

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Adaptér pro kontrolu funkce EVSE
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jiří Soukup**
Osobní číslo: **D22260**
Studijní program: **B0788A040001 Dopravní technika**
Specializace: **Elektrická trakce a elektromobilita**
Téma práce: **Adaptér pro kontrolu funkce EVSE**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

Zásady pro vypracování

Navrhněte a vytvořte adaptér pro kontrolu funkce nabíjecí stanice (EVSE) pro elektromobily. Adaptér bude simulovat připojené elektrické vozidlo k nabíjecí stanici s konektorem typu 2 v režimu nabíjení 3. Bude umožňovat simulaci normálních i chybových stavů nabíjení a umožňovat bezpečné měření fázových napětí a připojování proudové zátěže. Ve spojení s testerem el. instalací bude umožňovat komplexní kontrolu funkce a bezpečnosti nabíjecí stanice. Funkce adaptéru ověřte praktickým měřením na reálné nabíjecí stanici.

K vytvořenému adaptéru napište manuál. Funkce adaptéru ověřte praktickým měřením na reálné nabíjecí stanici.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] Přednášky z příslušných předmětů.
- [2] Podklady poskytnuté vedoucím práce.
- [3] ČSN EN IEC 61851-1 ed.3, *Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením – Část 1: Obecné požadavky*. Červen 2020.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Mašek, Ph.D.**
Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací
techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: **6. května 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **9. května 2025**

L.S.

doc. Ing. Ladislav Řoutil, Ph.D.
děkan

Ing. Vítězslav Krčmář, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 6. května 2024

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Práci s názvem Adaptér pro kontrolu funkce EVSE jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci použil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu této Bakalářské práce panu Ing. Zdeňku Maškovi, Ph.D., za odborné vedení, ochotu, důslednost, cenné rady a připomínky, které mi během zpracování této práce věnoval.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině, která mě po celou dobu studia podporovala.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá návrhem adaptéru pro kontrolu funkce nabíjecí stanice (EVSE) pro elektromobily. Adaptér simuluje elektrické vozidlo připojené k nabíjecí stanici s konektorem typu 2 v režimu nabíjení 3.

Klíčová slova

EVSE, simulátor EV, konektor typ 2, Proximity pilot, Control pilot

Title

Adapter for checking EVSE function

Abstract

The bachelor's thesis deals with the design of an adapter for checking the function of a charging station (EVSE) for electric vehicles. The adapter simulates an electric vehicle connected to a charging station with a type 2 connector in charging mode 3.

Keywords

EVSE, simulator EV, connector type 2, Proximity pilot, Control pilot

Obsah

Seznam zkratek.....	10
Úvod.....	11
1 Propojení EV s EVSE.....	12
1.1 Způsoby připojení EV k EVSE.....	12
1.2 Režimy nabíjení EV.....	13
1.2.1 Režim nabíjení 1.....	13
1.2.2 Režim nabíjení 2.....	14
1.2.3 Režim nabíjení 3.....	15
1.2.4 Režim nabíjení 4.....	15
1.3 Nabíjecí konektor.....	16
1.4 Konektor typu 2 (Mennekes).....	17
1.4.1 Proximity pilot (PP).....	19
1.4.2 Control pilot (CP).....	19
2 EVSE.....	22
2.1 Funkce EVSE.....	22
2.2 Proudový chránič (RCD).....	22
2.3 Revize EVSE.....	24
2.3.1 Revize proudových chráničů.....	24
2.3.2 Měření impedance poruchové smyčky.....	25
2.3.3 Měření izolačního odporu.....	26
2.4 Wallbox Phoenix Contact 22 kW.....	27
2.4.1 Hlavní odpínač (O1).....	30
2.4.2 Proudový chránič (CH).....	31
2.4.3 Třífázový jistič (J1).....	31
2.4.4 Elektroměr (EM).....	31
2.4.5 Třífázový stykač (St).....	32
2.4.6 Monitor zbytkového proudu (RCM).....	32
2.4.7 Řídící jednotka wallboxu (R).....	33
2.4.8 Napájecí zdroj (Lp).....	33
3 Simulátor EV.....	34
3.1 Metrel A1532 XA.....	34
3.1.1 Uživatelská příručka – Metrel A1532 XA:.....	36
3.1.2 Metrel Eurotest XC MI 3152 EU.....	36

4	Výroba simulátoru EV pro režim nabíjení 3B a 3C.....	37
4.1	Požadavky na vlastnosti simulátoru pro režim nabíjení 3B a 3C.....	38
4.2	Návrh simulátoru pro režim nabíjení 3B.....	39
4.2.1	Elektrické schéma.....	39
4.2.2	Mechanické provedení.....	39
4.2.3	Deska plošného spoje (DPS).....	39
4.3	Návrh simulátoru pro režim nabíjení 3C.....	43
4.3.1	Elektrické schéma.....	44
4.3.2	Mechanické provedení.....	48
4.3.3	Deska plošného spoje DPS.....	48
5	Návod na použití simulátorů EVSE pro režimy nabíjení 3B a 3C.....	52
5.1	Uživatelská příručka pro simulátory EV.....	52
5.2	Testování simulátorů pro režim nabíjení 3B a 3C.....	53
5.2.1	Testování simulátoru pro režim nabíjení 3B.....	53
5.2.2	Testování simulátoru pro režim nabíjení 3C.....	55
	Závěr.....	56
	Literatura.....	57
	Seznam příloh.....	59

Seznam zkratek

EV (electric vehicle) – elektrické vozidlo

EVSE (electric vehicle supply equipment) – zařízení pro napájení elektrických vozidel (nabíjecí stanice, wallbox)

PP (Proximity pilot) – pin v konektoru typu 2

CP (Control pilot) - pin v konektoru typu 2

RCD (residual current device) – proudový chránič

DPS – deska plošného spoje

Úvod

V posledních letech dochází ke stále většímu rozvoji elektromobility, která se stává důležitým hráčem na dopravním trhu. S narůstajícím počtem elektrických vozidel, narůstají i nároky na infrastrukturu nabíjecích stanic, které musí zajistit bezpečné a spolehlivé dobíjení. V důsledku toho roste také potřeba jejich testování a diagnostiky.

Cílem této práce je vytvoření simulátoru elektrického vozidla, který se používá pro testování nabíjecích stanic. Prakticky se jedná o zařízení, které simuluje chování elektrického vozidla během jeho připojení a následného nabíjení. Obsahuje simulaci několika závad, které mohou mezi nabíjecí stanicí a elektrickým vozidlem nastat.

Na trhu existuje celá řada komerčně vyráběných simulátorů, jejichž cena se pohybuje v rozmezí 10 000 až 20 000 Kč. Jedním z nich je například Metrel A1532 XA, který se stal vzorem pro tuto bakalářskou práci. Simulátor, který vytvořím, bude cenově dostupnější variantou a navíc nahradí dosavadní zařízení používané při výuce.

V rámci této práce budou nejdříve specifikovány funkční požadavky, následně bude navrženo elektrické schéma, proveden výběr vhodných elektrických součástek, mechanický návrh zařízení a návrh desky plošného spoje. Poté bude zařízení zkonstruováno a otestováno. Výsledný simulátor bude koncipován tak, aby mohl být v budoucnu použit s testerem nabíjecích stanic podle normy ČSN EN IEC 61851-1, jakým je například Metrel Eurotest XC MI 3152 EU.

1 Propojení EV s EVSE

Jak již bylo zmíněno v úvodu, simulátor který jsem vyrobil, simuluje elektromobil a slouží k testování funkcí EVSE. Než se zaměřím na popis nabíjecího wallboxu a samotného simulátoru, v první části této práce si popíšeme jejich vzájemné propojení.

1.1 Způsoby připojení EV k EVSE

Existují celkem tři způsoby, jak je možné připojit elektromobil přes nabíjecí stanici. Způsob připojení A je nejméně rozšířený a je spíše typický pro starší provedení. Naproti tomu nejpoužívanější je způsob C. Podle mého názoru byla snaha se co nejvíce přiblížit zaběhlému způsobu čerpacích stanic.

Způsob (mód) připojení A [1]:

V tomto případě je nabíjecí kabel a vidlice přímo součástí vozidla a je k vozidlu trvale připojen. Vidlice se připojuje k nabíjecí stanici do zásuvky.



Obrázek 1 - Způsob (mód) připojení A [2]

Způsob (mód) připojení B [1]:

Tato možnost nabízí odpojení nabíjecího kabelu na obou koncích. Vozidlo i nabíjecí stanice jsou vybaveny zásuvkami, do kterých se zastrčí vidlice nabíjecího kabelu.



Obrázek 2 - Způsob (mód) připojení B [2]

Způsob (mód) připojení C [1]:

V posledním případě je nabíjecí kabel trvale připojen k nabíjecí stanici, vidlice se zasouvá do zásuvky, která je součástí vozidla.



Obrázek 3 - Způsob (mód) připojení C [2]

1.2 Režimy nabíjení EV

1.2.1 Režim nabíjení 1

Režim nabíjení 1 se skládá pouze z klasické zásuvkové vidlice pro připojení do sítě 230 V/50 Hz, nabíjecího kabelu a vidlice, která se připojuje do vozidla. Tento způsob není vybaven žádným doplňkovým příslušenstvím, takže během nabíjení nedochází ke komunikaci mezi vozidlem a nabíjecím kabelem, z tohoto důvodu je tento způsob v některých zemích považován za nebezpečný a je zakázán. Obě zásuvkové vidlice musejí být vybaveny ochranným zemním vodičem PE.

Jmenovité hodnoty proudu a napětí nesmí překročit [1]:

- 16 A a 250 V AC, jednofázově;
- 16 A a 480 V AC, třífázově.

Toto řešení je typické pro menší dopravní prostředky, jakou jsou elektrokola, elektroskútry, elektromotocykly a menší elektromobily [3]. Nabíjecí výkon je přibližně 2,3 kW při napájení ze zásuvky 230 VAC / 10 A. Použitý proudový chránič (dále už jen RCD) musí být minimálně typu A. Tento typ chrání pouze před unikající střídavou složkou proudu, nikoliv před unikající stejnosměrnou složkou.

Jedná se o velmi pomalý způsob nabíjení. Průměrná spotřeba elektromobilu je 15 až 20 kW/100 km, můžeme si vypočítat kolik energie by se do akumulátoru uložilo, kdyby uživatel nabíjel své vozidlo přes noc, například za 8 hodin. Nejdříve vypočteme hodnotu množství naakumulované energie (uvažují účinník $\cos \phi = 1$):

$$E_{nabitá} = t_{nabíjení} \cdot P_{nabíjecí} \quad (1)$$

Kde:

$E_{nabitá}$ = množství energie uložené v akumulátoru [kWh]

$t_{nabíjení}$ = čas nabíjení [h]

$P_{nabíjení}$ = nabíjecí výkon [kW]

$$E_{nabitá} = 8 \cdot 2.3 = 18,4 \text{ kWh} \quad (1)$$

Takové množství energie bychom byli schopni do akumulátoru uložit v ideálním případě, pokud by účinnost byla 100 %. Část energie se vždy zmaří v teplo na palubní nabíječe, a také musíme mít na paměti, že má vozidlo určitou vlastní spotřebu, která činí několik set W. Z toho plyne, že do baterie doputuje přibližně 90 % energie odebírané z nabíjecí stanice.

$$E_{nabitá} = t_{nabíjení} \cdot P_{nabíjecí} \cdot \eta_{90\%} \quad (2)$$

Kde:

$\eta_{90\%}$ = uvažovaná účinnost 90 % [-]

$$E_{nabitá} = 8 \cdot 2.3 \cdot 0,9 = 16,56 \text{ kWh} \quad (2)$$

Celkový dojezd vozidla vypočítáme podle vzorce:

$$l = \frac{E_{nabitá}}{s} \quad (3)$$

Kde:

l = ujetá vzdálenost [km]

$E_{\text{nabitá}}$ = množství energie uložené v akumulátoru [kWh]

s = spotřeba elektrické energie [kWh/km]

$$l = \frac{16,56}{20} \cdot 100 = 82,8 \text{ km} \quad (3)$$

Vozidlo by tedy bylo schopné ujet za 8 hodin nabíjení vzdálenost 82,8 km.



Obrázek 4 - Režim nabíjení 1 [4]

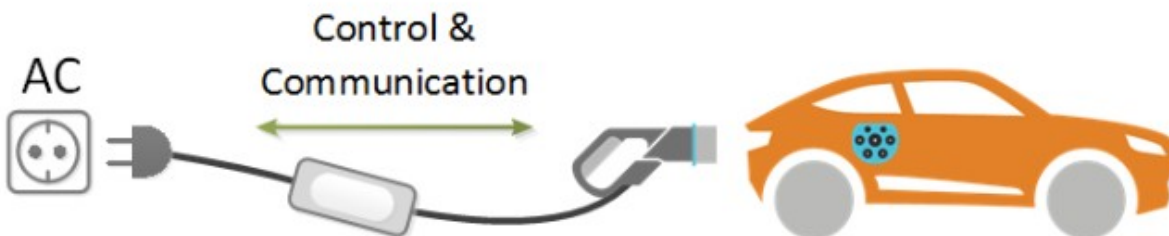
1.2.2 Režim nabíjení 2

Režim nabíjení 2 je prakticky režim nabíjení 1 s doplňkovou elektronikou pro komunikaci mezi vozidlem a EVSE na kabelu. Komunikace mezi EVSE na kabelu a vozidlem probíhá prostřednictvím dvou pinů PP a CP, které jsou typické pro nabíjecí konektor typu 2 (Mennekes). Nabíjecí kabel musí obsahovat RCD typu B. Díky tomu je tento systém bezpečný a hojně používaný. Obě zásuvkové vidlice musejí být vybaveny ochranným zemním vodičem PE.

Jmenovité hodnoty proudu a napětí nesmí překročit [1]:

- 32 A a 250 V AC, jednofázově;
- 32 A a 480 V AC, trojfázově.

Rychlost nabíjení je větší, než v režimu 1, nabíjecí proud se pohybuje v rozmezí 10 až 32 A za předpokladu, že má vozidlo palubní nabíječku, která umí 32 A jednofázově nebo 32 A trojfázově. Pokud bychom nabíjeli proudem 32 A, nabíjecí výkon by dosáhl hodnoty 7,36 kW. Použijeme-li rovnici 1, 2 a 3, dostaneme, že doplníme do baterie za 8 hodin energii 52,992 kWh a dojezd bude činit 264,96 km pro nabíjecí proud 32 A.



