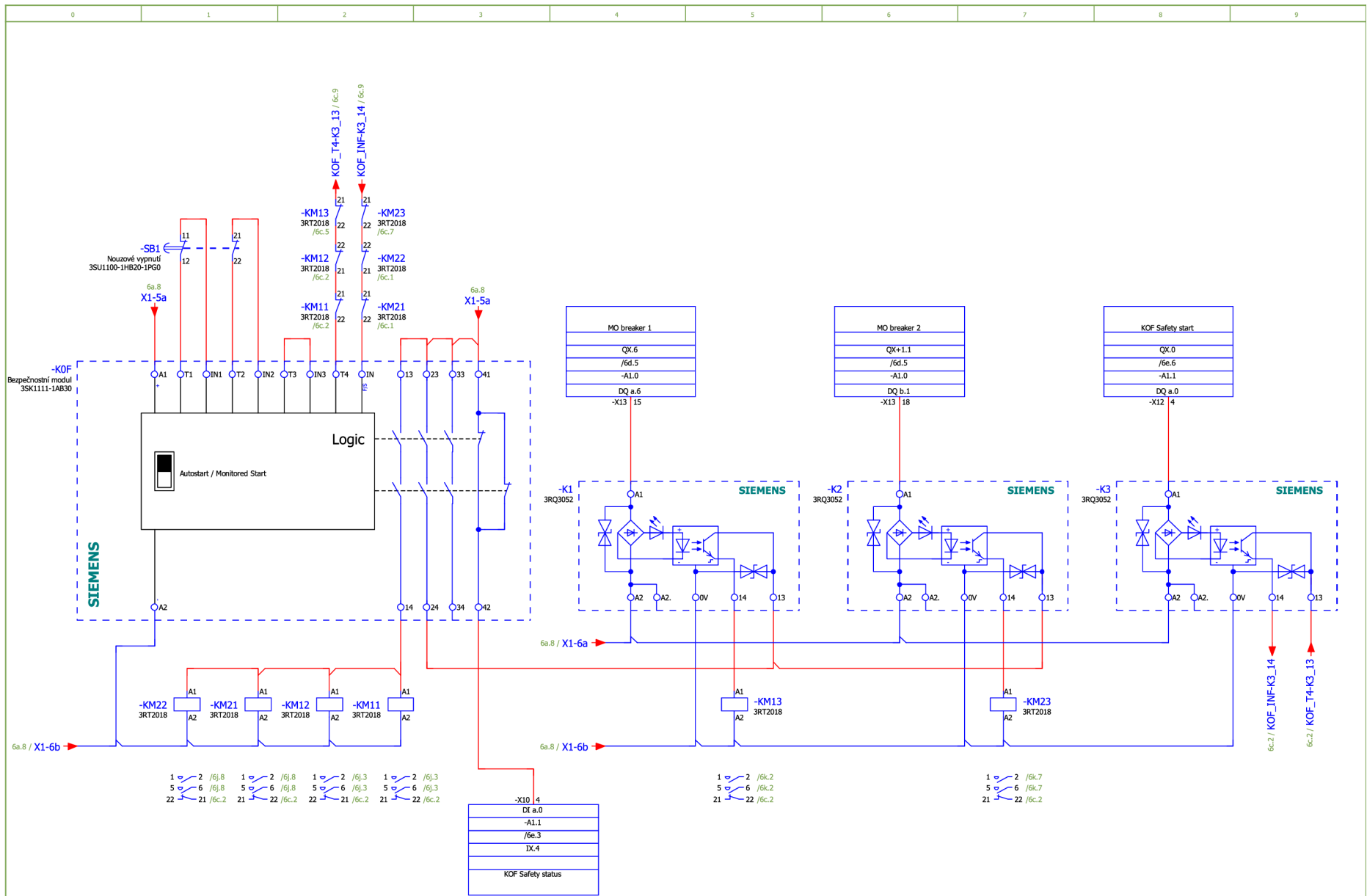




6a

6c

			Datum	13.04.2022	LT83210101			Schéma zapojení - Ventilátor	= ANL				
			Zprac.	Z003W63K					+ SCP				
			Zkontr.										
Změna	Datum	Název	Pův.		Náhrada z	Nahrazeno čím							
								LT83210101	<table border="1"> <tr> <td>List</td> <td>6b</td> </tr> <tr> <td>List</td> <td>27</td> </tr> </table>	List	6b	List	27
List	6b												
List	27												



6b

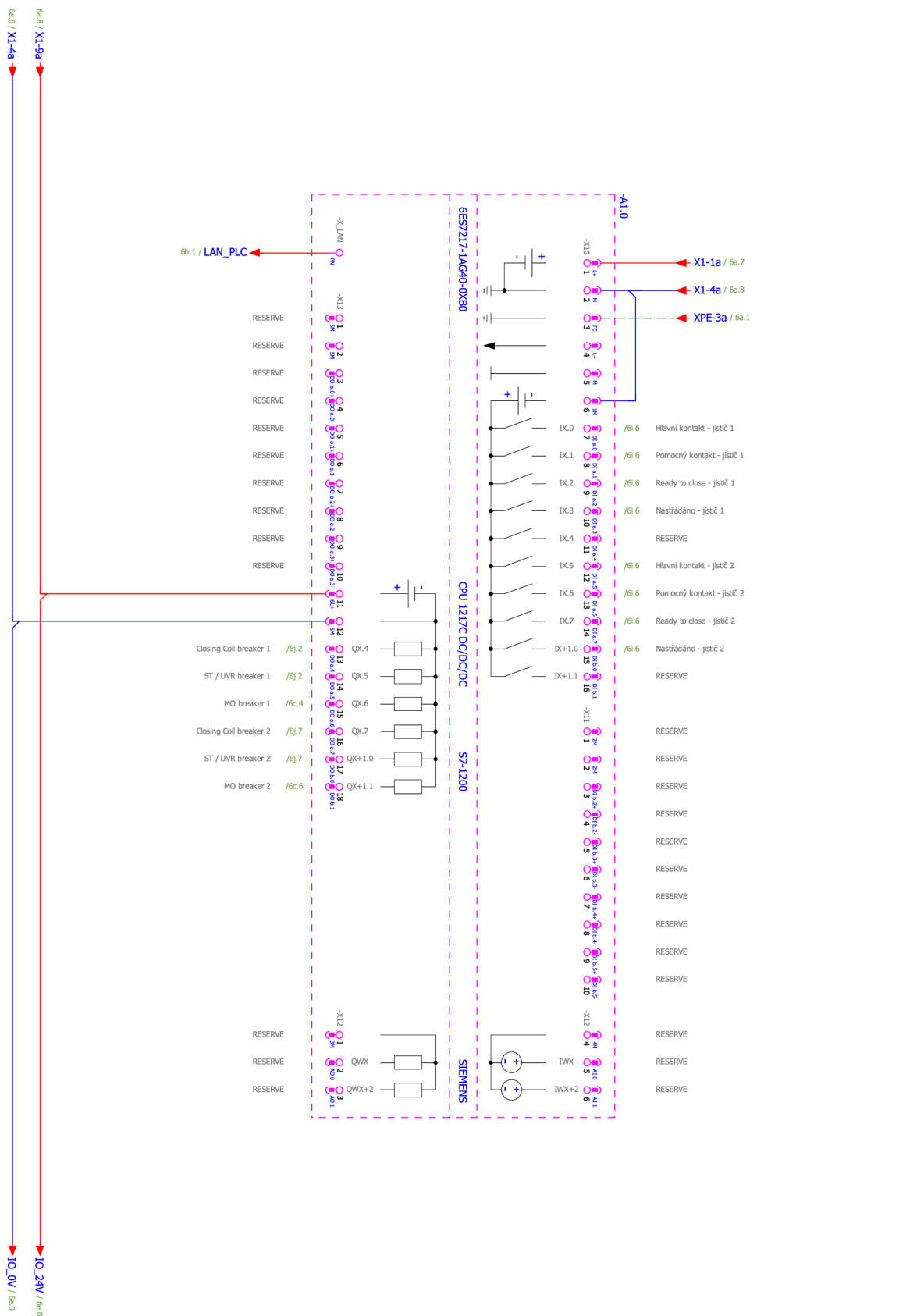
Datum	13.04.2022	LT83210101
Zprac.	Z003W63K	
Zkontr.		
Změna	Datum	Název
	Přív.	Náhrada z
		Nahrazeno čím



Schéma zapojení - Bezpečnost

		= ANL
		+ SCP
	LT83210101	List 6c
		List 27

6d



6c		Datum: 13.04.2022		LT83210101		= ANL	
Změna		Zprac.: ZDROVSKIK		Náhrada z		+ SCP	
Datum		Přev.		Náhrada z		Lst: 6d	
Název		Přev.		Náhrada z		Lst: 27	
Změna		Přev.		Náhrada z		Lst: 27	