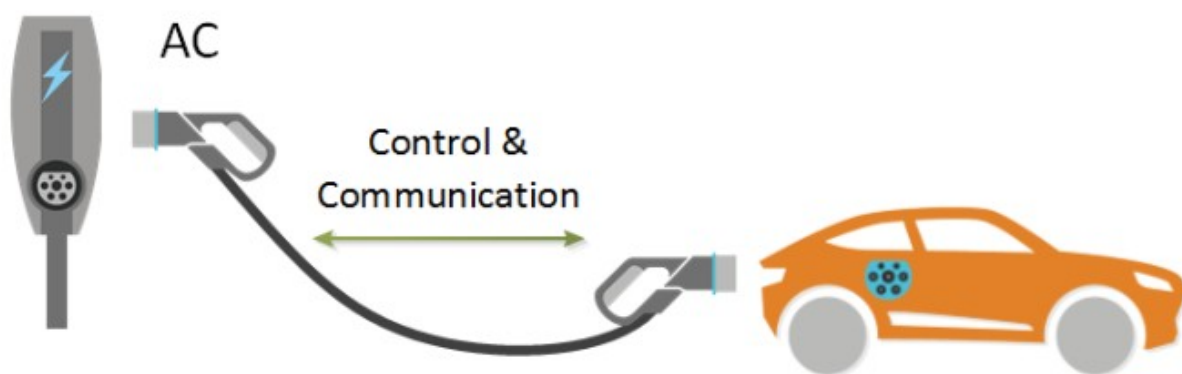
Obrázek 5 - Režim nabíjení 2 [4]

1.2.3 Režim nabíjení 3

Režim nabíjení 3 se odlišuje od dvou předchozích variant tím, že zdrojem napětí už není klasická vidlicová zásuvka, ale speciální zařízení určené k napájení elektrických vozidel. Jedná se buď o veřejnou nabíjecí stanici, nebo domovní wallbox. Stejně jako v předchozím případě i zde dochází ke komunikaci mezi vozidlem a nabíjecí stanicí, a to opět pomocí pinů PP a CP. Do vozidlové vidlice musí být zaveden ochranný vodič PE.

V tomto případě jsou dvě možnosti, jak vozidlo chránit před unikajícím proudem. První možnost používá RCD typu A, spolu s monitorem DC proudu do 6 mA. Pro tuto kombinaci se používá název RCD typu EV. Druhou možností je použít RCD typu B.

Vozidlo je napájené 400 VAC a proudem maximálně 32 A. Pokud opět použijeme rovnice 1, 2 a 3 pro výpočet uložené energie v akumulátoru a dojezdu vozidla, doplníme do baterie za 8 hodin energii 92,16 kWh a získáme dojez 460,8 km.

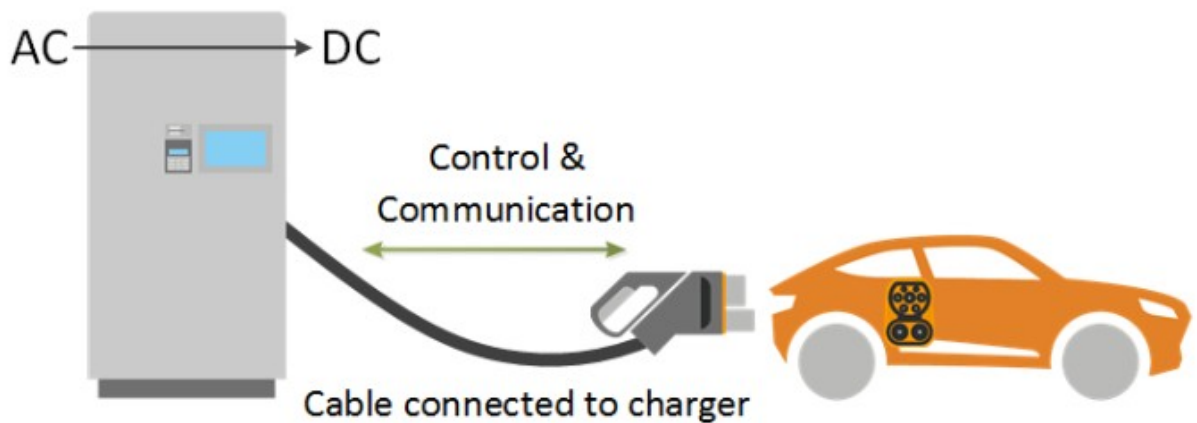


Obrázek 6 - Režim nabíjení 3 [4]

1.2.4 Režim nabíjení 4

Režim nabíjení 4 může být proveden pomocí pevné instalace (nabíjecího stojanu), nebo pomocí přenosné nabíjecí stanice. Liší se ale druhem napájecího proudu a napětí, v tomto případě se používá stejnosměrný proud a napětí (DC). Jedná se o nejrychlejší způsob nabíjení, nazývaný také rychlonabíjení. Maximální nabíjecí výkon v roce 2025 je 260 kW DC [11]. Jedná se ale pouze o maximální nabíjecí výkon podporovaný vozidly, jako je například Zeekr 7X, nebo Lotus Eletre. Existují nabíjecí stanice, jako je například Terra HP charger, které dokáží dodat maximální výkon až 350 kW [8].

Pro tento způsob nabíjení se používá kombinace konektoru typu 2 a CCS2 konektor (Evropa), jak je patrné z následujícího obrázku. Do vozidlové vidlice musí být zaveden ochranný vodič PE.



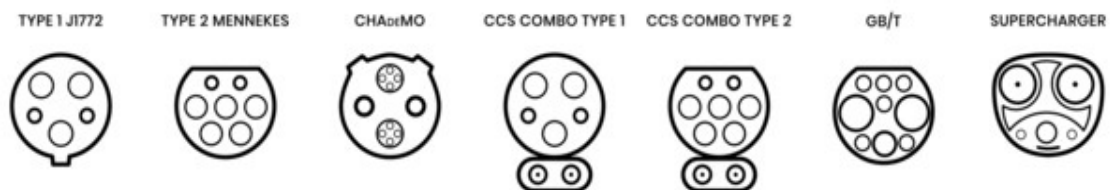
Obrázek 7 - Režim nabíjení 4 [4]

1.3 Nabíjecí konektor

Aktuálně je ve světě používáno mnoho druhů nabíjecích konektorů, dá se říct, že co kontinent to jiný konektor. Nabíjecí konektory můžeme rozdělit na tři druhy:

- Pro střídavý proud (AC): typ 1 (J1772), typ 2 (Mennekes), GB/T
- Pro stejnosměrný proud (DC): CCS1, CCS2, CHAdeMO, GB/T
- Kombinované (AC i DC): Tesla (NACS) – Supercharger

TYPES OF ELECTRIC VEHICLE PLUGS

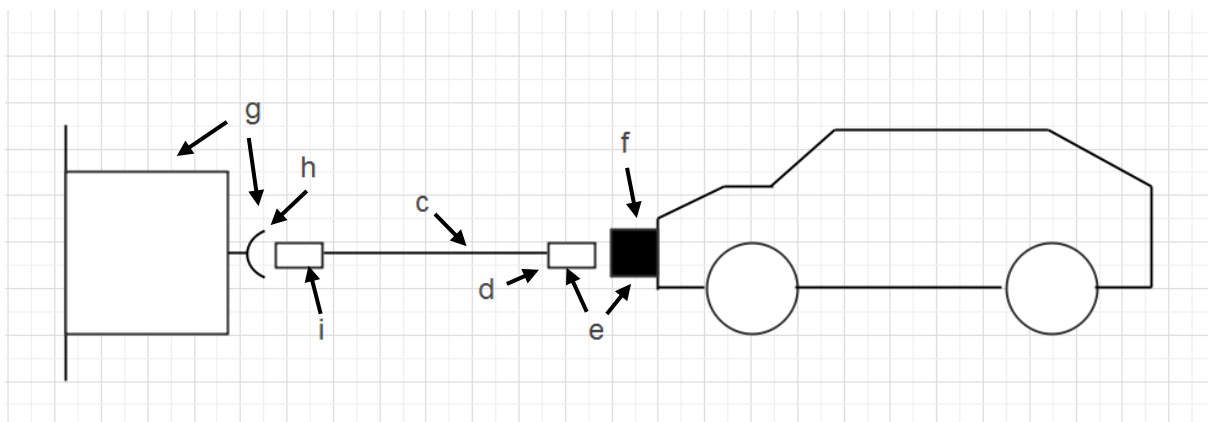


Obrázek 8 - Druhy nabíjecích konektorů [5]

V Severní Americe se používají konektory typ 1, CCS1 a Tesla Supercharger, v Japonsku také typ 1 a CHAdeMO, v Číně GB/T a typ 2 je typický pro evropský trh. Simulátor EV, který jsem vytvořil, používá konektor typu 2, proto se v této práci budeme podrobněji zabývat pouze jím.

1.4 Konektor typu 2 (Mennekes)

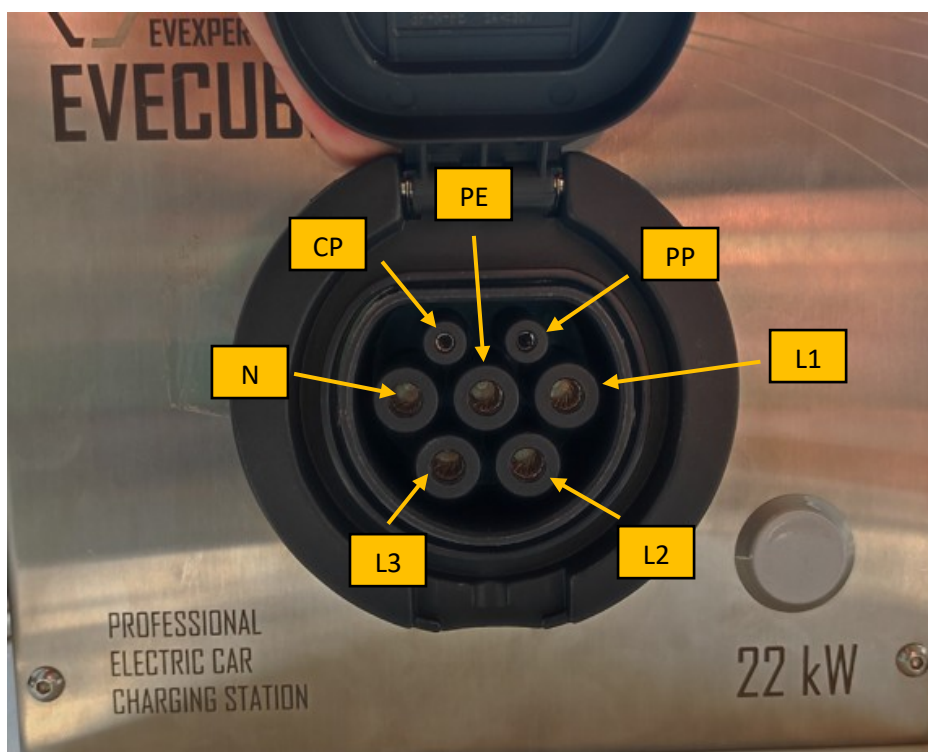
Norma ČSN EN IEC 61851-1 přesně definuje názvy jednotlivých částí způsobu připojení EVSE a EV.



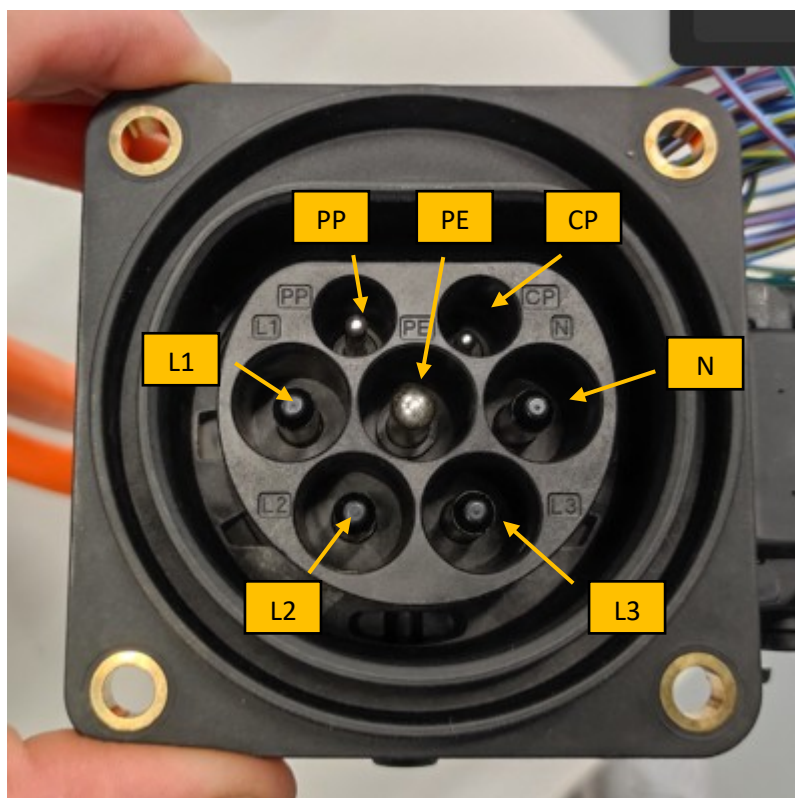
Obrázek 9 - Způsob připojení B [1]

Legenda k obrázku číslo 9 [1]:

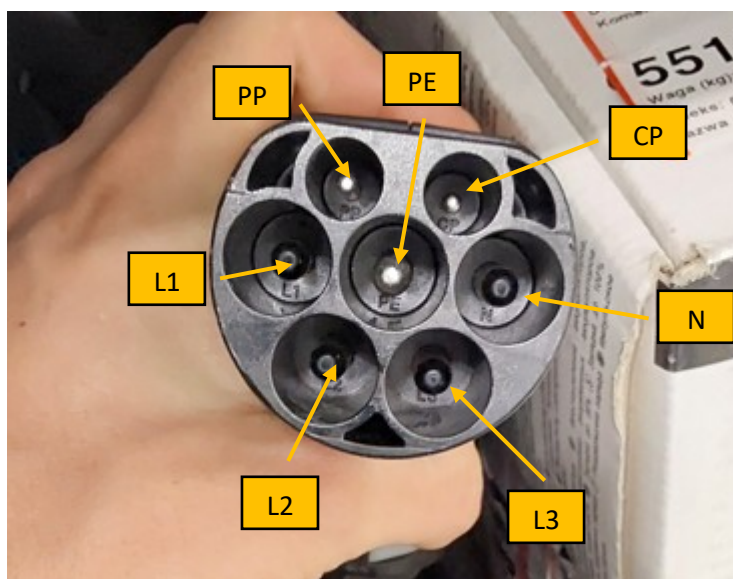
- c – kabel
- d – vozidlová nástrčka
- e – vozidlové zásuvkové spojení
- f – vozidlová přívodka
- g – nabíjecí stanice
- h – zásuvka EV
- i – vidlice EV



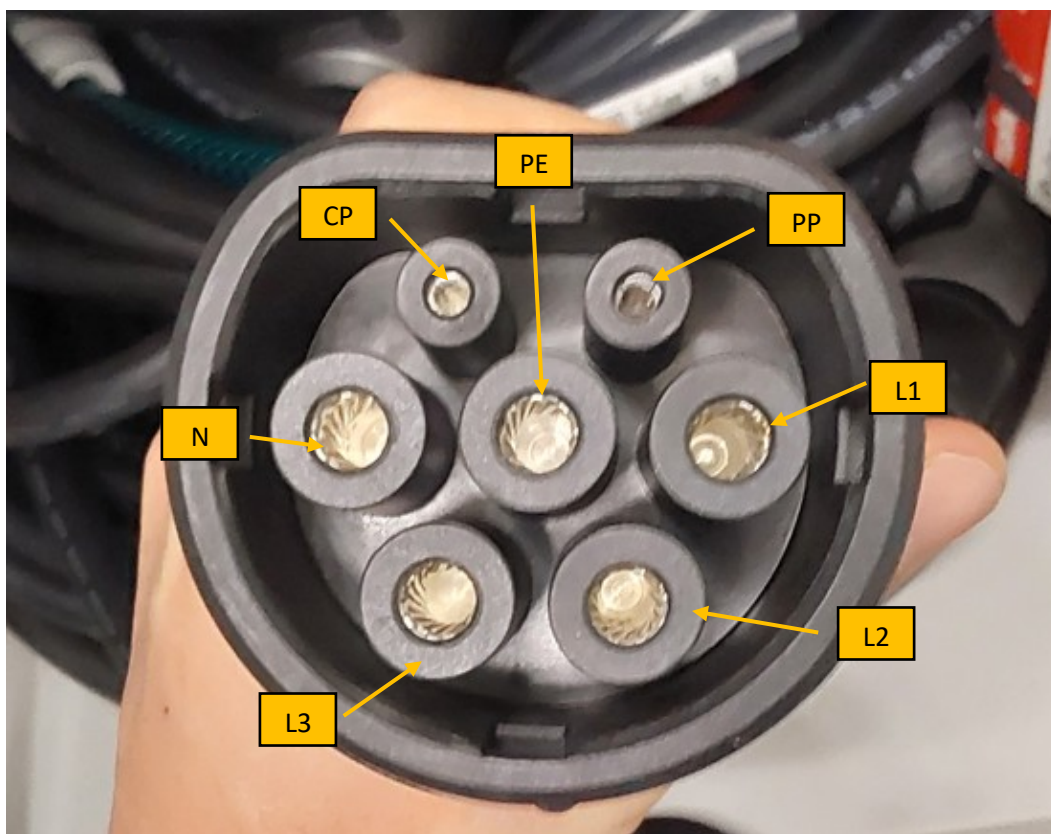
Obrázek 10 - Konektor typu 2 (Mennekes) - zásuvka EV na nabíjecí stanici



Obrázek 11 - Konektor typu 2 (Mennekes) - vozidlová přívodka na vozidle



Obrázek 12 - Konektor typu 2 (Mennekes) - vidlice EV na kabelu



Obrázek 13 - Konektor typu 2 (Mennekes) - vozidlová nástrčka na kabelu

Jak je z obrázku patrné konektor typu 2 se skládá ze tří fází označených jako L1, L2 a L3, nulového vodiče N a ochranného vodiče PE. Další dva vodiče označené jako CP a PP jsou typické pro nabíjecí konektory elektromobilů a budou podrobněji popsány.

1.4.1 Proximity pilot (PP)

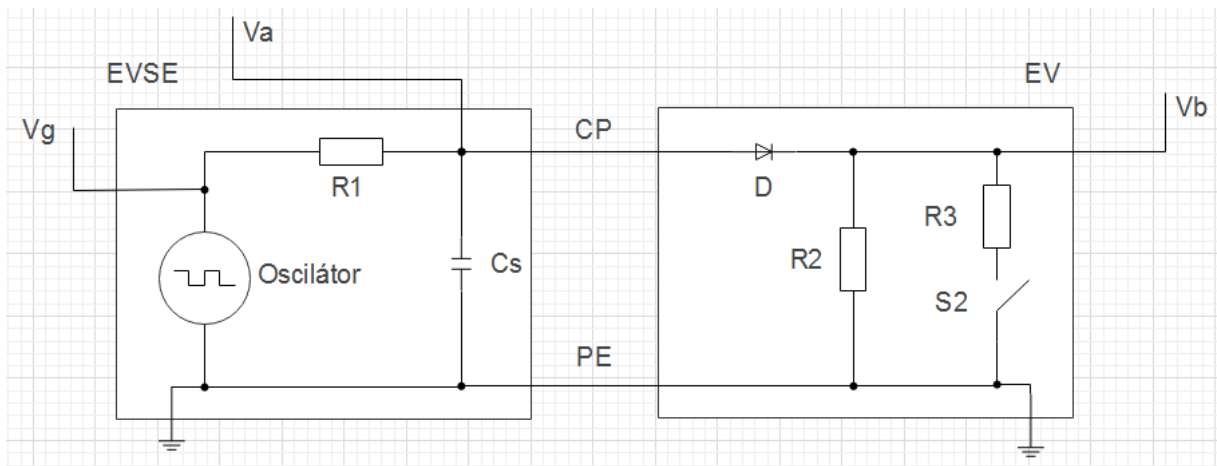
Pin PP slouží pro detekci připojeného kabelu mezi vozidlem a wallboxem a také pro určení maximálního proudu, který může vodičem protékat [2]. Mezi pinem PP a PE je připojený rezistor, podle jeho velikosti se určí velikost maximálního protékajícího proudu dle průřezu vodičů v nabíjecím kabelu. Pokud je překročena maximální hodnota proudu, EVSE musí přerušit dodávku proudu [1]. Typické hodnoty rezistorů a maximálních proudů nabíjecího kabelu jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 1 - Kódování rezistorů proudu pro vidlici EV a vozidlovou nástrčku [1]

Odpor R	Proud každé fáze	Průřez vodiče	Minimální hodnota výkonu rezistorů
1500 Ω	13 A	1,5 mm ²	0,5 W
680 Ω	20 A	2,5 mm ²	0,5 W
220 Ω	32 A	6 mm ²	1 W
100 Ω	63 A (3f) / 70 A (1f)	16 mm ²	1 W

1.4.2 Control pilot (CP)

Pin CP, pomocí kterého dochází ke komunikaci mezi EV a EVSE.

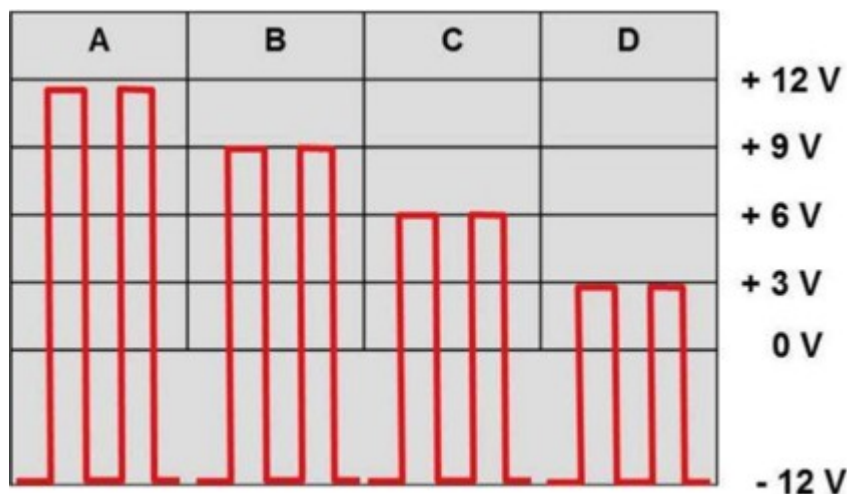


Obrázek 14 - Obvod řídicího signálu [1]

Obrázek 14 znázorňuje typické schéma obvodu řídicího signálu. Levá část označená jako EVSE představuje nabíjecí zařízení (např. wallbox nebo nabíjecí stanici). Naopak na pravé straně se nachází elektrické vozidlo EV (electric vehicle). Komunikace mezi EV a EVSE probíhá pomocí PWM signálu, který generuje oscilátor. Podle velikosti kladné amplitudy PWM signálu EVSE pozná, v jakém stavu je vozidlo.

Stavy vozidla:

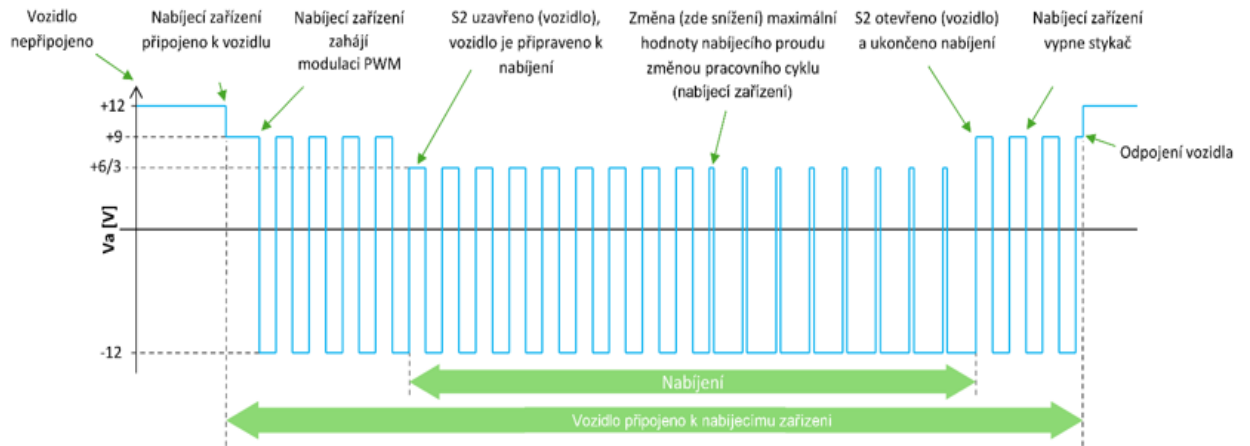
- Stav A – není detekováno vozidlo
- Stav B – vozidlo je detekováno, ale nevyžaduje nabíjení
- Stav C – vozidlo požaduje nabíjení
- Stav D – vozidlo požaduje rychlé nabíjení (DC)



Obrázek 15 - signál na CP proti PE [2]

Pokud vozidlo není připojeno k EVSE hodnota napětí signálu PWM proti PE je 12 V. Připojíme-li vozidlo, hodnota napětí klesne na 9 V, protože se do obvodu zapojí nespínaný rezistor R2. Pokud vozidlo požaduje nabíjení, sepne spínač S2 a vozidlo se začne nabíjet. Kladné napětí klesne na 6 V. V EVSE sepne do 3 stykač, od této chvíle je v nabíjecí zásuvce napětí. EVSE komunikuje s vozidlem a informuje ho, jaký maximální proud může odebírat. Palubní nabíječka reguluje nabíjecí proud. Před koncem nabíjení vozidlo zajistí pokles nabíjecího proudu na nulu

a následně rozezne spínače S2 a hodnota PWM stoupne na 9 V. V EVSE vypne stykač do 100 ms, nabíjecí zásuvka nebude pod napětím. Celý cyklus je zobrazen na následujícím obrázku.



Obrázek 16 - Signál na pinu CP proti PE [2]

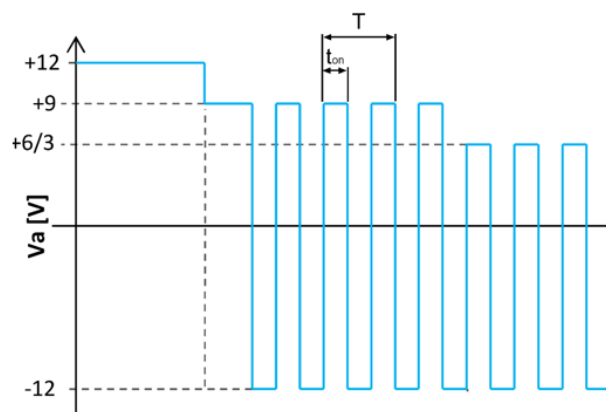
PWM (pulzně šířková modulace) je typ modulace, při níž dochází ke změně šířky pulzu, ale frekvence zůstává konstantní (perioda). Informace je ukryta v poměru mezi dvěma možnými stavy, vypnuto/zapnuto. Čas, kdy je signál zapnut ku celkové periodě vyjadřuje parametr střída. Pomocí PWM EVSE nastavuje maximální proud, který může vozidlo z EVSE odebrat. Střída je definována následujícím vzorcem [2]:

$$D_i = \frac{\tau_{on}}{T} * 100 [\%] \quad (4)$$

Kde:

τ_{on} = doba, kterou je signál zapnut (kladný pulz)

T = perioda signálu



Obrázek 17 - Střída PWM signálu na pinu CP [2]

Tabulka 2 – Maximální proud odebíraný vozidlem [1]

Střída (D_{in}) PWM signálu	Max. proud odebíraný vozidlem	Popis
$D_{in} < 3 \%$	0 A	Odběr proudu není povolen
$3 \% \leq D_{in} \leq 7 \%$	Jak je indikováno pomocí digitální komunikace.	Musí být navázána digitální komunikace mezi EV a EVSE před dodáním energie. Bez digitální komunikace není povolen odběr proudu.
$7 \% < D_{in} < 8 \%$	0 A	Odběr proudu není povolen
$8 \% \leq D_{in} < 10 \%$	6 A	
$10 \% \leq D_{in} \leq 85 \%$	$D_{in} \times 0,6 \text{ A}$	
$85 \% < D_{in} \leq 96 \%$	$(D_{in} - 64) \times 2,5 \text{ A}$	
$96 \% < D_{in} \leq 97 \%$	80 A	
$97 \% < D_{in} \leq 100 \%$	0 A	Odběr proudu není povolen

2 EVSE

2.1 Funkce EVSE

EVSE (electric vehicle supply equipment), neboli zařízení pro napájení elektrických vozidel slouží pro nabíjení elektrických vozidel, jako jsou elektromobily, hybridy, elektromotocykly, elektroskútry a další. Sem spadá nabíjecí wallbox (AC i DC), nabíjecí stanice (AC i DC) a i nabíjecí kabel pro režim nabíjení 2.

Jelikož existuje mnoho druhů EVSE, rozhodl jsem se, že v této práci popíšu jen Wallbox Phoenix Contact 22 kW, který se nacházejí ve výukovém a výzkumném centru v Doubravících a na kterém budu testovat funkci simulátoru EV. Než přejdu na popis jednotlivých částí Wallboxu Phoenix Contact 22 kW, v první části této kapitoly se chci věnovat velice důležité části EVSE a tou je proudový chránič.

2.2 Proudový chránič (RCD)




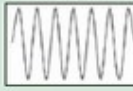

Proudový chránič je zařízení, které chrání osoby před nebezpečným dotykovým napětím a také proti požáru. Proudový chránič odpojí obvod, který chrání, pokud část elektrického proudu protéká mimo obvod, například při poškození izolace, nebo při doteku člověka [6].

Existuje několik druhů proudových chráničů, je velmi důležité vybrat ten správný, jelikož unikající proud může mít více podob. Unikající proud nemusí být pouze střídavý, vlivem polovodičových prvků (např. diod) může mít stejnosměrný i usměrněný charakter.

- 1) **RCD typu AC** nereaguje na usměrněné reziduální (unikající) pulzní proudy [7]. Navíc reziduální usměrněný proud může způsobit znečistvení chrániče na reziduální střídavý proud.
- 2) **RCD typu A a F** už reagují i na usměrněné pulzní proudy o velikosti 0,35 až 1,4 násobku jmenovitého proudu [7]. Nedokáží detekovat stejnosměrné proudy, navíc by je mohl stejnosměrný proud udělat méně citlivé, nebo dokonce poškodit, ale na rozdíl od RCD

typu AC jsou odolné na malý reziduální DC proud do 6 mA pro RCD typu A a do 10 mA pro RCD typu F.

- 3) **RCD typu EV** vznikl speciálně pro použití v EVSE. Má stejné vlastnosti, jako RCD typu A a F, ale navíc dokáže vybavit při unikajícím vyhlazeném stejnosměrném proudu nad 6 mA.
- 4) **RCD typu B** chrání před všemi druhy unikajícího proudu.