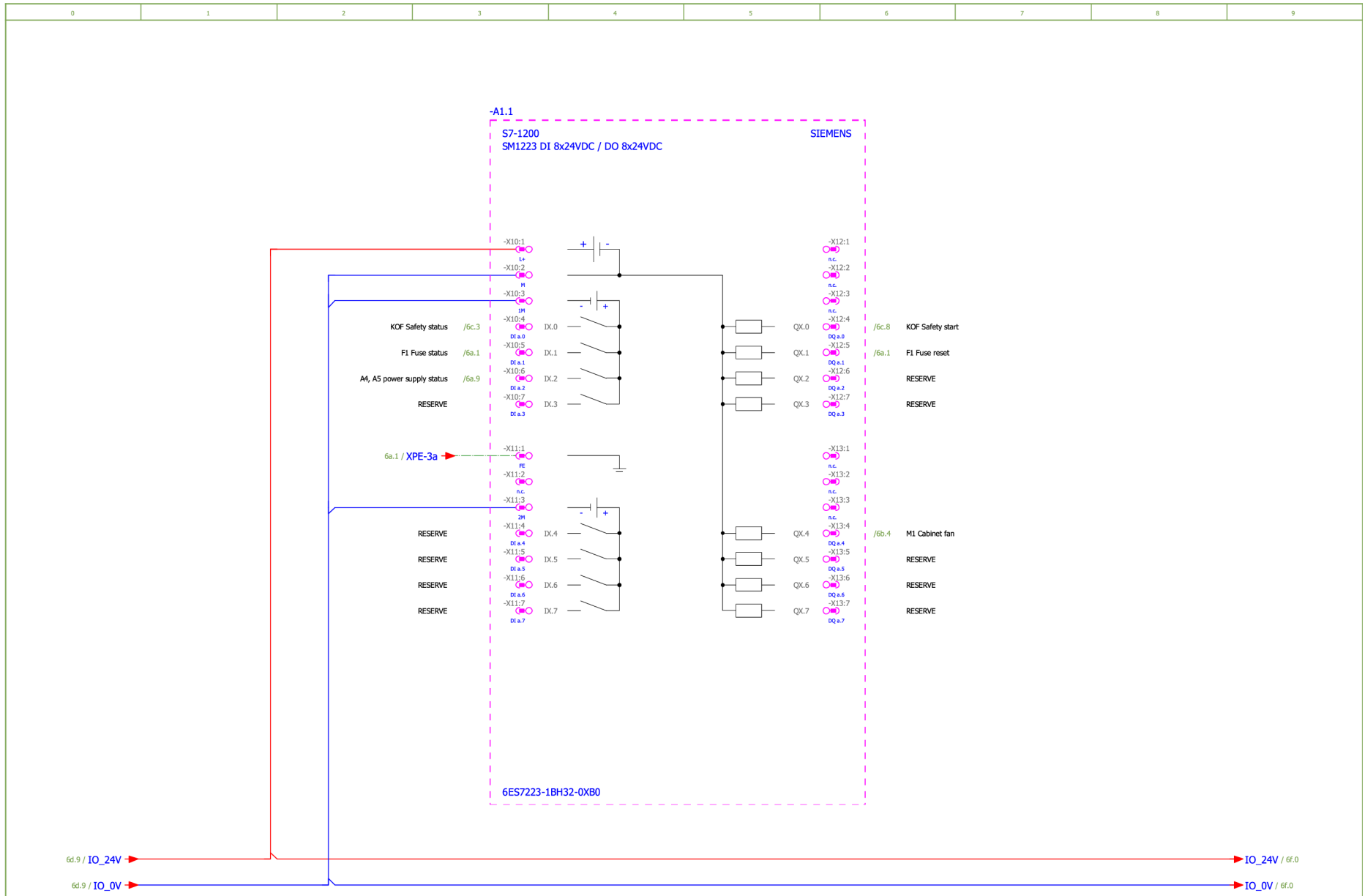


Schema zapojení - PLC CPU

LT83210101

6e

6a.8 / X1-9a → IO_24V / 6a.0
 6a.8 / X1-4a → IO_0V / 6a.0

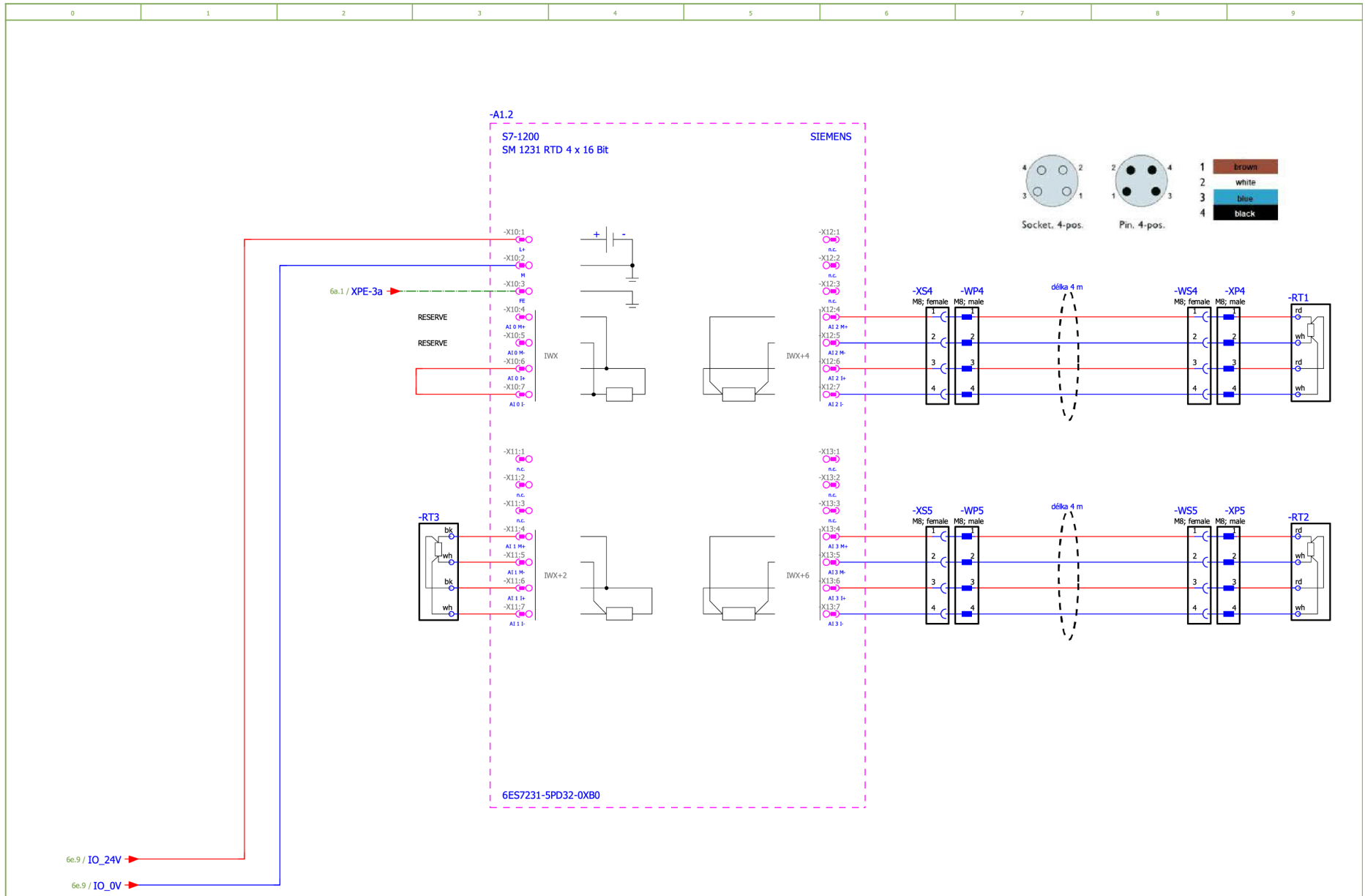


6d

6f

		Datum	13.04.2022	LT83210101		Schéma zapojení - PLC DI+DO		= ANL	
		Zprac.	Z003W63K					+ SCP	
		Zkontr.						LT83210101	
Změna	Datum	Název	Přív.	Náhrada z	Náhrzeno čím			List	6e
								List	27