Typ	Citlivost na tvar reziduálního proudu, vybavovací proud					Odolnost vůči rázovým proudům
	AC 50 Hz 	AC 50 Hz pulzní 	DC vyhlazený (vypavovací schopnost) 	DC vyhlazený (odolnost)	Frekvenční rozsah 	Zpoždění 10 ms 
AC	$0,5 \div I_{\Delta N}$	-	-	-	50 Hz	-
A	$0,5 \div I_{\Delta N}$	$0,35 \div 1,4 I_{\Delta N}^{1)}$	-	do 6 mA	50 Hz	- / +
F	$0,5 \div I_{\Delta N}$	$0,35 \div 1,4 I_{\Delta N}^{2)}$	-	do 10 mA	do 1 kHz	+
EV	$0,5 \div I_{\Delta N}$	$0,35 \div 1,4 I_{\Delta N}^{1)}$	nad 6 mA	do 6 mA	do 1 kHz	- / +
B	$0,5 \div I_{\Delta N}$	$0,35 \div 1,4 I_{\Delta N}^{1)}$	$0,5 \div 2 I_{\Delta N}$	do $2 I_{\Delta N}$	do 1 kHz	+

Obrázek 18 - Druhy proudových chráničů a jejich citlivost na reziduální proud [7]

Jestliže EVSE obsahuje více připojovacích míst pro vozidla, která se dají používat současně, potom musí každé z nich mít vlastní ochranu.

Je také velmi důležité mít na paměti, že reziduální proud může obsahovat i vyšší harmonické složky proudu. RCD typu A a AC reagují pouze na síťovou frekvenci 50 Hz. Pro takové případy se musí zvolit RCD typu F, EV nebo B.

Součástí EVSE může být také zařízení označené jako RCD-DD. Nejedná se o proudový chránič, ale o takzvaný monitor reziduálního proudu. Existují dva druhy RCD-MD a RCD-PD [7]:

- 1) **RCD-MD** zařízení ke sledování reziduálního DC proudu: toto zařízení monitoruje DC složku reziduálního proudu a při překročení DC 6 mA zajistí odpojení od zdroje pomocí mechanického spínače, ať již zabudovaného do jednotky, nebo externího (jistič). Může být také elektronicky spárováno s odpínacím zařízením (stykač, relé, jistič). V sérii k RCD-MD musí být zapojen samostatný RCD typu A, $I_{\Delta N} = 30$ mA.
- 2) **RCD-PD** zařízení k ochraně před reziduálním DC proudem: v jednom zařízení je integrována detekce reziduálního proudu AC, pulzního DC, vyhlazeného DC <6 mA a odpojení od zdroje při překročení jmenovitého vybavovacího proudu (AC případně DC pulzní) nebo DC > 6 mA. Tyto vlastnosti mají RCD typu EV.

Účelem zařízení RCD-MD je ochránit v sérii zapojený RCD typu A před DC složkami reziduálního proudu většími než 6 mA, které by mohly způsobit znečitlivění chrániče. Vlastní ochranu instalace při vzniku poruchového proudu zajišťuje RCD typu A. RCD-PD v sobě integrují ochranu

před poruchovým proudem AC nebo pulzním DC a samy sebe chrání tím, že detekují vyhlazenou DC složku a vybaví při jejím překročení nad 6 mA.

2.3 Revize EVSE

Revize EVSE se provádí podle normy ČSN 33 2000-6 ed. 2, která se zabývá revizemi elektrických instalací nízkého napětí. V této práci stručně popíši ověření správné funkce proudového chrániče, měření impedance poruchové smyčky a měření izolačního odporu.

Revizní technik by měl vždy nejprve udělat vizuální kontrolu. Zaměřit by se měl hlavně na stav vodičů a konektorů, na stav připojovacího kabelu k vozidlu (je-li jím EVSE vybaveno) a na případné mechanické poškození.

Zkouší se také ochranné uzemnění, jestli není přerušené, nebo jestli se na něm nevyskytuje napětí. Dále se měří dotykové napětí, aby se zajistilo, že v poruchovém stavu nedojde k jeho zvýšení na nebezpečnou úroveň.

Jedná se pouze o výčet těch nejdůležitějších zkoušek. Jejich množství se může v závislosti na druhu EVSE lišit.

2.3.1 Revize proudových chráničů

1) Ověření mezních hodnot reziduálních chráničů [9]

Nejprve se proudový chránič zatíží reziduálním proudem, jehož hodnota musí být menší nebo rovná polovině jeho jmenovitého reziduálního vybavovacího proudu a větší než 20 % tohoto proudu. Tato zkouška ověřuje, jestli byla dodržena hodnota reziduálního nevybavovacího proudu, což je proud, při němž chránič nesmí vybavit. U chráničů typu S se následně musí počkat 30 s, u ostatních se může pokračovat okamžitě. Následně se přejde na zkoušku jmenovitým reziduálním proudem. Chránič musí vybavit ve stanoveném čase. Během tohoto testu se zjistí skutečný čas, kdy chránič vybaví. Skutečný čas nemá překročit 0,3 s pro chrániče typu AC a G, 0,5 s pro chrániče typu S. Současně probíhá i měření hodnoty dotykového napětí na vodiči PE. Toto ověření se provádí na všech typech chráničů.

2) Ověření proudových chráničů se zpožděnou charakteristikou [9]

Jedná se o chrániče selektivní (S) předřazené obyčejnému proudovému chrániči a chrániče se zpožděnou charakteristikou (G). Selektivita se ověřuje kontrolou hodnoty jmenovitého reziduálního proudu, který je uvedený na chrániči. U typu G musí být hodnota jmenovitého reziduálního proudu vyšší o určitou předepsanou hodnotu. Respektive minimálně 3x vyšší než u neselektivního chrániče. Chrániče typu G s citlivostí 10 mA až 100 mA, ke kterým je předřazen chránič typu I, lze selektivitu doložit tak, že se zatíží reziduálním proudem, který je rovný pětinasobku jejich jmenovitého reziduálního proudu. Pokud vybaví pouze chránič typu G, znamená to, že došlo k doložení selektivity. Zároveň se měří také čas vybavení.

Po této zkoušce se musí vzhledem k možnému zkreslení výsledků vlivem předchozí zkoušky alespoň 30 s počkat. Další zkouškou se chrániče zatíží jejich jmenovitým reziduálním vybavovacím proudem. Musejí vybavit v rozmezí 0,13 až 0,5 s a zároveň později než chránič za ním.

U chrániče typu G se ještě provádí zkouška jejich zpožděného vypnutí. Musejí vybavit nad 10 ms včetně, a to při jakémkoliv reziduálním proudu. Tímto se liší od ostatních chráničů, ty mají totiž předepsaný čas vypnutí při pětinasobku reziduálního proudu

maximálně do 40 ms. Musí se tedy prověřit, jestli chrániče typu G vybaví při pětinasobku reziduálního proudu v rozmezí času 10 ms až 40 ms.

3) Ověření chráničů typů A a B [9]

Při kontrole funkce automatického odpojení od zdroje se každý chránič testuje na ten druh reziduálního proudu, na jaký je konstruován.

Chrániče typu A, které reagují na střídavé i na pulzující stejnosměrné proudy se nejdříve testují na střídavý reziduální proud a poté se testují i na pulzující stejnosměrný proud, který má velikost 1,4 násobku jmenovitého reziduálního vybavovacího proudu (v obou polaritách). Přitom se měří doba vybavení chrániče.

Chrániče typu B se testují stejně jako chrániče typu A, ale navíc se testují také na stejnosměrný reziduální proud. Chránič musí vybavit při hodnotě menší nebo rovné dvojnásobku reziduálního proudu. Během této zkoušky se neměří čas vybavení. Čas vybavení se měří jen při zatížení rovné dvojnásobku jmenovitého reziduálního proudu (v obou polaritách).

4) Ověření funkce kontrolního tlačítka [9]

Poslední zkouškou je ověření funkce kontrolního tlačítka jeho stisknutím. Proudový chránič musí při každém stisknutí vybavit. Tato zkouška se provádí vždy při uvedení chrániče do provozu a poté v termínech stanovených výrobcem.

2.3.2 Měření impedance poruchové smyčky

Impedance poruchové smyčky je součet odporů a impedancí v obvodu, ve kterém došlo k poruše izolace mezi živou a neživou částí. Ochranný obvod klade průchodu proudu odpor, který je nazývaný impedancí poruchové smyčky [22]. Impedancí protože může mít také induktivní a kapacitní charakter. V případě poruchy se poruchový proud dostane na ochranný vodič PE, tím pádem bude na PE fázové napětí. Toto napětí může být nebezpečné a může způsobit úraz osobám, které se zařízení dotýkají. Poruchová smyčka musí mít takové vlastnosti, aby ochranné zařízení včas odpojilo poruchový obvod. Poruchová smyčka tedy nesmí být přerušena a musí mít co nejmenší impedanci [22]. Čím je impedance menší, tím větší je poruchový proud a tím pádem rychleji vybaví ochrana [22].

Měření impedance poruchové smyčky se provádí pomocí speciálních měřících přístrojů, jako je například Metrel Eurotest XC MI 3152 EU, který je popsán níže v kapitole 3.1.2. Tyto přístroje simulují vznik poruchy izolace mezi živou a neživou částí v síti a simulují poruchový proud, z něhož vyhodnotí velikost impedance obvodu [22]. Přístroj se připojí mezi fázový vodič a vodič PE. Nejdříve se změří napětí naprázdno, poté se do obvodu připojí rezistor jako zátěž a změří se proud tekoucí ním a také napětí na něm. Rozdíl napětí naprázdno a při zátěži, vydělený proudem je impedance poruchové smyčky.

$$Z = \frac{U_1 - U_2}{I} \quad (4)$$

Kde:

U_1 = napětí naprázdno [V]

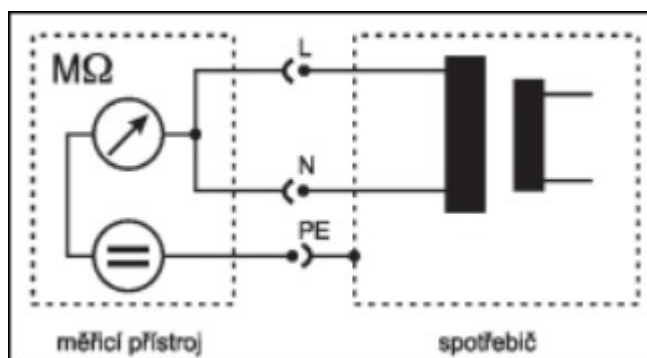
U_2 = napětí na zatěžovacím rezistoru [V]

I = proud tekoucí zatěžovacím rezistorem [A]

Z = impedance [Ω]

2.3.3 Měření izolačního odporu

Při měření izolačního odporu se ověřuje, jestli dokáže izolace elektrického zařízení zabránit průniku nebezpečného napětí na části zařízení přístupné dotyku a jestli dokáže zabránit zkratovému proudu mezi částmi s různým napětím [23]. Měření se liší podle toho, do jaké skupiny spadá měřené elektrické zařízení. EVSE spadá do třídy I, což jsou spotřebiče, které mají základní izolaci a jsou vybaveny ochranným zemním vodičem PE.



Obrázek 19 - Schéma zapojení pro měření izolačního odporu spotřebičů třídy I

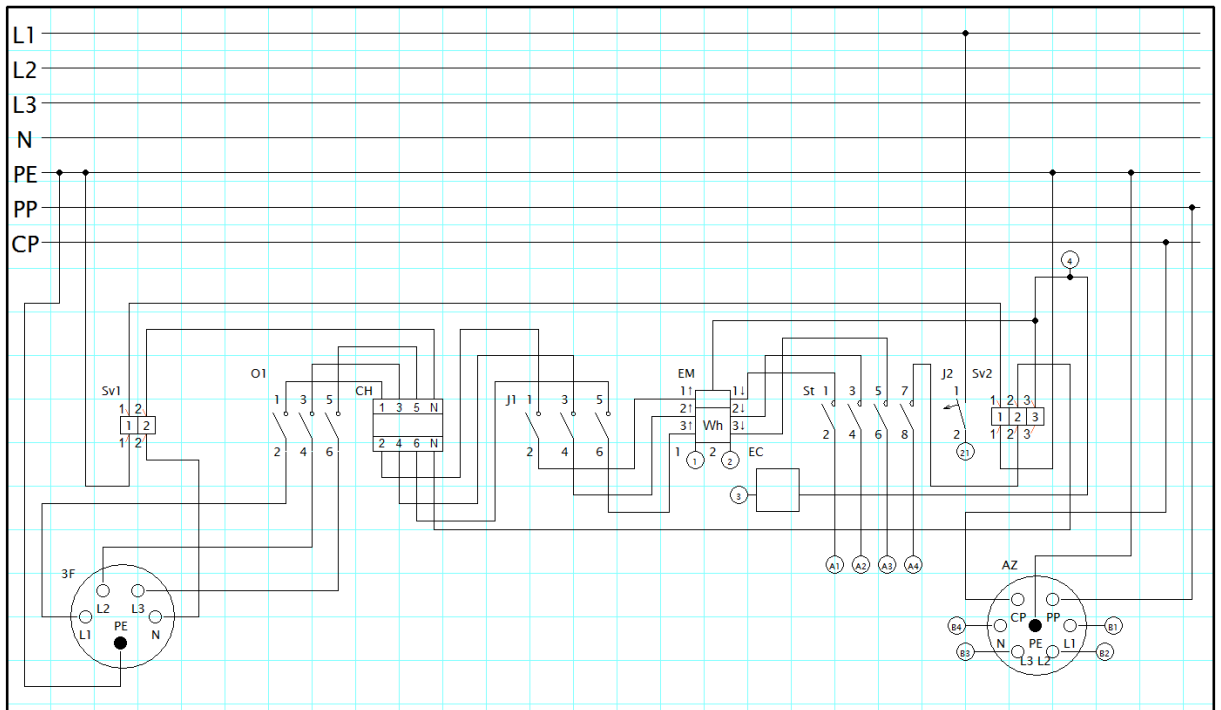
Obrázek 19 představuje zapojení měřícího obvodu. Zdroj proudu je připojen k fázovému (L) a nulovému vodiči (N). Navíc je propojen se zdrojem napětí, který se připojí k ochrannému vodiči PE. V měřícím obvodu je zapojen ohmmetr, který měří izolační odpor [23]. Izolační odpor se měří při stejnosměrném napětí 500 V (maximálně 750 V), kdy je velmi důležitá tvrdost zdroje. Zdroj musí být dostatečně tvrdý, aby napětí nekleslo pod 500 V při napájení proudem 1 mA po dobu 5 až 10 s [23].

Minimální hodnoty izolačního odporu pro jednotlivé třídy spotřebičů jsou vyznačeny v následující tabulce.