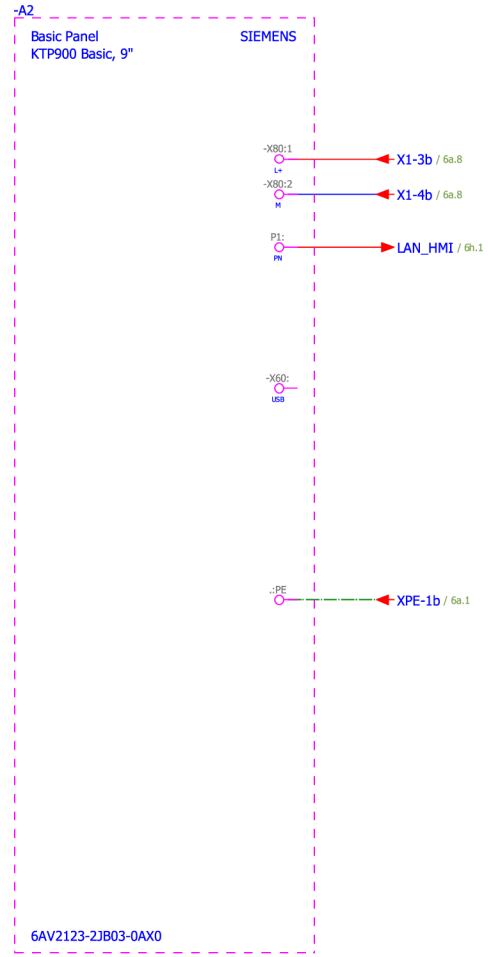


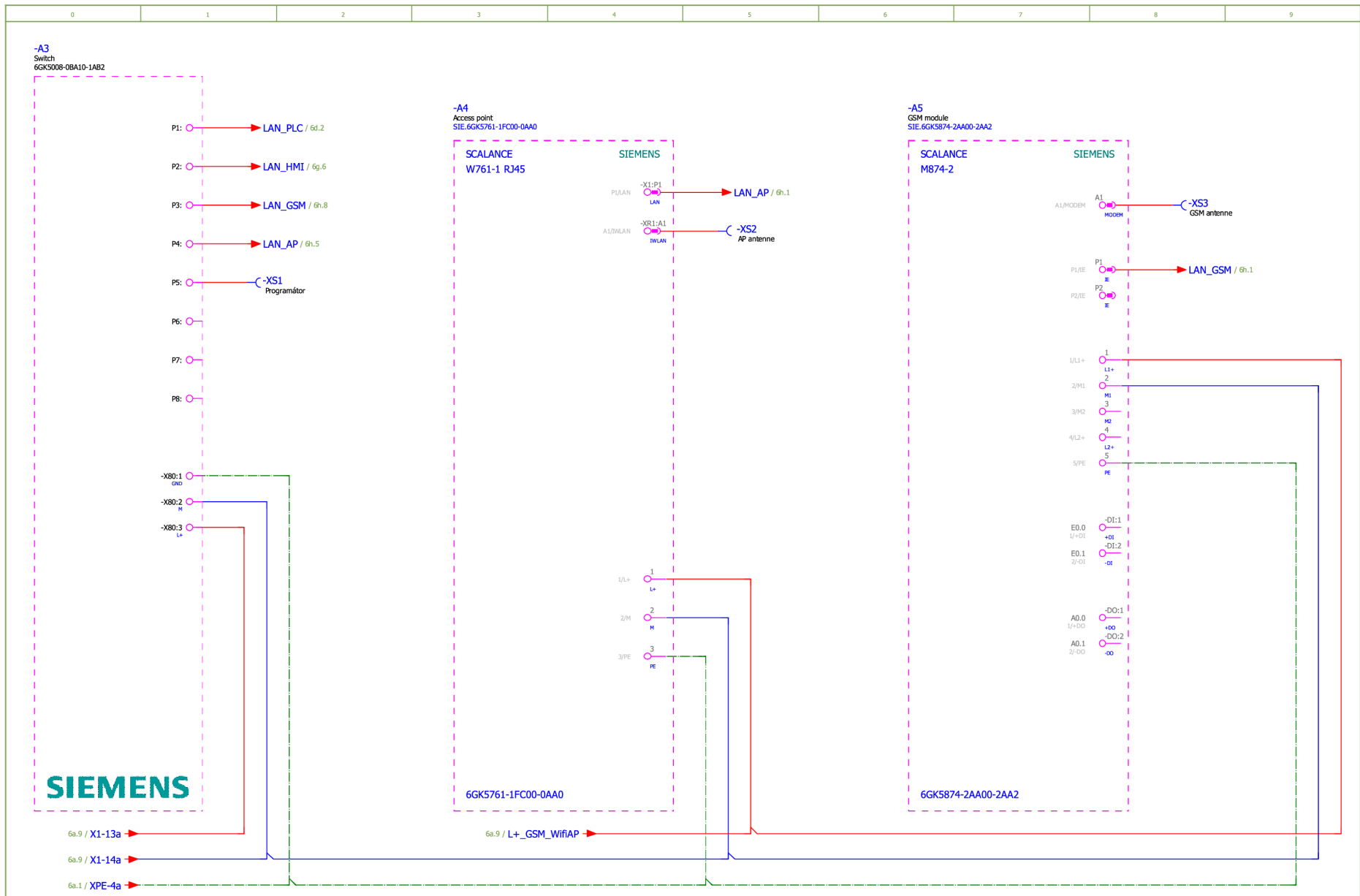
6e

6g

		Datum	13.04.2022	LT83210101		Schéma zapojení - PLC AI		= ANL	
		Zprac.	Z003W63K					+ SCP	
		Zkontr.						LT83210101	
Změna	Datum	Název	Pův.	Náhrada z	Náhrzeno čím			List	6f
								List	27







6g

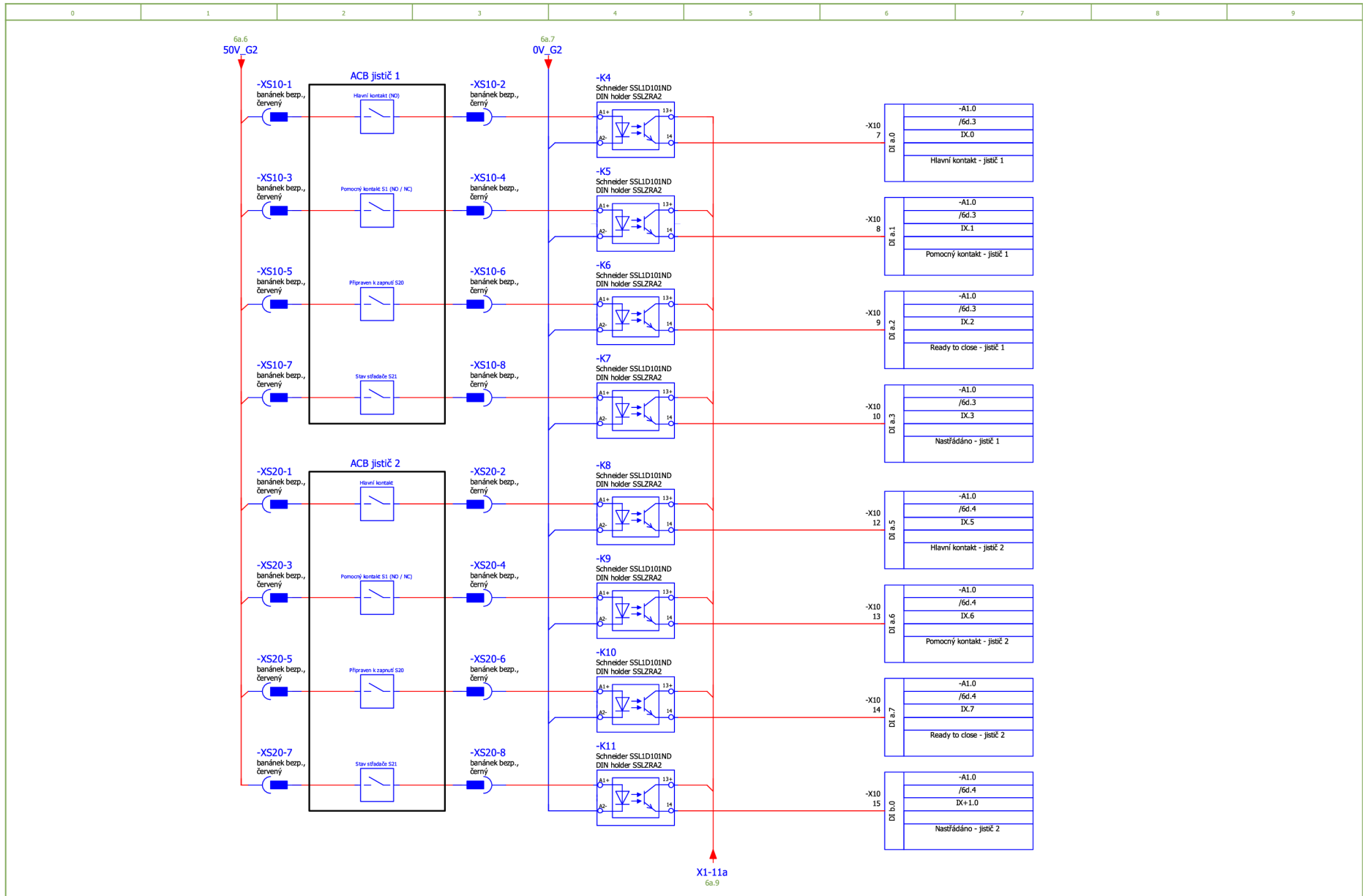
Datum	13.04.2022	LT83210101			
Zprac.	Z003W63K				
Zkontr.					
Změna	Datum	Název	Přív.	Náhrada z	Nahrazeno čím



Schéma zapojení - Síťové prvky

		= ANL
		+ SCP
	LT83210101	List 6h
		List 27

6i



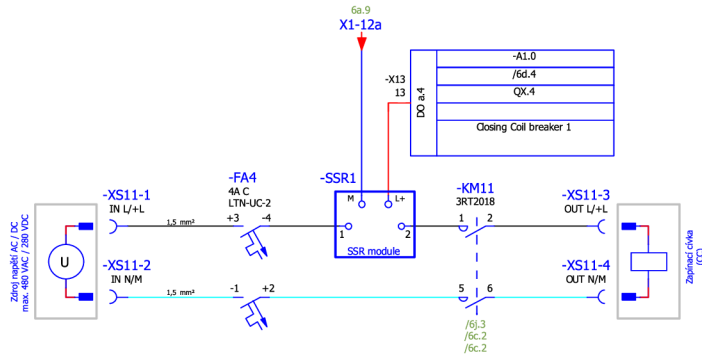
6h

6j

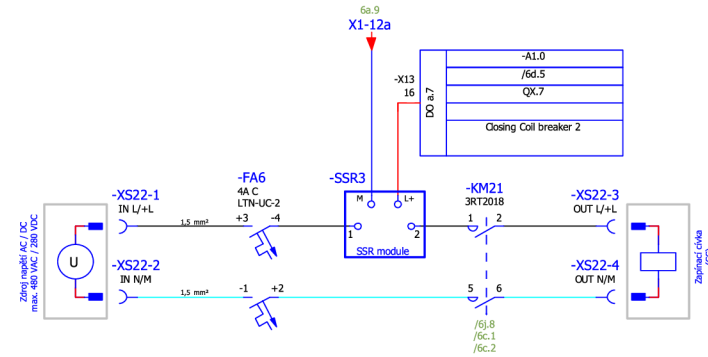
		Datum	13.04.2022	LT83210101		Schéma zapojení - Pomocné kontakty		= ANL	
		Zprac.	Z003W63K					+ SCP	
		Zkontr.						LT83210101	
Změna	Datum	Název	Přív.	Náhrada z	Nahrazeno čím			List	6i
								List	27



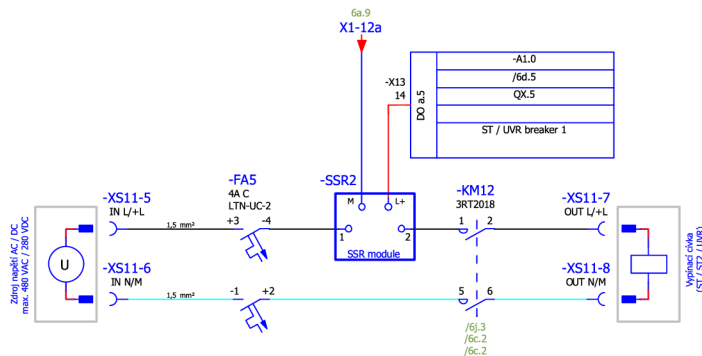
Zapínací cívka - jistič 1



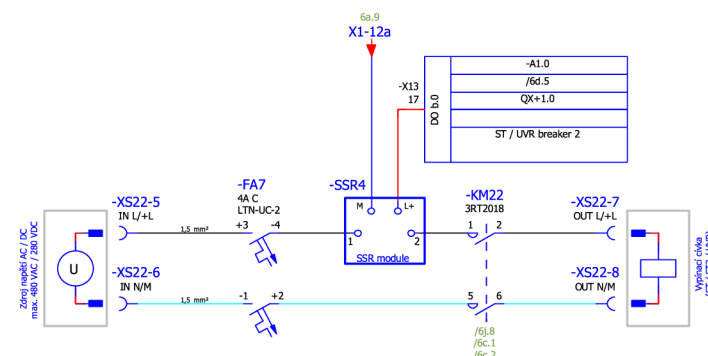
Zapínací cívka - jistič 2



Vypínací cívka - jistič 1



Vypínací cívka - jistič 2



6i		Datum 13.04.2022		LT83210101		= ANL		6j	
		Zprac. Z003W63K				+ SCP		List 27	
		Zkontr.							
Změna		Datum		Název		Pův.		List	
				Náhrada z		Nahrazeno čím			

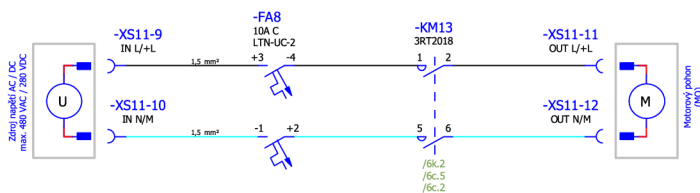


Schéma zapojení - Ovládní cívek

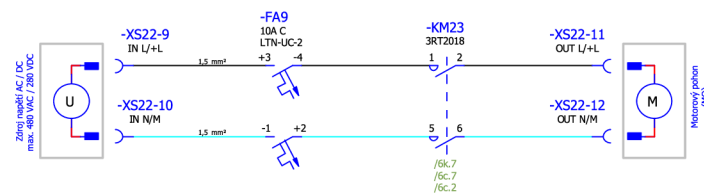
LT83210101

List 6j
List 27

Ovládání motoru střadače (MO) - jistič 1

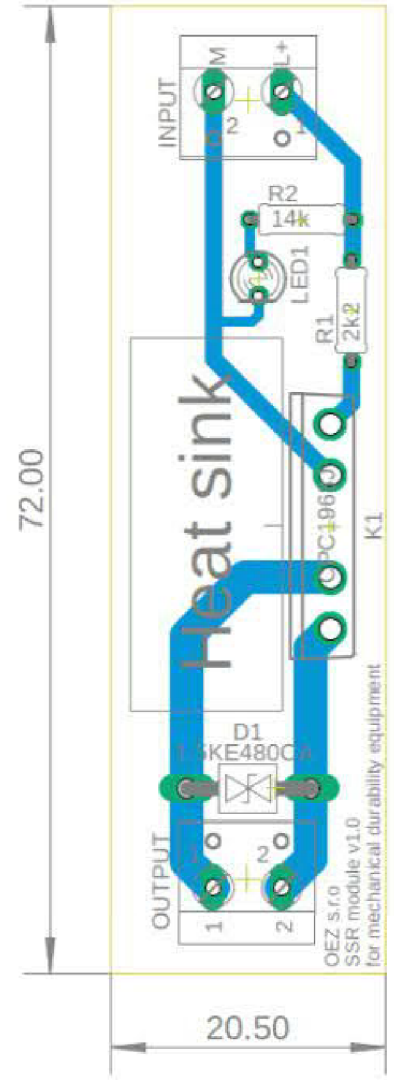
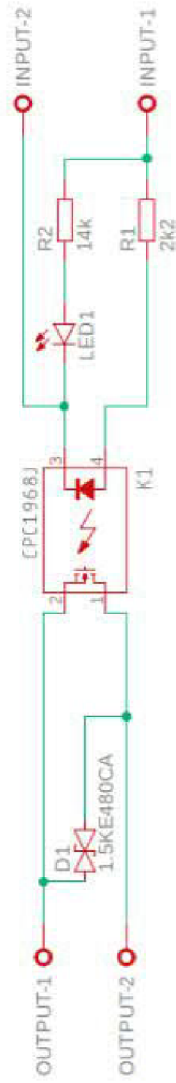


Ovládání motoru střadače (MO) - jistič 2



6j										6l	
		Datum	13.04.2022	LT83210101		Schéma zapojení - Ovládání MO				= ANL	
		Zprac.	Z003W63K							+ SCP	
		Zkontr.									
Změna	Datum	Název	Přív.	Náhrada z	Nahrazeno čím			LT83210101		List	6k
										List	27





6k

6m

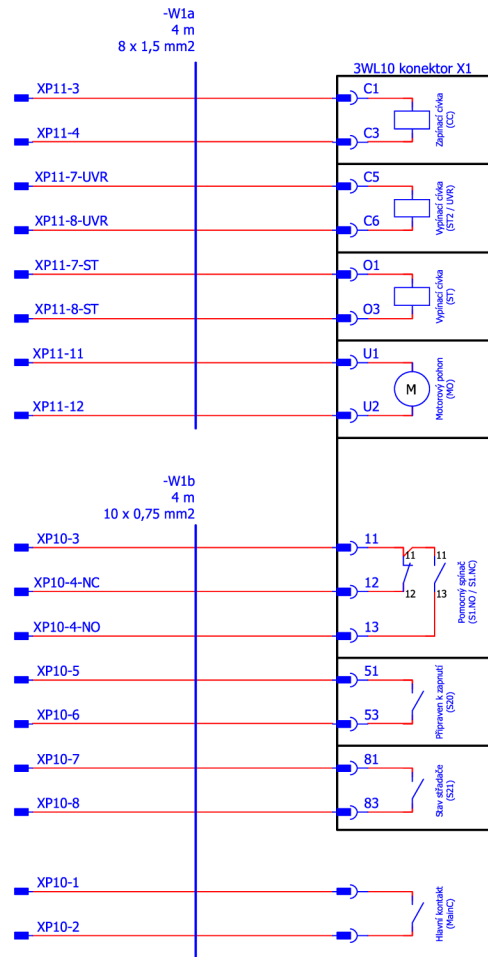
			Datum	13.04.2022	LT83210101	
			Zprac.	Z003W63K		
			Zkontr.			
Změna	Datum	Název	Přív.		Náhrada z	Nahrazeno čím