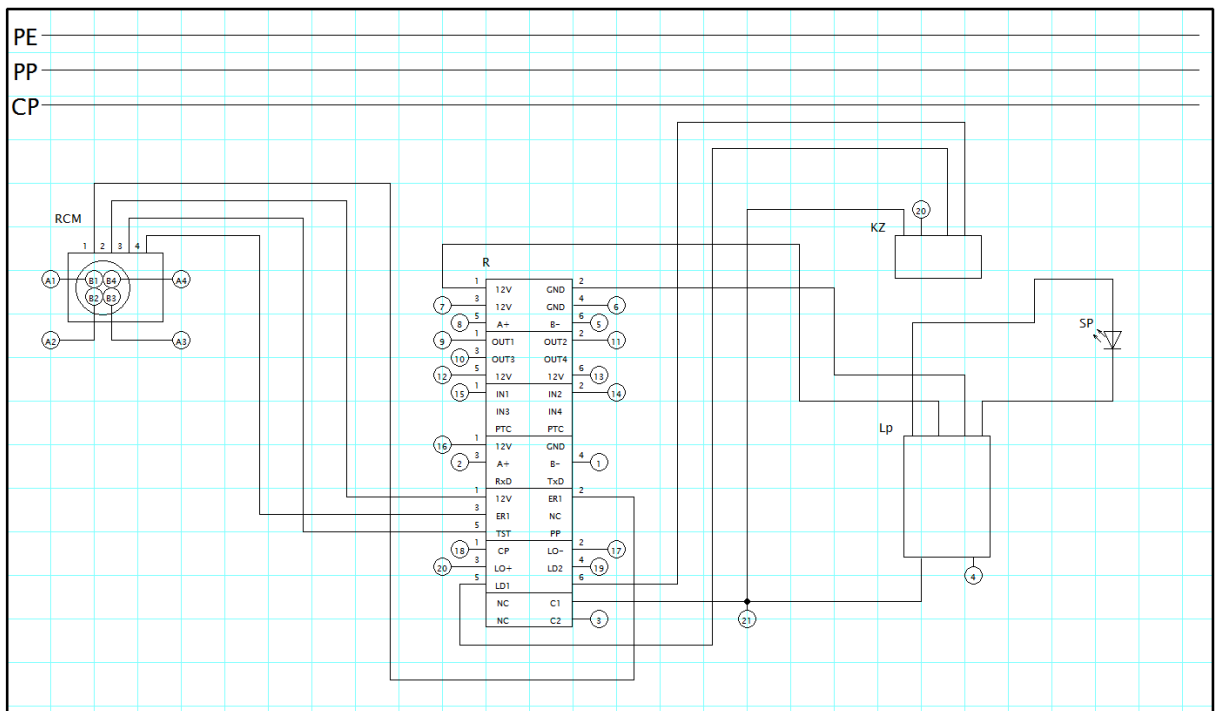
Tabulka 3 - Minimální hodnoty izolačních odporů pro elektrické spotřebiče [23]

Spotřebič třídy ochrany	Izolační odpor spotřebičů (MΩ)	
	držených za provozu v ruce	ostatních
I	2	tepelné s příkonem nad 3,5 kΩ 0,3 (pozn. 1) ostatní 1
II	7 (pozn. 2)	2
III	0,25	0,25

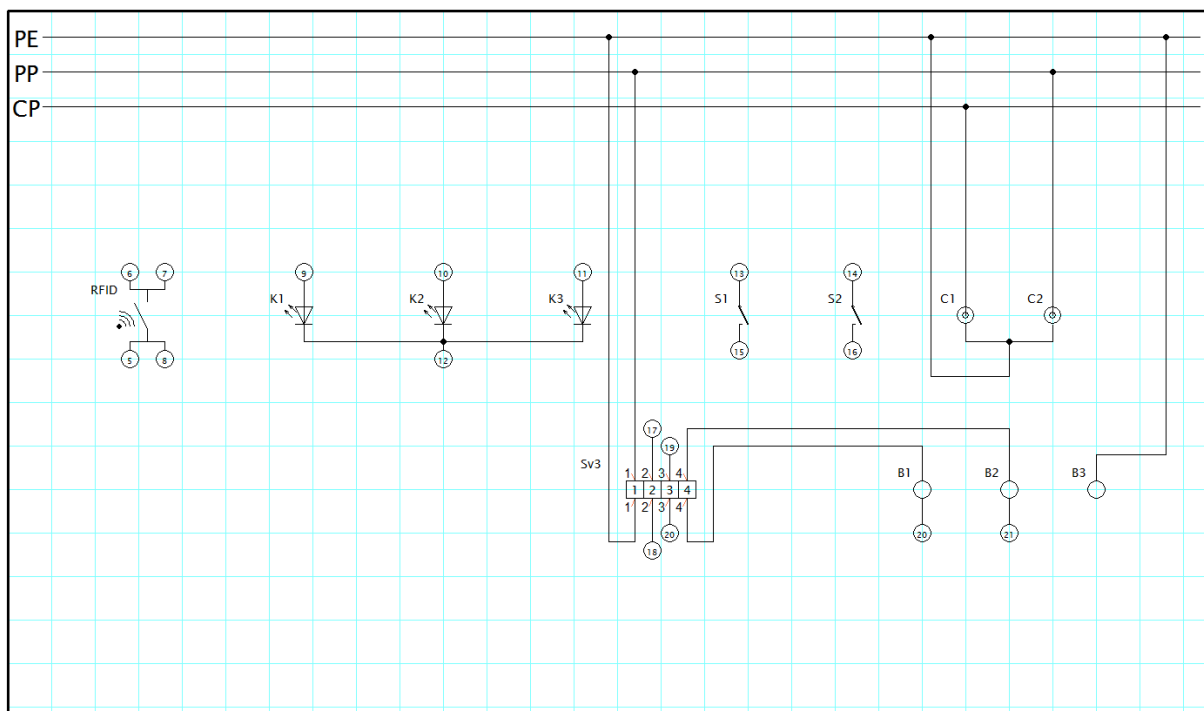
2.4 Wallbox Phoenix Contact 22 kW



Obrázek 20 - schéma wallbox Phoenix Contact 22 kW (1. část)



Obrázek 21 - schéma wallbox Phoenix Contact 22 kW (2. část)



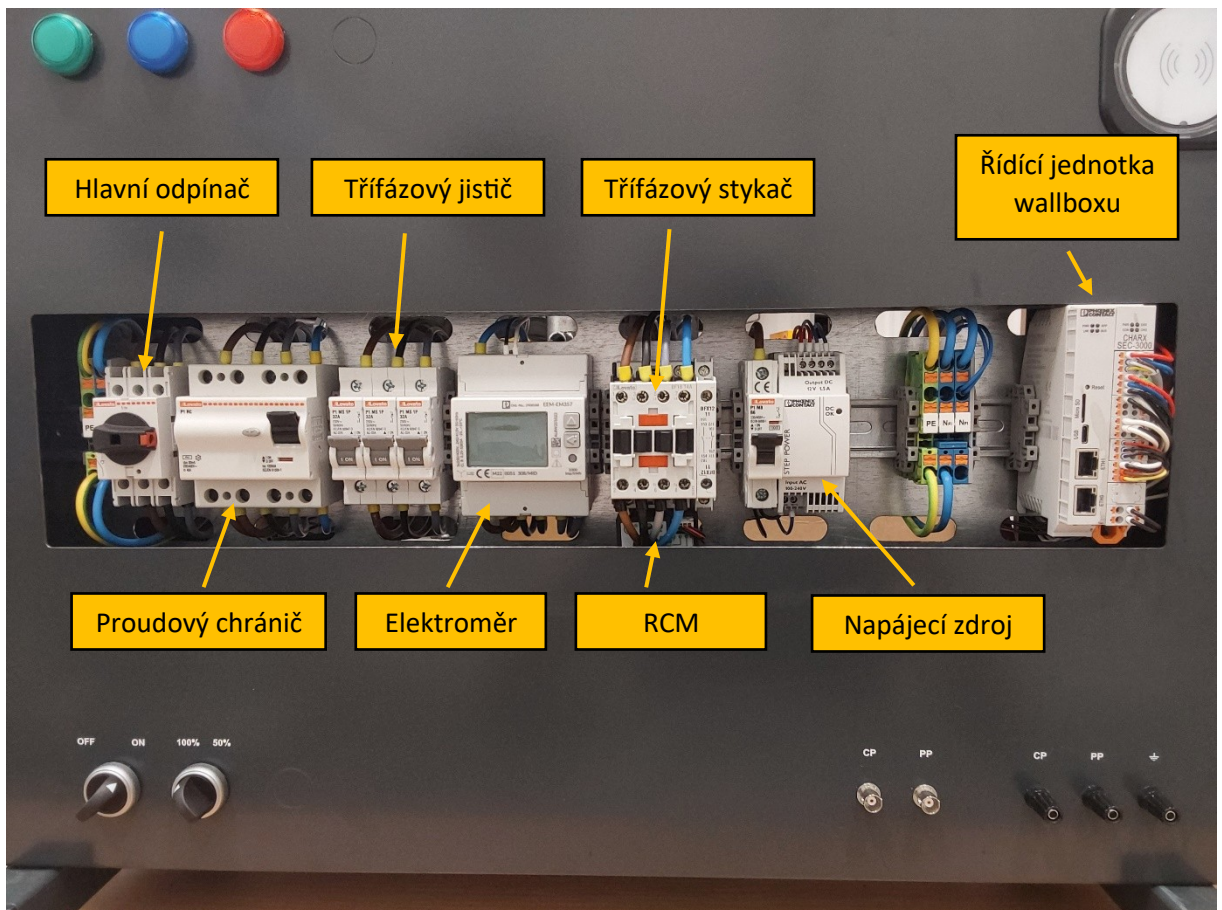
Obrázek 22 - schéma wallbox Phoenix Contact 22 kW (3. část)

Obrázky 20, 21 a 22 představují schéma wallboxu Phoenix Contact 22 kW. Všechny příslušné komponenty jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 4 - Kusovník wallboxu Phoenix Contact 22 kW

Pořadí	Označení	Název	Označení výrobce
1	3F	Třífázová zásuvka	282002
2	Sv1	Svorkovnice (02)	-
3	O1	Třífázový odpínač (hlavní)	GA032A
4	CH	Proudový chránič 4P (AC, 300 mA)	P1RC4P25AC300
5	J1	Třífázový jistič (32 A)	P1MS1P032
6	EM	Elektroměr	2908588
7	St	Třífázový stykač	BF18T4A230
8	J2	Jednofázový jistič (6 A)	P1MB1PB06
9	Sv2	Svorkovnice (03)	-
10	AZ	Nabíjecí zásuvka (typ 2)	1164299
11	EC	Nabíjecí zásuvka (typ 2)	1164299
12	RCM	Monitor zbytkového proudu (6 mA DC / 30 mA AC)	RCM14-03
13	R	Řídící jednotka wallboxu	1139022
14	KZ	Nabíjecí zásuvka (typ 2)	1164299
15	SP	LED páska	-
16	Lp	Napájecí zdroj	2868567
17	RFID	RFID	-
18	K1	Červené světlo	-
19	K2	Modré světlo	-
20	K3	Zelené světlo	-
21	S1	Spínač (OFF/ON)	-
22	S2	Spínač (100%/50%)	-
23	C1	BNC	-
24	C2	BNC	-
25	Sv3	Svorkovnice (04)	-
26	B1	Konektor (Banánek)	-
27	B2	Konektor (Banánek)	-
28	B3	Konektor PE (Banánek)	-

Jak je patrné z tabulky 3, wallbox se skládá z 28 komponent. V této práci budou popsány jen ty nejdůležitější z nich. Všechny popisované komponenty jsou vyznačeny na následujícím obrázku.



Obrázek 23 - Wallbox Phoenix Contact 22 kW

2.4.1 Hlavní odpínač (O1)

Označení výrobce: GA032A

Ve wallboxu slouží k odpojení celého zařízení od dodávky elektrického proudu.

Funkce ve wallboxu [12]:

- Hlavní vypínač

Vybrané parametry [12]:

- Počet pólů: 3
- Typ provozního napětí: AC
- Maximální dimenzované provozní napětí při AC provozu: 690 V
- Dimenzovaný trvalý proud: 40 A
- Jmenovitý trvalý proud při napětí 400 V: 40 A
- Dimenzovaná krátkodobá odolnost proti zkratu: 0,8 kA
- Dimenzovaný provozní výkon při 400 V: 18,5 kW
- Podmíněný dimenzovaný dimenzovaný zkratový proud: 50 kA
- Ochrana: IP 20

2.4.2 Proudový chránič (CH)

Označení výrobce: P1RC4P25AC300

Ve wallboxu slouží k odpojení obvodu, který chrání, pokud část elektrického proudu protéká mimo obvod, například při poškození izolace. Tento únikový proud se nazývá residuální proud. Chrání tedy zařízení i obsluhu.

Vybrané parametry [13]:

- Typ: AC
- Jmenovité napětí: 400 V
- Jmenovité impulzní napětí: 4 kV
- Jmenovitý proud: 25 A
- Jmenovitý residuální proud: 300 mA
- Jmenovitý podmíněný zkratový proud: 10 kA
- Maximální ztrátový výkon na pól: 0,5 W

2.4.3 Třífázový jistič (J1)

Označení výrobce: P1RC4P25AC300

Ve wallboxu slouží k přerušení obvodu, pokud v obvodu teče takzvaný nadproud (přetížení nebo zkrat), čímž chrání vodiče, spotřebiče i obsluhu.

Vybrané parametry [14]:

- Jmenovité izolační napětí: 1000 V
- Jmenovité impulzní napětí: 4 kV
- Jmenovité provozní napětí: 230 V
- Jmenovitý proud: 32 A
- Jmenovitý zkratový proud: 15 až 25 kA (záleží na vypínací charakteristice pojistky)

2.4.4 Elektroměr (EM)

Označení výrobce: 2908588

Ve wallboxu slouží k měření množství spotřebované energie.

Vybrané parametry [15]:

Vstupní data:

- Měřený vstup
- Digitální vstup

Měřený vstup:

- Rozsah vstupního napětí: 320 až 500 V
- Příkon: 3,5 VA (1 W)
- Energie: Třída B
- Činná energie: Třída 1
- Jalová energie: Třída 2

Digitální vstup:

- Popis vstupu: Aktivní optoizolace
- Rozsah vstupního napětí: 80 V AC/DC až 276 V AC/DC

Výstupní data:

- Popis vstupu: Pasivní optoizolace
- Maximální spínací napětí: 27 V DC
- Maximální spínací proud: 27 mA

2.4.5 Třífázový stykač (St)

Označení výrobce: BF18T4A230

Ve wallboxu slouží k připojení a odpojení napětí k elektrickému vozidlu. Sepne až po správné komunikaci s vozidlem a umožňuje zahájení nabíjení. Po ukončení nabíjení, nebo při poruše stykač odpojí napájení.

Vybrané parametry [16]:

- Počet pólů: 4
- Jmenovité izolační napětí: 690 V
- Jmenovité impulzní napětí: 6 kV
- Frekvenční rozsah: 25 až 400 Hz
- Jmenovitý proud: 32 A
- Jmenovitý výkon: 12 kW (230 V), 21 kW (400 V), 23 kW (500 V), 36 kW (690 V)
- Krátkodobý přípustný proud po dobu 10 s: 200 A
- Vypínací schopnost při napětí: 144 A (440 V), 120 A (500 V), 94 A (690 V)

2.4.6 Monitor zbytkového proudu (RCM)

Označení výrobce: RCM14-03

Ve wallboxu slouží k detekci unikajících střídavých i stejnosměrných proudů, které mohou vzniknout v důsledku poruchy. Při překročení nastaveného limitu vyšle informaci k odpojení napájení. Tím se liší od proudového chrániče, který při detekci poruchy sám odpojí obvod od napájení.