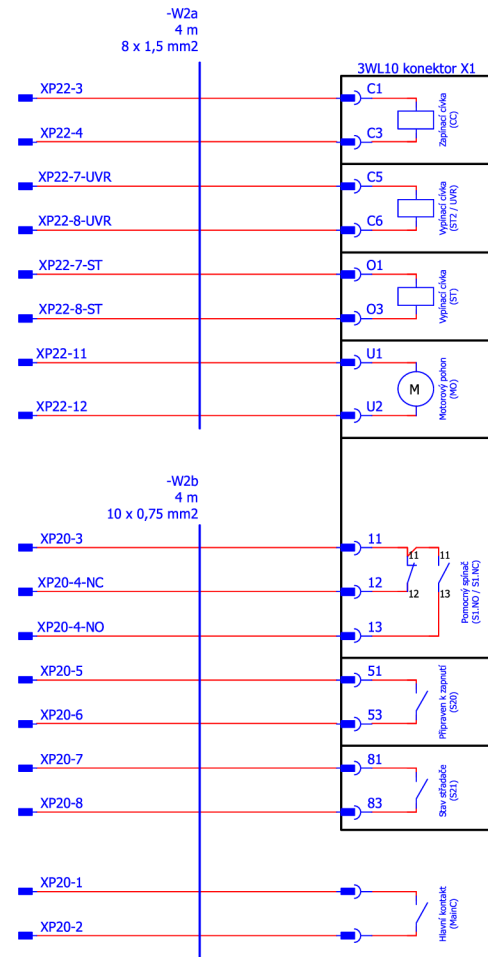
Schéma zapojení - DPS SSR module

			= ANL
			+ SCP
		LT83210101	List 61
			List 27

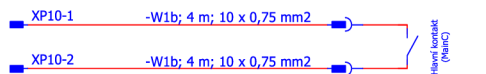
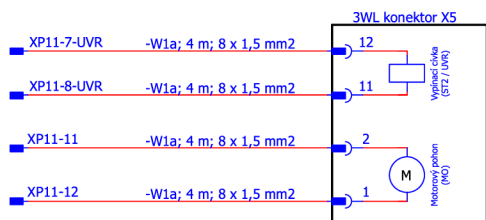
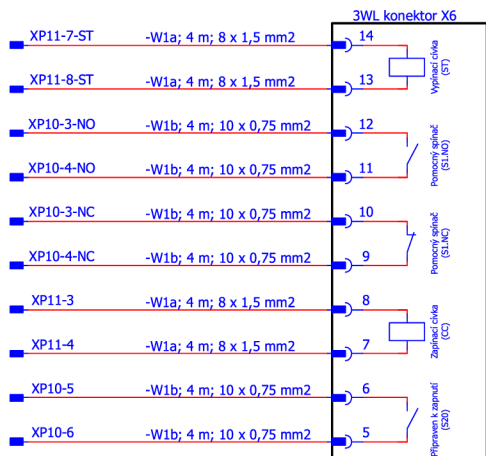
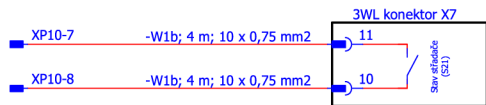
Propojovací schéma 3WL10 - jistič 1



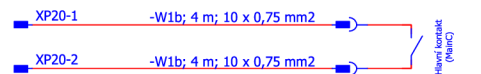
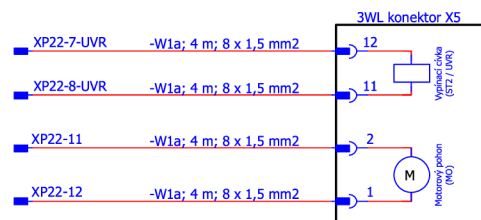
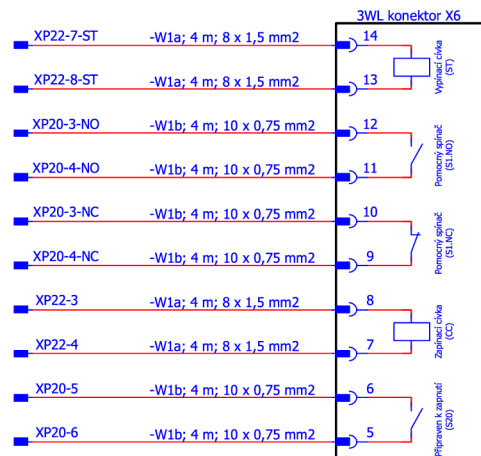
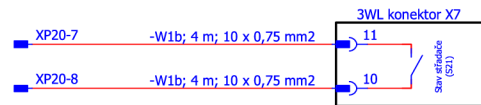
Propojovací schéma 3WL10 - jistič 2



Propojovací schéma 3WL (vel. I, II, III) - jistič 1



Propojovací schéma 3WL (vel. I, II, III) - jistič 2



6m

6o

Datum	13.04.2022	LT83210101
Zprac.	Z003W63K	
Zkontr.		
Změna	Datum	Název
		Přív.
		Náhrada z
		Nahrazeno čím



Propojovací schéma 3WL (vel. I, II, III)

= ANL

+ SCP

LT83210101

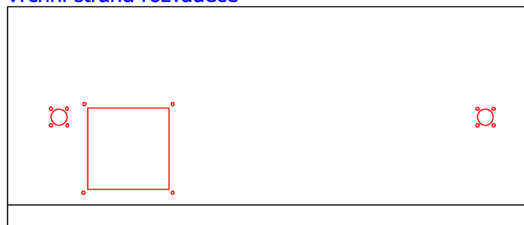
List

6n

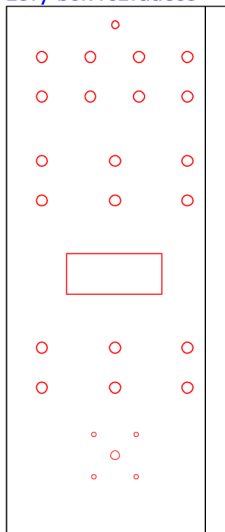
List

27

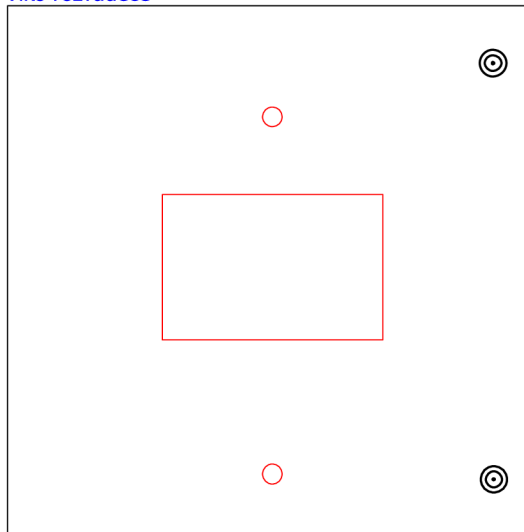
Vrchní strana rozvaděče



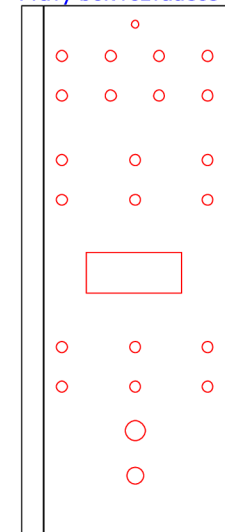
Levý bok rozvaděče



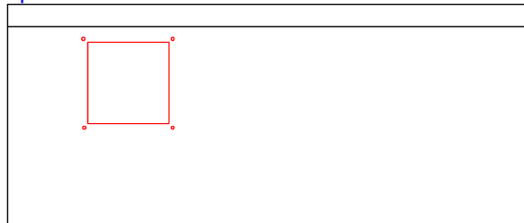
Víko rozvaděče



Pravý bok rozvaděče



Spodní strana rozvaděče

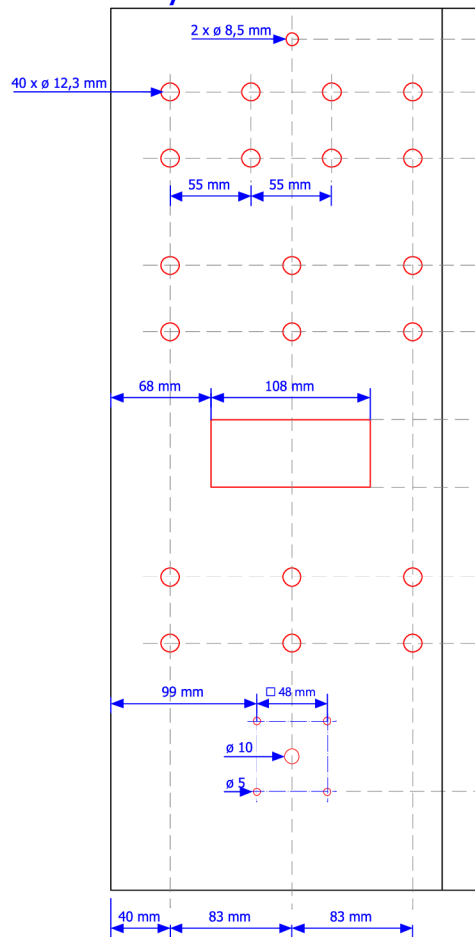


+SCP/6o

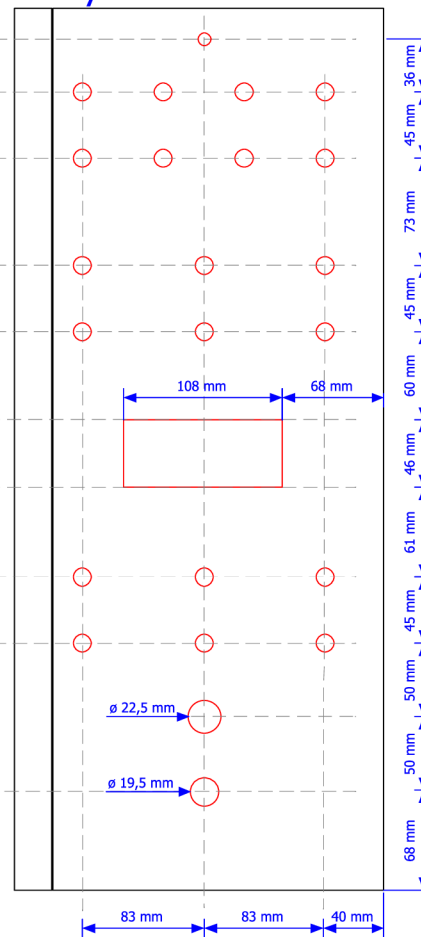
7b

			Datum	11.04.2022	LT83210101		Vrtací a řezací plán - Přehled		= ANL			
			Zprac...	Z003W63K			+ ELH					
Změna	Datum	Název	Přív.	Náhrada z	Nahrazeno čím			LT83210101	<table border="1"> <tr> <td>List</td> <td>7a</td> </tr> <tr> <td>List</td> <td>27</td> </tr> </table>	List	7a	List
List	7a											
List	27											

Levý bok rozvaděče



Pravý bok rozvaděče



7a

7d

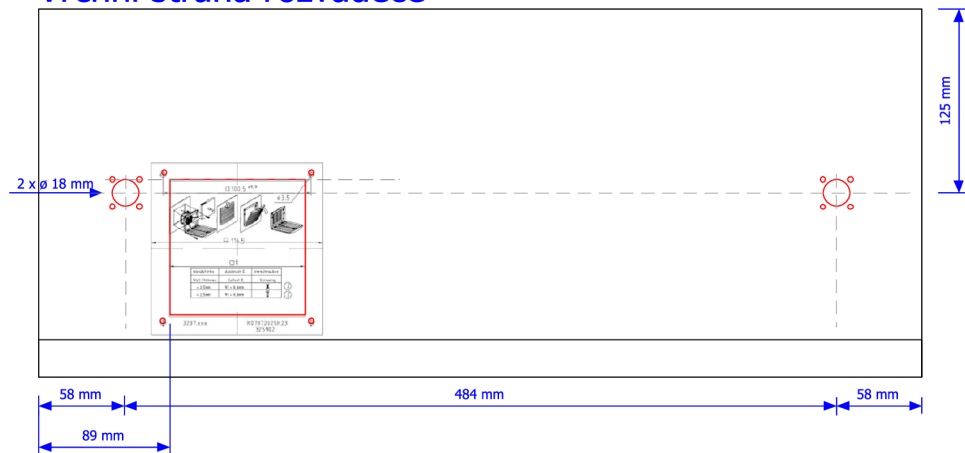
			Datum	12.11.2021	LT83210101	
			Zprac.	Z003W63K		
			Zkontr.			
Změna	Datum	Název	Pův.		Náhrada z	Nahrazeno čím



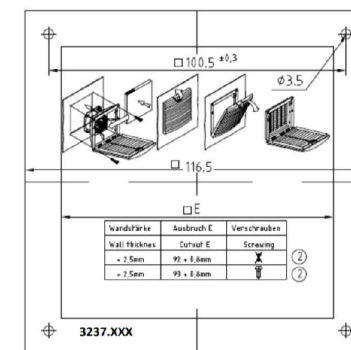
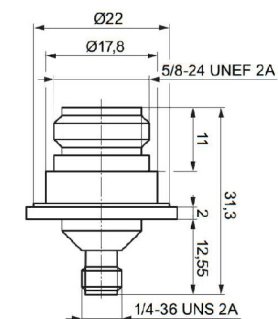
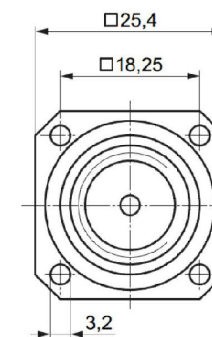
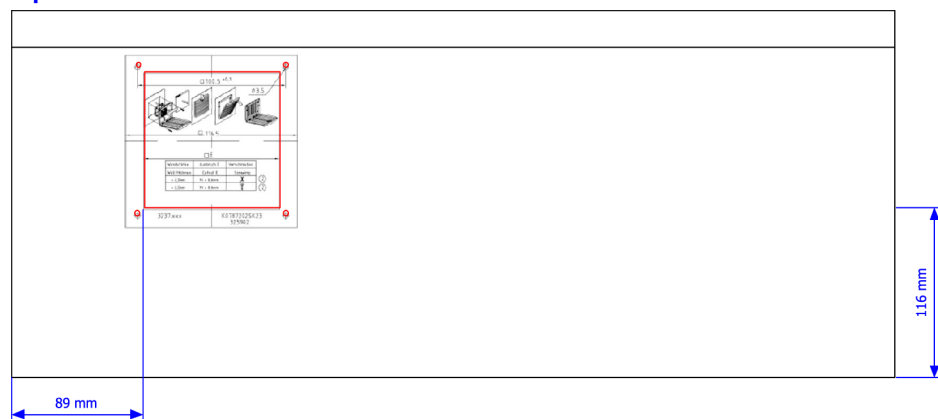
Vrtací a řezací plán - Boky rozvaděče

		= ANL				
		+ ELH				
	LT83210101	<table border="1"> <tr> <td>List</td> <td>7b</td> </tr> <tr> <td>List</td> <td>27</td> </tr> </table>	List	7b	List	27
List	7b					
List	27					

Vrchní strana rozvaděče



Spodní strana rozvaděče



7b

Datum	11.04.2022	LT83210101
Zprac.	Z003W63K	
Zkontr.		
Změna	Datum	Název
	Přv.	Náhrada z
		Nahrazeno čím