Vybrané parametry [17]:

- Jmenovité limity provozního zbytkového proudu: 6 mA DC / 30 mA AC
- Jmenovité hodnoty zbytkového proudu bez provozu: 3 mA DC / 15 mA AC
- Napájecí napětí: 12 V DC
- Napájecí proud (bez závady): 2.2 mA
- Napájecí proud (poruchový stav nad 150 mA): 14,5 mA
- Jmenovitý zatěžovací proud: 100 A (jedna fáze), 40 A (tři fáze)
- Testovací proudový limit: 0.8 mA DC
- Podmíněný zbytkový zkratový proud: 10 kA

2.4.7 Řídící jednotka wallboxu (R)

Označení výrobce: 1139022

Ve wallboxu slouží k řízení a kontrole celého procesu nabíjení elektrického vozidla. Mezi vybrané funkce patří například: generace a vyhodnocování signálu CP a PP, vyhodnocení výstupu z RCM, umožňuje pomocí UTP konektoru připojit další zařízení, jako například notebook.

Vybrané parametry [18]:

- Napájecí napětí: 12 V DC (11,4 až 12,6 V DC)
- Maximální spotřebovaný proud: 2 A

Vstupní data:

- Počet digitálních vstupů: 4
- Jmenovité vstupní napětí: 12 V
- Rozsah vstupního napětí U1: 0 až 3 V (off)
- Rozsah vstupního napětí U2: 9 až 15 V (on)

Výstupní data:

- Počet výstupů: 4
- Maximální výstupní napětí: ≤ 12 V
- Maximální výstupní proud: 600 mA

2.4.8 Napájecí zdroj (Lp)

Označení výrobce: 2868567

Ve wallboxu slouží k napájení řídicí jednotky wallboxu.

Vybrané parametry [19]:

Vstupní data:

- Rozsah jmenovitého vstupního napětí: 100 až 240 V AC
- Rozsah vstupního napětí AC: 85 až 264 V
- Rozsah vstupního napětí DC: 95 až 250 V
- Spotřeba: 0,3 A (120 V AC), 0,2 A (230 V AC)
- Nárazový proud: < 15 A
- Doba reakce při výpadku proudu: > 15 ms (120 V AC), > 70 ms (230 V AC)

Výstupní data:

- Jmenovité výstupní napětí: 24 V DC
- Výstupní proud: 0,75 až 1,4 A (záleží na teplotě)
- Maximální ztrátový výkon: < 0.5 W

3 Simulátor EV

Jedná se o zařízení, které simuluje elektromobil, pomocí něhož se testuje správnost funkce EVSE. Lze použít pro testování zařízení určených pro režim nabíjení 3 s konektorem typu 2. Umožňuje vyvolávat také různé druhy závad, což je nejčastěji přerušení vodiče PE, zkrat diody

na vodiči CP a zkrat vodiče CP na vodič PE. Mezi nejvýznamnější výrobce simulátorů EVSE patří Metrel, Fluke, Beha Amprobe, HT Instruments, PCE Instruments a další. Cena tohoto přístroje se v roce 2025 pohybuje v rozmezí 12 560 až 19 569 Kč.

Jako vzor pro svůj simulátor EV jsem si vybral ten od výrobce Metrel, konkrétně model A1532 XA.

3.1 Metrel A1532 XA



Obrázek 24 - Metrel A1532 XA [10]

Popis přístroje Metrel A1532 XA:

- 1) Banánkové konektory pro připojení výstupu, nebo zátěže
- 2) LED diody signalizující napětí na fázích banánkových výstupů

- 3) Přepínač PP
- 4) Přepínač CP
- 5) Jednofázová zásuvka pro připojení zátěže
- 6) Konektor typu 2 (vydlice EV na kabelu) pro připojení simulátoru k zásuvce v EVSE
- 7) BNC konektor pro sledování signálu na CP
- 8) Spínače pro simulaci závad (zleva zkrat diody na vodiči CP, přerušení PE, zkrat CP na PE)

Výrobce deklaruje, že přístroj splňuje následující předpisy [10]:

- 1) ČSN EN 61010–1 Bezpečnostní požadavky na elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení. Část 1: Všeobecné požadavky
- 2) ČSN EN 61010-2 Bezpečnostní požadavky na elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení – Část 2-101: Zvláštní požadavky na zkušební a měřicí obvody
- 3) ČSN EN 61010-031 Bezpečnostní požadavky na elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení – Část 031: Bezpečnostní požadavky na elektrické měřicí a zkušební sestavy sond držných nebo ovládaných rukou.
- 4) ČSN EN 61851-1 Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením – Část 1: Všeobecné požadavky

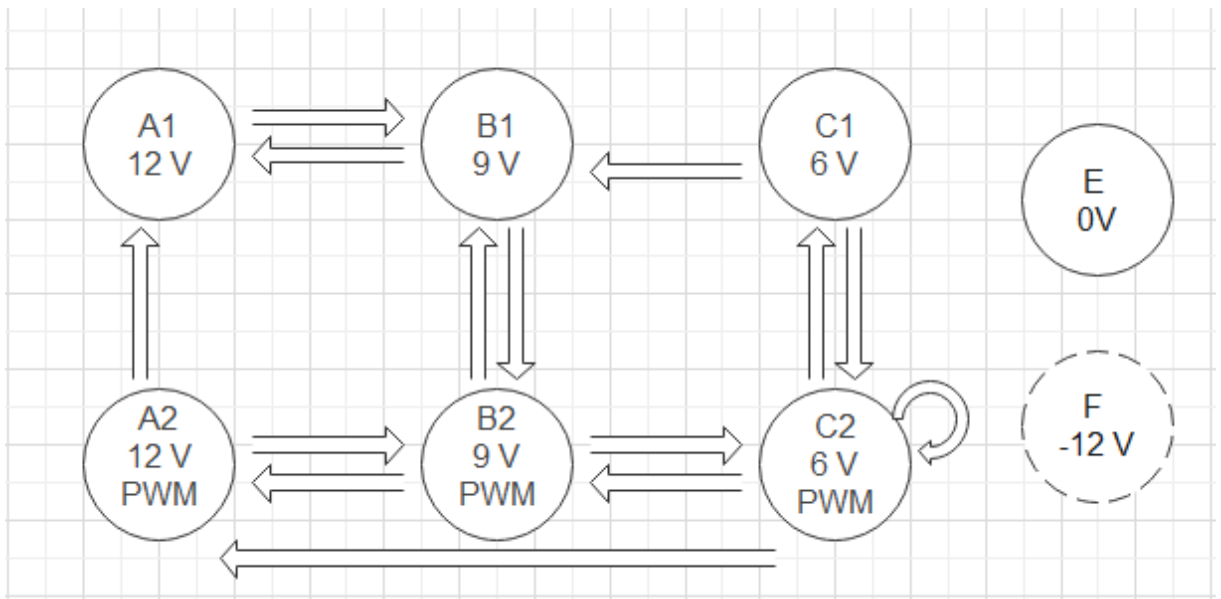
Vybrané technické parametry přístroje Metrel A1532 XA [10]:

- Maximální vstupní napětí – 250 V (1f), 430 V (3f)
- Frekvence – 50 Hz, 60 Hz
- Maximální testovací proud – 267 A po dobu maximálně 10 ms
- Maximální přerušovaný testovací proud – 13 A
- Simulace PP – N.C., 13 A, 20 A, 32 A, 63 A
- Simulace CP – stavy A, B, C, D
- Simulace závad – zkrat diody na vodiči CP, přerušení PE, zkrat CP na PE
- Odpor BNC kontaktu na PE – 100 kΩ
- Odpor BNC kontaktu na CP – 100 kΩ
- Amplitudová chyba – 2 %
- IP 40
- Rozsah pracovních teplot – 0 °C až 40 °C

Stavy A, B, C, D nemají stejný význam, jak je tomu na obrázku 15. Stav D na obrázku 15 představoval rychlonabíjení pomocí stejnosměrného proudu. Ve většině jiných případů představuje stav D, nabíjení vyžadující ventilaci místnosti.

- A – EV nepřipojeno (12 V)
- B – EV připojeno (9 V)
- C – EV požaduje nabíjení od EVSE (6 V)
- D – EV požaduje nabíjení s ventilací místnosti (3 V)

Norma ČSN EN IEC 61851 podrobně popisuje jednotlivé stavy a přechody mezi nimi v obrázku A.3. Stavový diagram je uveden na následujícím obrázku.



Obrázek 25 - Stavový diagram typického řídicího signálu [1]

3.1.1 Uživatelská příručka – Metrel A1532 XA:

Nastavte přepínač PP do polohy N.C. a přepínač CP do polohy A. Zastrčte vidlici typu 2 do zásuvky typu 2 nabíjecí stanice nebo wallboxu. Nyní EVSE nereaguje na simulátor, myslí si, že není připojen. Přepínáním přepínače PP do různých poloh se nastavuje daný proudový limit (např. 32 A, podrobněji v podkapitole 1.4.1). Pokud přepnete přepínač CP z polohy A do polohy B, EVSE začne detekovat vozidlo. Přepnutím z polohy B do C začne EV od EVSE požadovat nabíjení. Poloha D je nabíjení vyžadující ventilaci místnosti.

LED diody signalizují napětí na jednotlivých fázích. Jakmile sepne stykač, rozsvítí se. To se stane po přepnutí přepínače CP do polohy C, případně do polohy D, pokud wallbox tuto možnost povoluje.

Pro připojení zátěže (spotřebiče) slouží jednofázová zásuvka.

Pokud stisknete spínač, který simuluje závadu **zkrat diody** na CP vodiči (první zleva), dojde k odpojení EV od EVSE do 3 s. EVSE odemkne zámek v zásuvce maximálně za 30 s [10].

Stisknete-li spínač, který simuluje závadu **přerušeni vodiče PE** (druhý zleva), dojde k odpojení napájení mezi EVSE a EV do 100 ms [10].

Pokud sepnete spínač simulující závadu **zkrat CP na PE** (třetí zleva), dojde k odpojení EV od EVSE do 3 s. EVSE odemkne zámek v zásuvce maximálně za 30 s [10].

BNC konektor (7) slouží pro sledování průběhu signálu na CP na osciloskopu.

3.1.2 Metrel Eurotest XC MI 3152 EU

Jedná se o univerzální měřicí přístroj určený pro revize elektrických instalací. Přístroj se připojí (pomocí banánkových konektorů) k simulátoru Metrel A1532 XA a ten se připojí do EVSE. Cena přístroje Eurotest XC MI 3152 EU v roce 2025 pohybuje přibližně od 70 600 Kč. Existuje ještě varianta Eurotest XD MI 3155 EU, který nabízí pokročilejší funkce, jako je například měření dotykového napětí s externí sondou, vyšší rozsah frekvence při měření proudového chrániče, čtyřvodičové měření impedance a zkratového proudu, měřicí proud až 20 A při napětí 230 V, možnost programovatelné autosekvence.



Obrázek 26 - V levo Eurotest XC, v pravo simulátor A 1532 XA [21]

Přístroj nabízí funkce měření [20]:

Přechodových odporů, izolačních odporů, proudových chráničů, impedance smyčky, sledu fází, zemního odporu, TRMS napětí a proudu, harmonických složek, výkonu a další.

Všechny uvedené testy má přístroj nahrané ve své paměti. Obsahuje autosekvenci, po jejímž zvolení přístroj provede test automaticky, s tím že obsluha postupuje podle pokynů přístroje.

Postup při kontrole EVSE pomocí Eurotest XC (XD) a simulátoru A 1532 XA se skládá [21]:

- Zjištění maximálního nabíjecí proudu EVSE z dokumentace k EVSE a nastavení přepínače PP do příslušné polohy (podrobněji bude popsáno v kapitole 5).
- Připojení simulátoru EV k EVSE. Přepínání přepínače CP do různých poloh a sledování reakce EVSE (podrobněji bude popsáno v kapitole 5).
- Zahájení autotestu, provede se měření impedance poruchové smyčky. Následně se provede test RCD. Nakonec měření izolačního odporu mezi fázemi a PE.
- Naměřené výsledky se uloží do paměti měřícího přístroje.

4 Výroba simulátoru EV pro režim nabíjení 3B a 3C

Simulátory je potřeba vyrobit dva, protože nemáme koncovku, která by šla zasunout do zásuvky na EVSE (režim nabíjení 3B) a zároveň do nabíjecího kabelu (režim nabíjení 3C). Teoreticky to provést lze, ale pin CP ztratí kontakt. Navíc norma ČSN EN IEC 61851-1 zakazuje používat nabíjecí kabel jako prodlužovací šňůru: „Kabelová sestava musí být zkonstruována tak, aby nemohla být použita jako prodlužovací šňůra.“ [1].



Obrázek 27 - Nefunkční zapojení kabelu typu 2

4.1 Požadavky na vlastnosti simulátoru pro režim nabíjení 3B a 3C

Požadavky společné pro oba simulátory:

- Simulátor bude kompatibilní s testerem napájecích zařízení EV, jako je například Metrel 3152 Eurotest XC.
- Pomocí simulátoru EV půjde testovat správná funkce EVSE (např. funkce proudového chrániče).

Na simulátoru se bude nacházet:

- Banánkové zdířky a šroubovací svorky, pro připojení dalších zařízení, jako je například zátěž, tester a multimetr.
- Červené LED diody, které budou signalizovat přítomnost fázových napětí na L1, L2 a L3.
- Jednorázová zásuvka pro připojení zátěže.
- Přepínač CP pro přepínání mezi stavy nabíjení (A, B, C, D).
- Simulace závady přerušování vodiče PE.
- Simulace závady zkrat diody (v obrázku 14 označena jako D)
- Simulace závady zkrat vodiče CP na PE.
- BNC konektor s vyvedeným signálem CP pro připojení k osciloskopu.

Funkce simulátoru pro režim nabíjení 3B (funkce navíc oproti simulátoru pro režim nabíjení 3C):

- Simulátor bude připojen k EVSE pomocí vozidlové vidlice, která povede přímo ze simulátoru přesně tak jak to má přístroj Metrel A1532 XA.
- Přepínač PP pro nastavení odporu mezi PP a PE, pro simulaci přítomnosti nabíjecího kabelu a simulaci různé proudové zatížitelnosti kabelu.
- BNC konektor s vyvedeným signálem PP pro připojení k osciloskopu.
- Simulace závady zkrat vodiče PP na PE.