Vrtací a řezací plán - vrchní a spodní strana rozvaděče

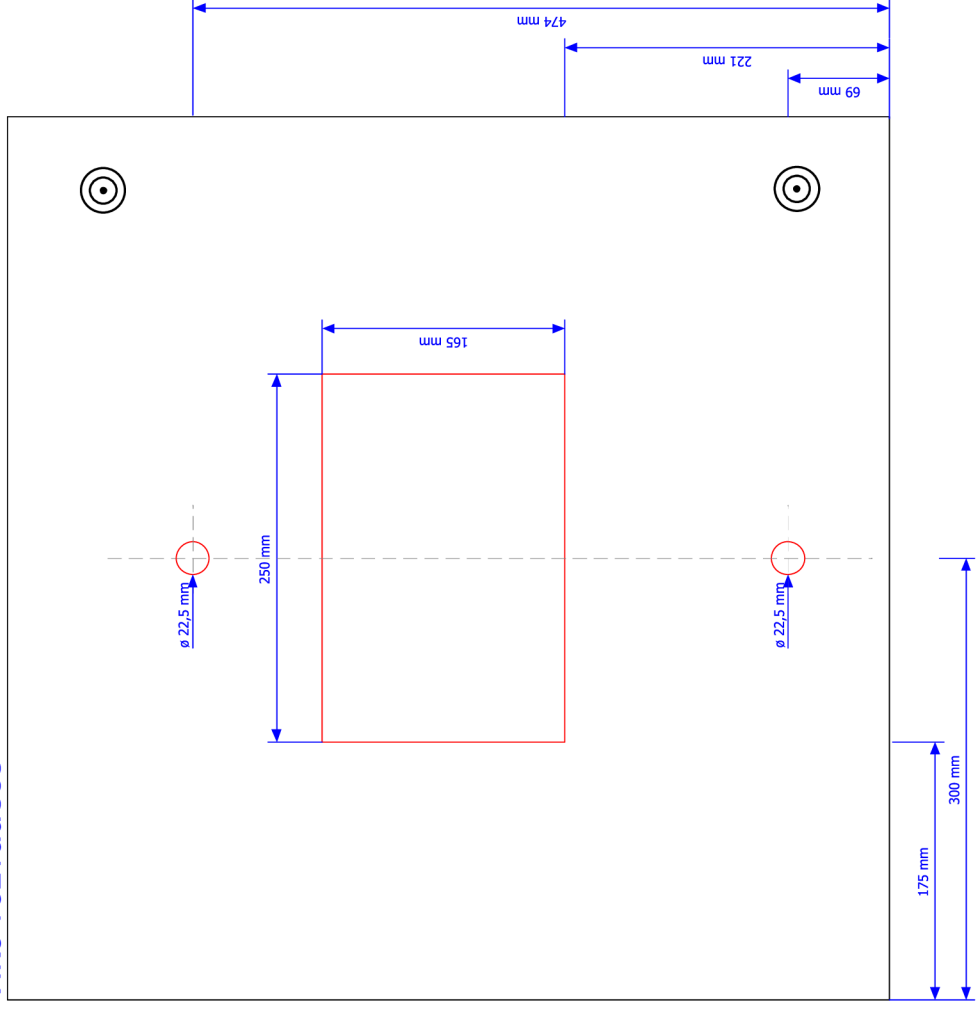
= ANL
+ ELH

LT83210101	List	7d
	List	27

7e

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

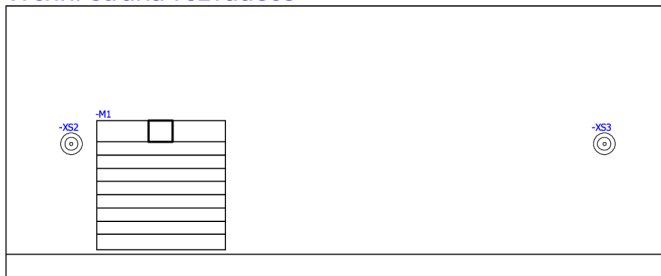
Víko rozvaděče



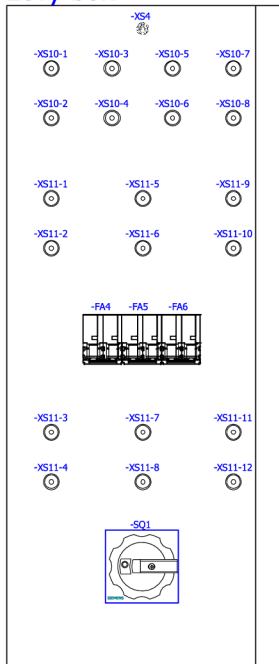
7d		LT83210101		Vrtací a řezací plán - víko rozvaděče		LT83210101		= ANL + ELH		8a
Datum		02.11.2021		Zprac.		ZOBWESK		Lsk		7e
Změna		Název		Náhrada z		Náhrada čim		Lsk		27



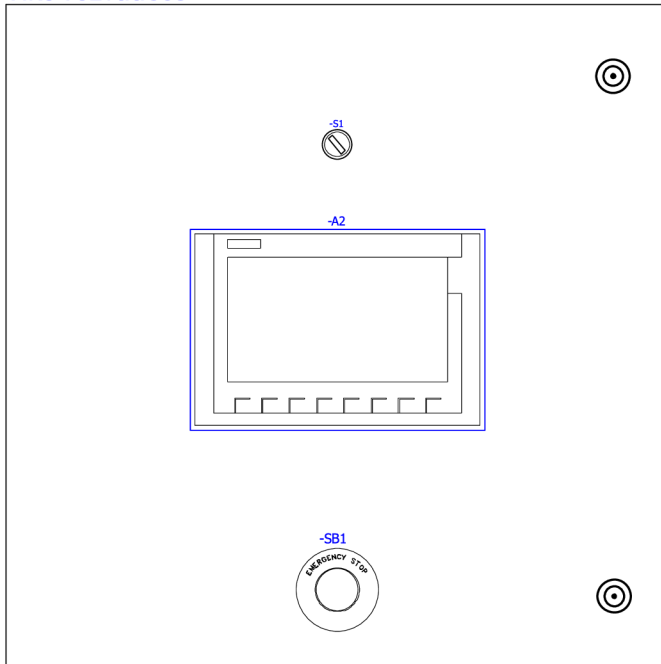
Vrchní strana rozvaděče



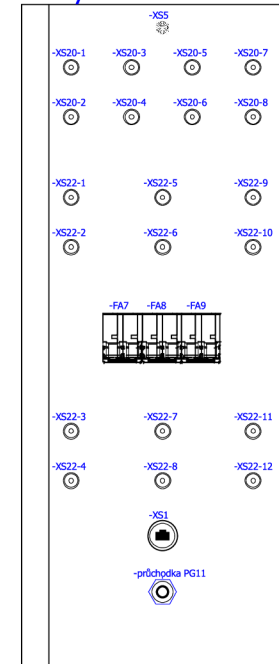
Levý bok



Víko rozvaděče



Pravý bok



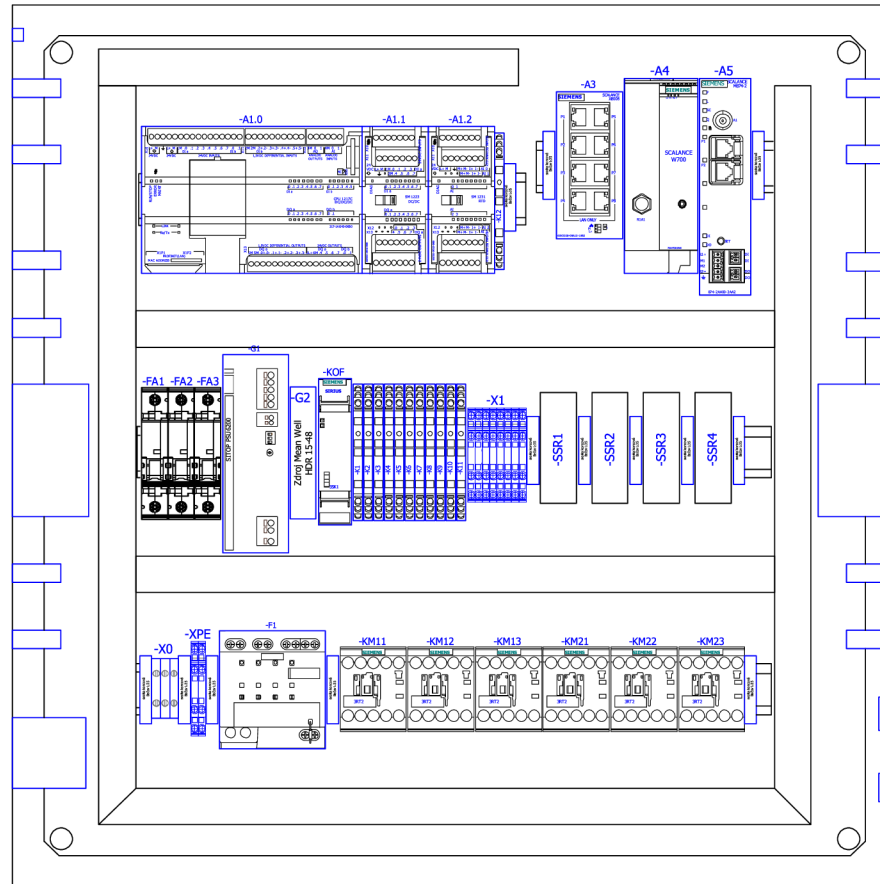
7e

8b

		Datum	11.04.2022	LT83210101		Osazovací plán - Vnější pohled		= ANL	
		Zprac.	Z003W63K					+ ELH	
		Zkontr.							
Změna	Datum	Název	Přív.	Náhrada z	Nahrazeno čím	LT83210101		List	8a
								List	27



Montážní deska



8a

8c

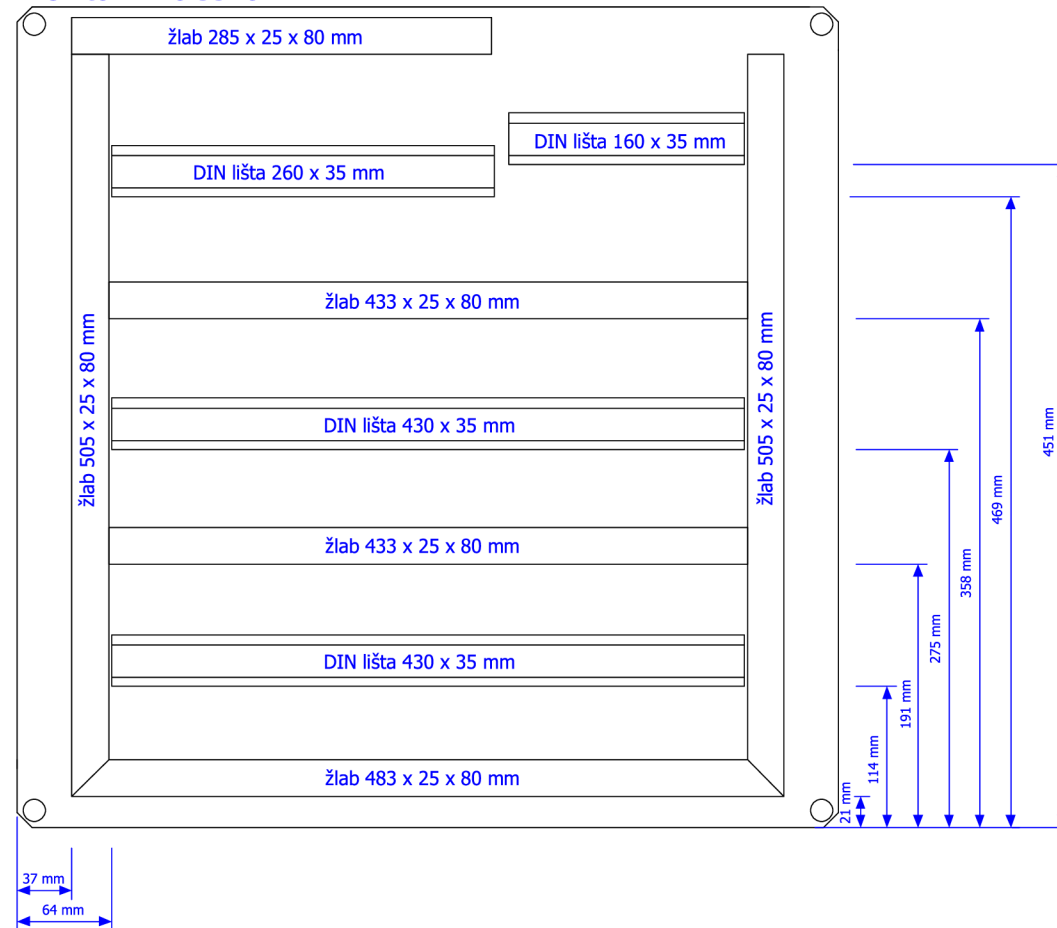
			Datum	13.04.2022	LT83210101				= ANL
			Zprac.	Z003W63K					+ ELH
			Zkontr.						
Změna	Datum	Název	Pův.		Náhrada z	Nahrazeno čím			
								LT83210101	8b
									27



Osazovací plán - Montážní deska

List 8b
List 27

Montážní deska



8b

			Datum	21.02.2022	LT83210101			Osazovací plán - DIN lišty a žlaby		= ANL					
			Zprac.	Z003W63K						+ ELH					
Změna	Datum	Název	Přív.		Náhrada z	Nahrazeno čím				LT83210101	<table border="1"> <tr> <td>List</td> <td>8c</td> </tr> <tr> <td>List</td> <td>27</td> </tr> </table>	List	8c	List	27
List	8c														
List	27														

Příloha D - Vyhodnocení bezpečnostní funkce



SIEMENS

Safety Evaluation Report

TIA Selection Tool

Safety Evaluation Report

Special product properties	
Author	Pavel Dusek
Project manager	Tomas Jukl
Project reviewer	Radek Stohl
Applied standards	ISO 13849-1
Created	8/28/2020 12:58:03 PM
Changed	12/22/2021 4:51:24 PM
TIA Selection Tool Version	2021.12.2.678

1 Safety areas and functions

1.1 L786_Portable mechanical endurance test equipment for laboratory ACB

Special product properties	
Standard to be applied	ISO 13849-1, Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles for design
Description	Master's thesis
Status	OK

1.1.1 Emergency stop



Special product properties	
Description	PLr = c
Required PL	PL c
Achieved PL	PL c
Achieved PFHD	4.59E-07

Details on the subsystems in the Appendix

2 Release of the report

This is used to confirm the correct selection and input of the safety functions as well as their associated, specifically required values. When using application software, the required safety integrity can only be achieved with the software released for this application.

Date:

Date:

Tomas Jukl

Radek Stohl

Disclaimer for safety evaluation

Use of the Safety Evaluation function

With the Safety Evaluation function, you can quickly and easily evaluate safety functions according to the standards IEC 62061 and ISO 13849-1 and then create a report for your documentation. The Safety Evaluation function is a free service provided by Siemens AG and/or a subsidiary of Siemens AG ("Siemens"), which you can use within the TIA Selection Tool. The result of the evaluation is non-binding and is not guaranteed to be complete and functional. You yourself are responsible for proper and safe operation of products in line with applicable regulations and, for this purpose, you must check the functioning of the respective application example and individually adapt it to your system. You receive from Siemens the non-exclusive, non-sublicensable and non-transferable right to usage of the Safety Evaluation function within the TIA Selection Tool by trained personnel.

Using and importing VDMA libraries

Use of the Safety Evaluation function is only permitted if you are using the latest version of the TIA Selection Tool. If you are using older versions of the TIA Selection Tool or additional VDMA libraries from third parties ("external libraries"), you alone are responsible for their use and selection of the version. You need to independently ensure that the current version of the external library is used. Working with old project versions or old versions of external libraries can lead to errors in processes and to incorrect use.

Exclusion of liability

Siemens accepts no liability, regardless of the legal grounds, in particular for the usability, availability, completeness and correctness of the Safety Evaluation function, as well as associated results, notes, performance data and damage resulting from this. Siemens' liability is also excluded if you use outdated versions of the TIA Selection Tool and/or incorporate external libraries. This does not apply if Siemens has mandatory liability, e.g. under the German Product Liability Act (Produkthaftungsgesetz), in case of intent, gross negligence, or culpable injury to life, body or health, non-compliance with a provided guarantee, fraudulent concealment of a deficiency or breach of substantial contractual obligations. The damages for a breach of a substantial contractual obligation are, however, limited to the foreseeable damage, typical for the type of contract, except in the event of intent or gross negligence or injury to life, body or health. The above provisions do not entail a change in the burden of proof to your disadvantage. You release Siemens from any existing or pending claims of third parties in this context, unless Siemens has mandatory liability. By using the Safety Evaluation function, you acknowledge that Siemens cannot be made liable for any claims beyond the liability clause described.

Additional notes

Siemens reserves the right to make changes to the Safety Evaluation function at any time and without notice.

3 Appendix Functions and subsystems

3.1 L786_Portable mechanical endurance test equipment for laboratory ACB

3.1.1 Emergency stop

3.1.1.1 Acquire

Special product properties	
Number of components	1
Components used	Estop button_3SU1100-1HB20-1PG0

Estop button_3SU1100-1HB20-1PG0



Result	
PL	PL d
PFHd	2.29E-07
Type	
Manufacturer	Unknown
Product group	SIRIUS Safety Relays - 3TK28 - Multi-Function Devices
Product name	
Article number	3SU1...-1.B20
Description	
Device-specific, safety-instrumented values	
Failure rate calculation	B10
Component category	2
B10	1.00E+05
Percentage of dangerous failures [%]	20
Number of operations / test interval [switching cycles]	260 per year
Max. service life, T1 [years]	20
Replacement of components, T1 [years]	20
DC [%]	90
CCF [points]	≥ 65

3.1.1.2 EVALUATE

Special product properties	
Number of components	1
Components used	Safety logic_3SK1111-1AB30

Safety logic_3SK1111-1AB30



Result	
PL	PL e
PFHd	1.70E-09

Type	
Manufacturer	SIEMENS AG
Product group	SIRIUS Safety Relays - 3SK1
Product name	SIRIUS Safety Relays - 3SK1 3SK1 Standard basic unit (relay) 3SK1111-.AB30
Article number	3SK1111-.AB30
Description	

Device-specific, safety-instrumented values	
Failure rate calculation	PL
PL	PL e
PFHd	1.70E-09
Max. service life, T1 [years]	20
Replacement of components, T1 [years]	20

3.1.1.3 REACT

Special product properties	
Number of components	1
Components used	Contactor_3RT2018-1UB42

Contactor_3RT2018-1UB42



Result	
PL	PL c
PFHd	2.29E-07

Type	
Manufacturer	SIEMENS AG
Product group	SIRIUS Contactors / Motor Starters
Product name	SIRIUS Contactors / Motor Starters Contactor 3RT 3RT20*
Article number	3RT20
Description	

Device-specific, safety-instrumented values	
Failure rate calculation	B10
Component category	2
B10	1.00E+06
Percentage of dangerous failures [%]	73
Number of operations / test interval [switching cycles]	260 per year
Max. service life, T1 [years]	20
Replacement of components, T1 [years]	20
DC [%]	90
CCF [points]	≥ 65
Safe state via Testing Channel	No

Published by
Siemens AG

Digital Industries
Factory Automation
P.O. box 4848
90026 Nuremberg
Germany

For U.S. only:
Siemens Industry Inc.

100 Technology Drive
Alpharetta, GA 30005
United States

Copyright© 2021 Siemens

The TIA SELECTION TOOL and all its editions are made available to you at no charge. We therefore do not assume any warranty, in particular for the accuracy, correctness, completeness, availability or usability of this tool. Our liability for damages resulting from using the examples, help notes, programs, configuration and performance data, etc. described in this TIA SELECTION TOOL and all its editions regardless of the legal background is excluded unless required by law, e.g. in cases of willful misconduct, gross negligence, personal injury or death, failure to achieve guaranteed characteristics or fraudulent concealment of a defect or in case of breach of fundamental contractual obligations. Distribution or reproduction of this TIA SELECTION TOOL and all its editions or excerpts from it is prohibited unless expressly permitted by Siemens. The latest firmware and hardware versions are configured in the TIA Selection Tool.