Funkce simulátoru pro režim nabíjení 3C:

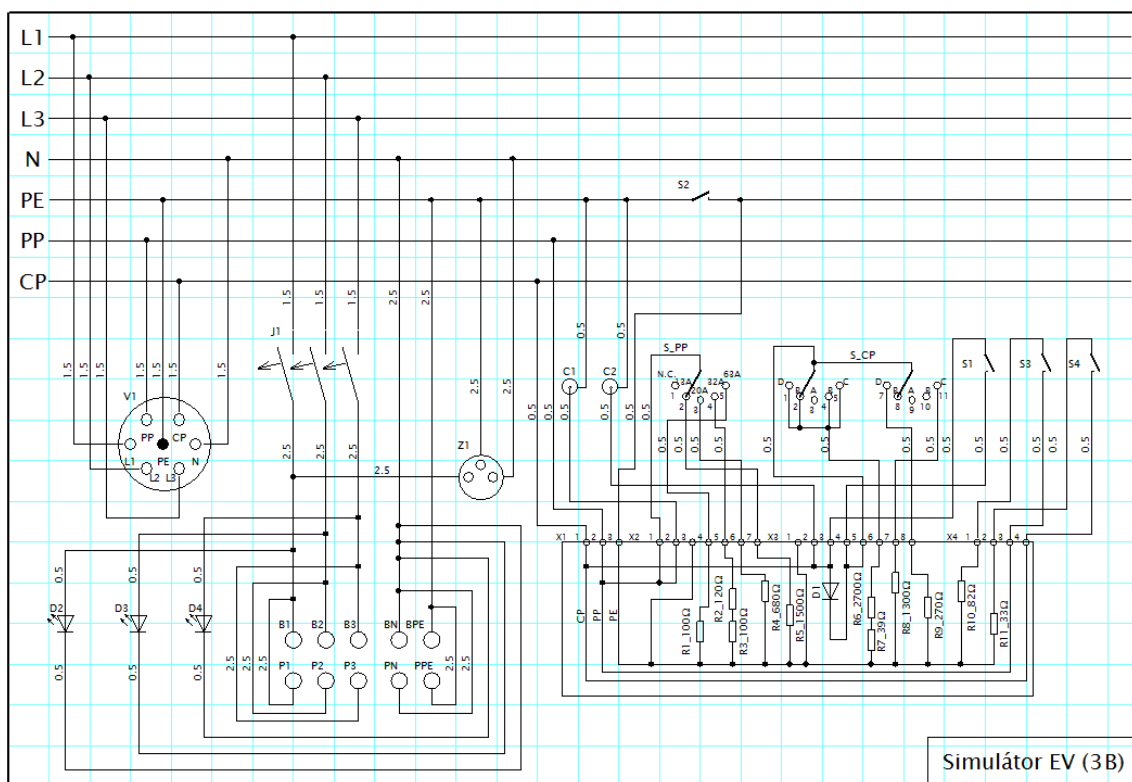
- Na simulátoru připevňována vozidlová přívodka, do níž se zasune vozidlová nástrčka.

Podle zadání bakalářské práce jsem určil všechny potřebné komponenty pro simulátor a seznam poslal vedoucímu práce, který díly nakoupil.

4.2 Návrh simulátoru pro režim nabíjení 3B

Jak již bylo uvedeno v kapitole 3, vzorem pro konstrukci simulátoru pro režim nabíjení 3B se stal přístroj od firmy Metrel s označením A1532 XA, hlavně co se týče rozložení komponent na víku krabice. Ze simulátoru povede kabel zakončený vidlicí, do které se připojí nabíjecí kabel.

4.2.1 Elektrické schéma



Obrázek 28 - Schéma zapojení simulátoru 3B

4.2.2 Mechanické provedení

Rozměry krabice jsou 300x220x120 mm. Na víku krabice se nacházejí přístrojové svorky pro připojení fázových vodičů (L1, L2, L3), nulového vodiče (N) a ochranného zemního vodiče (PE). Pod nimi banánkové zdíčky opět pro připojení fázových vodičů, nulového vodiče a ochranného zemního vodiče. Následují červené LED diody signalizující, že jsou fázové vodiče pod napětím.

Myšlenka byla taková, že se přesně ve prostředku bude nacházet DIN lišta osazená třípólovým jističem a svorkovnicemi. Ukázalo se ale, že by se jistič nacházel velmi blízko desky plošného spoje, proto byla DIN lišta posunuta o několik málo cm nahoru, aby vznikl dostatečný prostor pro vodiče vedoucí z jističe. To je důvod, proč je na víku krabice v těchto místech volný prostor. Volný prostor byl využit pro umístění názvu simulátoru.

Dále se na víku nacházejí přepínače pro simulaci závad. Vzhledem k menším rozměrům krabice pro simulátor 3B jsem zvolil kolébkové přepínače. Posledními komponentami na víku jsou rotační přepínače PP a CP.

Jednofázovou zásuvku jsem se rozhodl umístit na pravou svislou stěnu krabice, aby kabel do ní vedoucí nepřekážel v obsluze zařízení a zároveň nepřekážel ostatním kabelům vedoucím do zařízení. BNC konektory byly umístěny na přední svislou stěnu krabice opět, aby nepřekážely ostatním komponentům na simulátoru.

Z nákresu jsem si vytvořil šablonu, na které jsou pouze popisy a díry. Šablona se nechala vytisknout jako samolepka a následně se nalepila na víko.

Výkresy a fotografie se nacházejí v příloze 1 a 3.

4.2.3 Deska plošného spoje (DPS)

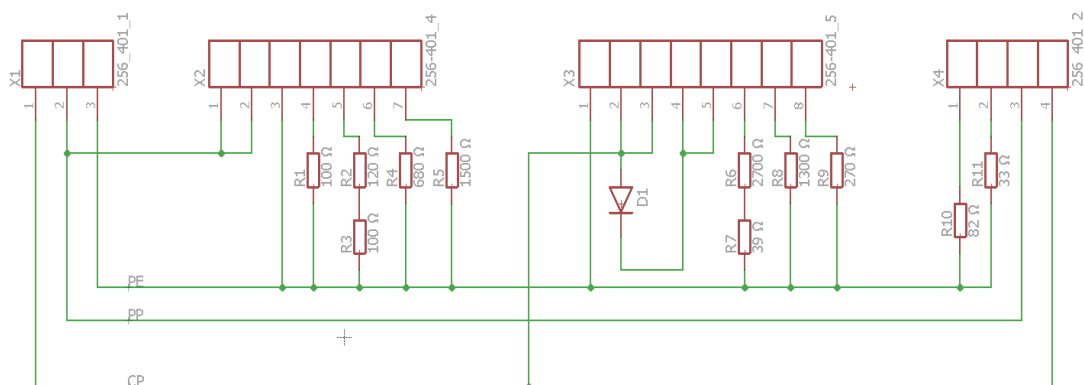
DPS byla zvolena jako nejlepší možnost pro uchycení všech použitých rezistorů a diody D4. Navíc byla také myšlenka taková, že se uspoří vodiče a ze svorkovnic na DIN liště povedou na DPS jen tři vodiče (CP, PP a PE). DPS byla umístěna v pravém dolním rohu pod rotačními přepínači a přepínači závad. Jelikož z nich vedou vodiče právě do DPS.

Dno krabice obsahuje drážky, na kterých je položený plech, ke kterému se přišroubuje DIN lišta, která obsahuje třípólový jistič a svorkovnice. Rozměr DPS jsem volil tak, aby distanční sloupky, na kterých je DPS postavený nevyšly do těchto drážek. Díky této skutečnosti je DPS větší, než by bylo třeba. Zvolil jsem větší počet distančních sloupků, jelikož WAGO svorkovnice mají velmi tuhé otvírání a mohlo by dojít k prasknutí DPS, pokud by distanční sloupky byly pouze v rozích.

DPS jsem nakreslil v programu Eagle. Tento typ svorkovnic se nenacházel v knihovně v programu Eagle, proto jsem si svorkovnice naměřil a vytvořil si svojí knihovnu na n-pinové svorkovnice.

Jednostrannou DPS vytvořil vedoucí práce svépomocí fotocitlivou cestou s následným vypleťáním motivu v roztoku vody, kyseliny a peroxidu vodíku.

Do DPS se vyvrtaly díry na jednotlivé součástky a pro distanční sloupky. Poté se deska osadila součástkami a ty se k ní připájely. Nakonec se na DPS nalepily nálepky s označením svorkovnic a jednotlivých pinů podle obrázku 26 a 27.



Obrázek 29 - Schéma zapojení DPS simulátoru pro režim nabíjení 3B (Autodesk Eagle)

Popis schématu DPS na obrázku 22:

Svorkovnice X1 (vstup):

- Pin č. 1 – přívod vodiče CP
- Pin č. 2 – přívod vodiče PP
- Pin č. 3 – přívod vodiče PE

Svorkovnice X2 (PP):

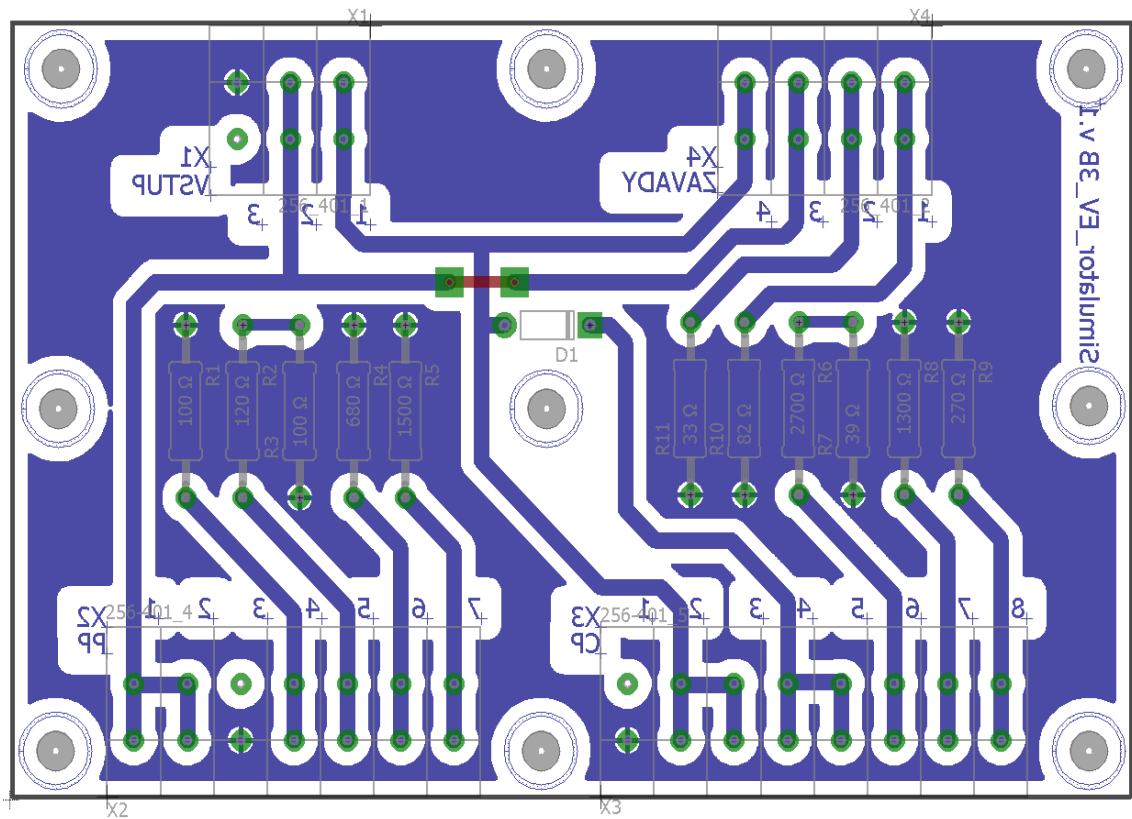
- Pin č. 1 – připojení rotačního přepínače PP
- Pin č. 2 – připojení BNC konektoru k PP
- Pin č. 3 – nezapojen (vodič PE k BNC konektoru byl později veden přímo ze svorkovnice PE)
- Pin č. 4 až 7 – rezistory rotačního přepínače PP

Svorkovnice X3 (CP):

- Pin č. 1 – nezapojen (vodič PE k BNC konektoru byl později veden přímo ze svorkovnice PE)
- Pin č. 2 – připojení BNC konektoru k CP
- Pin č. 3 – připojení přepínače S1
- Pin č. 4 – připojení přepínače S1
- Pin č. 5 – připojení rotačního přepínače CP
- Pin č. 6 až 8 – rezistory rotačního přepínače CP

Svorkovnice X4 (závady):

- Pin č. 1 – rezistor připojený k přepínači S3
- Pin č. 2 – rezistor připojený k přepínači S4
- Pin č. 3 – připojení přepínače S4
- Pin č. 4 – připojení přepínače S3



Obrázek 30 – Motiv DPS simulátoru pro režim nabíjení 3B (Autodesk Eagle)

Vodič PE se nachází v polygonu, obrázek nesprávně interpretuje zapojený pouze jeden pin u svorkovnic připojených na vodič PE. Ve skutečnosti jsou připojeny vždy obě nožičky, ale pokud by se to zaneslo i do schématu zapojení (Obr. 29), schéma by se znehlednilo a svorkovnice by vypadaly podivně, proto jsem vždy zapojil jen jeden pin svorkovnice.

Tabulka 5 - Kusovník součástek na DPS pro simulátor 3B- svorkovnice

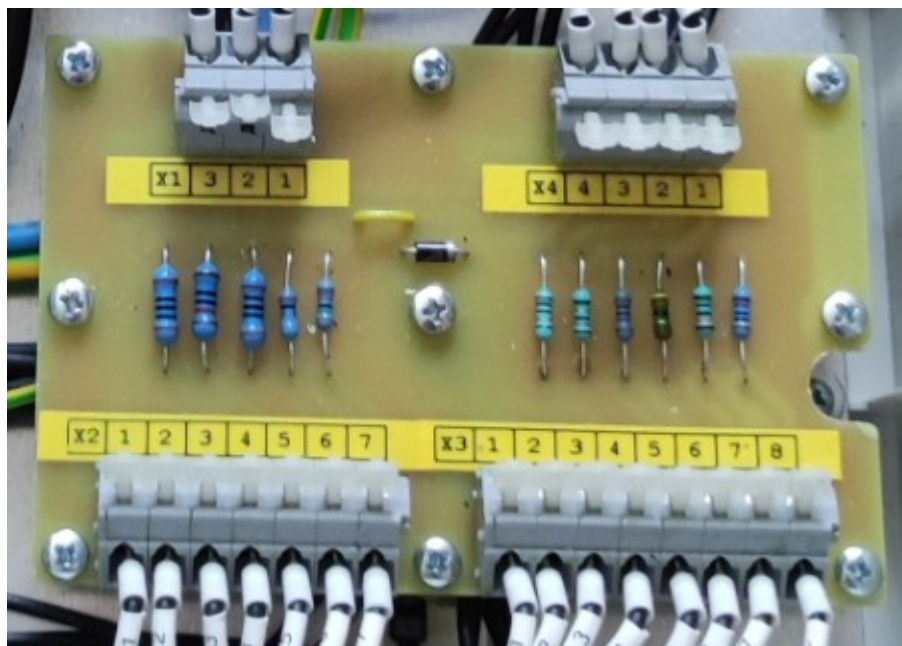
Pořadí	Značka	Označení	Počet vstupů
1	X1	256 - 401	3
2	X2	257 - 401	7
3	X3	258 - 401	8
4	X4	259 - 401	4

Tabulka 6 - Kusovník součástek na DPS pro simulátor 3B- rezistory

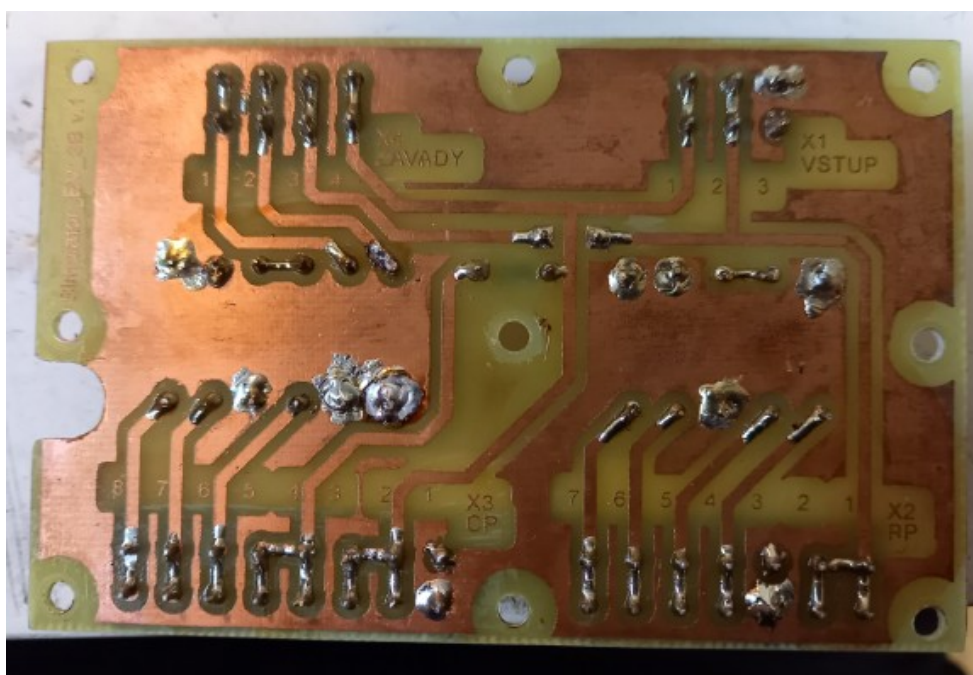
Pořadí	Značka	Odpor	Tolerance	Ztrátový výkon
1	R1	100 Ω	1%	1 W
2	R2	120 Ω	1%	1 W
3	R3	100 Ω	1%	1 W
4	R4	680 Ω	1%	0,6 W
5	R5	1500 Ω	1%	0,6 W
6	R6	2700 Ω	1%	0,6 W
7	R7	39 Ω	1%	0,6 W
8	R8	1300 Ω	1%	0,6 W
9	R9	270 Ω	1%	0,6 W
10	R10	80 Ω	1%	1 W
11	R11	33 Ω	1%	1 W

Tabulka 7 - Kusovník součástek na DPS pro simulátor 3B- dioda

Pořadí	Značka	Typ	Označení	Max. propustný proud	Max. závěrné napětí
1	D1	Usměrňovací	1N4007	1A	1000 V



Obrázek 31 - DPS simulátoru pro režim nabíjení 3B (vrchní strana)



Obrázek 32 – DPS simulátoru pro režim nabíjení 3B (spodní strana)

4.3 Návrh simulátoru pro režim nabíjení 3C

Druhý přístroj se od prvního liší v tom, že z něho nevede nabíjecí vidlice, ale je v něm přímo integrovaná nabíjecí vozidlová zásuvka a kabel z EVSE, který není od EVSE oddělený, se zasunuje přímo do zásuvky na testeru. Díky této skutečnosti musí být krabice větší než u předchozího simulátoru. Vzhledem k tomu, že druhý simulátor je velmi podobný prvnímu, budou podrobně popsány jen ty části, které se liší.

Tabulka 10 - Kusovník pro simulátor 3C - usměrňovací dioda

Pořadí	Značka	Typ	Označení	Max. propustný proud	Max. závěrné napětí
1	D1	Usměrňovací	1N4007	1A	1000 V

Tabulka 11 - Kusovník pro simulátor 3C - jistič

Pořadí	Značka	Počet pólů	Označení	Jmenovitý proud	Vypínací schopnost	Typ
1	J1	3	ETIMAT P6 3P B16 6KA	16 A	6 kA	B

Tabulka 12 - Kusovník pro simulátor 3C - konektory

Pořadí	Značka	Název	Označení	Průměr otvoru	Max. napětí (AC)	Max. proud (AC)
1	C1	BNC konektor	900D-6351B1-50D	-	-	-
2	B1	Banánková zdířka	STAUBLI 49.7049-21 (černá)	4 mm	1 kV	24 A
3	B2	Banánková zdířka	STAUBLI 49.7049-21 (černá)	4 mm	1 kV	24 A
4	B3	Banánková zdířka	STAUBLI 49.7049-21 (černá)	4 mm	1 kV	24 A
5	BN	Banánková zdířka	STAUBLI 49.7049-21 (modrá)	4 mm	1 kV	24 A
6	BPE	Banánková zdířka	STAUBLI 49.7049-20 (žlutá)	4 mm	1 kV	24 A
7	P1	Šroubovací svorka	POL 631 L/SW	4 mm	1 kV	63 A
8	P2	Šroubovací svorka	POL 631 L/SW	4 mm	1 kV	63 A
9	P3	Šroubovací svorka	POL 631 L/SW	4 mm	1 kV	63 A
10	PN	Šroubovací svorka	POL 631 L/BL	4 mm	1 kV	63 A
11	PPE	Šroubovací svorka	POL 631 L/GNGE	4 mm	1 kV	63 A

Tabulka 13 - Kusovník pro simulátor 3C - spínače závad

Pořadí	Značka	Označení	Typ spínače	Max. napětí (AC)	Max. proud (AC)
1	S1	R13-73A-02-BB-2D	DPST	250 V	6 A
2	S2	R13-73A-02-BB-2D	DPST	250 V	6 A
3	S3	R13-73A-02-BB-2D	DPST	250 V	6 A

Tabulka 14 - Kusovník pro simulátor 3C - rotační přepínač

Pořadí	Značka	Název	Označení	Počet poloh (vstup x výstup)	Typ
1	CP	Control pilot	CK1040	2x6	MBB

Tabulka 15 - Kusovník pro simulátor 3C - jednofázová zásuvka

Pořadí	Značka	Název	Označení	Jmenovitý proud	Jmenovité napětí	Krytí
1	Z1	1 fázová zásuvka	PCE 104-OB 230 V	16 A	230 V	IP54

Tabulka 16 - Kusovník pro simulátor 3C - vozidlová přívodka

Pořadí	Značka	Název	Označení	Jmenovitý proud	Jmenovité napětí	Počet zdířek
1	VP	Vozidlová přívodka	T2HCI12-3AC32-2,0M2	32 A AC	480 V AC	7

Tabulka 17 - Kusovník pro simulátor 3C - vodiče

Pořadí	Název	Označení	Typ	Průřez	Barva	Propojení
1	L1	H07V-K	CYA	2.5 mm ²	černá	svorkovnice - šroubovací svorka
2	L2	H07V-K	CYA	2.5 mm ²	černá	Jistič - šroubovací svorka
3	L3	H07V-K	CYA	2.5 mm ²	černá	Jistič - šroubovací svorka
4	N	H07V-K	CYA	2.5 mm ²	světle modrá	svorkovnice-šroubovací svorka
5	PE	H07V-K	CYA	2.5 mm ²	žlutozelená	svorkovnice-šroubovací svorka
6	L1	H07V-K	CYA	2.5 mm ²	černá	jistič - svorkovnice
7	L1	H07V-K	CYA	2.5 mm ²	černá	banánková zdířka - šroubovací svorka

8	L2	H07V-K	CYA	2.5 mm ²	černá	banánková zdířka - šroubovací svorka
9	L3	H07V-K	CYA	2.5 mm ²	černá	banánková zdířka - šroubovací svorka
10	N	H07V-K	CYA	2.5 mm ²	světle modrá	banánková zdířka - šroubovací svorka
11	PE	H07V-K	CYA	2.5 mm ²	žlutozelená	banánková zdířka - šroubovací svorka
12	L1	H07V-K	CYA	2.5 mm ²	černá	svorkovnice - 1f zásuvka
13	N	H07V-K	CYA	2.5 mm ²	světle modrá	svorkovnice - 1f zásuvka
14	PE	H07V-K	CYA	2.5 mm ²	žlutozelená	svorkovnice - 1f zásuvka
15	X1-1	H05V-K	CYA	0.5 mm ²	černá	svorkovnice (CP) - DPS
16	X1-2	H05V-K	CYA	0.5 mm ²	černá	svorkovnice (PE) - S2
17	X2-2	H05V-K	CYA	0.5 mm ²	černá	C1 - DPS
18	X2-3	H05V-K	CYA	0.5 mm ²	černá	S1 - DPS
19	X2-4	H05V-K	CYA	0.5 mm ²	černá	S1 - DPS
20	X2-5	H05V-K	CYA	0.5 mm ²	černá	S_CP vstup - DPS
21	X2-6	H05V-K	CYA	0.5 mm ²	černá	S_CP 1, 2, 4, 5 - DPS
22	X2-7	H05V-K	CYA	0.5 mm ²	černá	S_CP 11 - DPS
23	X2-8	H05V-K	CYA	0.5 mm ²	černá	S_CP 7 - DPS
24	X3-1	H05V-K	CYA	0.5 mm ²	černá	S3 - DPS
25	X3-2	H05V-K	CYA	2.5 mm ²	černá	S3 - DPS
26	PE	H05V-K	CYA	0.5 mm ²	žlutozelená	C1 - svorkovnice PE
27	PE	H07V-K	CYA	2.5 mm ²	žlutozelená	svorkovnice (PE) - S2
28	L1	-	-	6 mm ²	hnědy	vozidlová přívodka - jistič
29	L2	-	-	6 mm ²	černý	vozidlová přívodka - jistič
30	L3	-	-	6 mm ²	šedý	vozidlová přívodka - jistič
31	CP	-	-	0.5 mm ²	bílý	vozidlová přívodka - svorkovnice CP
32	PP	-	-	0.5 mm ²	černý	vozidlová přívodka - svorkovnice PP
33	N	-	-	6 mm ²	světle modrá	vozidlová přívodka - svorkovnice N
34	PE	-	-	6 mm ²	žlutozelená	vozidlová přívodka - svorkovnice PE
35	teplotní senzor	-	-	0.5 mm ³	hnědý	vozidlová přívodka - svorkovnice
36	teplotní senzor	-	-	0.5 mm ⁴	šedý	vozidlová přívodka - svorkovnice

Z nabíjecí zásuvky jsou vyvedeny fázové vodiče, nulový vodič, ochranný vodič, CP a PP. Ty jsou připojené na svorkovnice a 16 A jistič. Jistič má jmenovitý proud 16 A, protože z nabíjecí zásuvky vedou vodiče o průřezu 6 mm² a nabíjecí zásuvka je na 32 A. Fáze, nulový vodič a ochranný vodič jsou vyvedeny na banánkové konektory a přístrojové svorky, vodič CP na rotační přepínač. Přepínač PP není použit, protože postrádá smysl. Kabelový vývod vede z EVSE, nikoliv z EV jako u předchozí možnosti, tím pádem není možné měnit velikost odporu mezi PP a PE. Na fázové vodiče jsou paralelně připojeny červené LED diody.

Význam přepínačů závad je stejný jako u předchozí možnosti, pouze chybí přepínač S4 simulující závalu zkrat PP na PE. Vlivem absence PP není použit ani BNC konektor pro připojení osciloskopu a sledování průběhu na PP. BNC konektor C1 pro připojení k osciloskopu a sledování průběhu na CP.

4.3.2 Mechanické provedení

Rozměry krabice jsou 380x300x120 mm. Rozložení přístrojových svorek, banánkových konektorů a signalizačních červených LED diod je stejné, jako u simulátoru pro režim nabíjení 3B. Místo kolébkových přepínačů pro simulaci závad jsem použil přepínače s kruhovým obrysem, abych nemusel dělat obdelníkové díry, ale kulaté. Navíc nejsem limitován prostorem. Pod přepínači závad se nachází rotační přepínač CP.

DIN lišta s jističem a svorkovnicemi byla opět posunuta o několik cm nahoru, aby se vytvořilo více místa pro vodiče z ní vedoucí.

Nabíjecí zásuvka bude přišroubována k plechu na dně simulátoru pomocí dlouhých šroubů M6 120 mm. Na víku bude následně díra, aby šlo do zásuvky připojit nabíjecí vidlici. Důvod byl ten, že při zasouvání/vysouvání kabelu do/ze zásuvky by mohlo dojít k prasknutí víka. Víko by také mohlo prasknout vlivem tíhy kabelu od wallboxu.

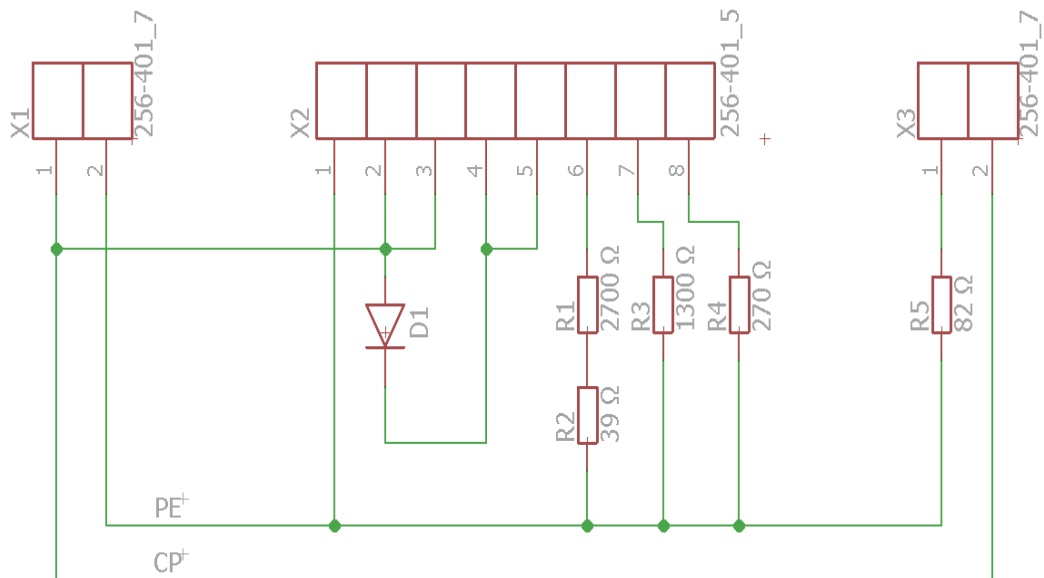
Problémem byla také samotná díra pro připojení nabíjecí vidlice, která má průměr 75 mm, jelikož se nachází velmi blízko pantů mechanismu otvírání krabice a tím pádem je u kraje víka. Ubráním velkého množství materiálu by mohlo dojít vlivem otvírání k prasknutí případnému ulomení rohu víka u dolního pantu. Proto jsme se s vedoucím dohodli, že se víko otočí o 180 stupňů (respektive komponenty na něm), tím pádem bude díra na druhé straně. Simulátor se tedy bude otvírat přesně opačně než kniha.

Jednofázová zásuvka byla přesunuta na střed pravé svislé stěny, z důvodu aby nebyla příliš blízko pantu pro otvírání víka. BNC konektor je umístěn na stejném místě jako u předchozího simulátoru.

Výkresy a fotografie se nacházejí v příloze 1 a 3.

4.3.3 Deska plošného spoje DPS

Díky absenci PP je DPS poloviční oproti předchozí variantě. Postup výroby je stejný, jako u předchozí DPS.



Obrázek 34 - Schéma zapojení DPS simulátoru pro režim nabíjení 3C (Autodesk Eagle)

Popis schématu DPS na obrázku více:

Svorkovnice X1 (vstup):

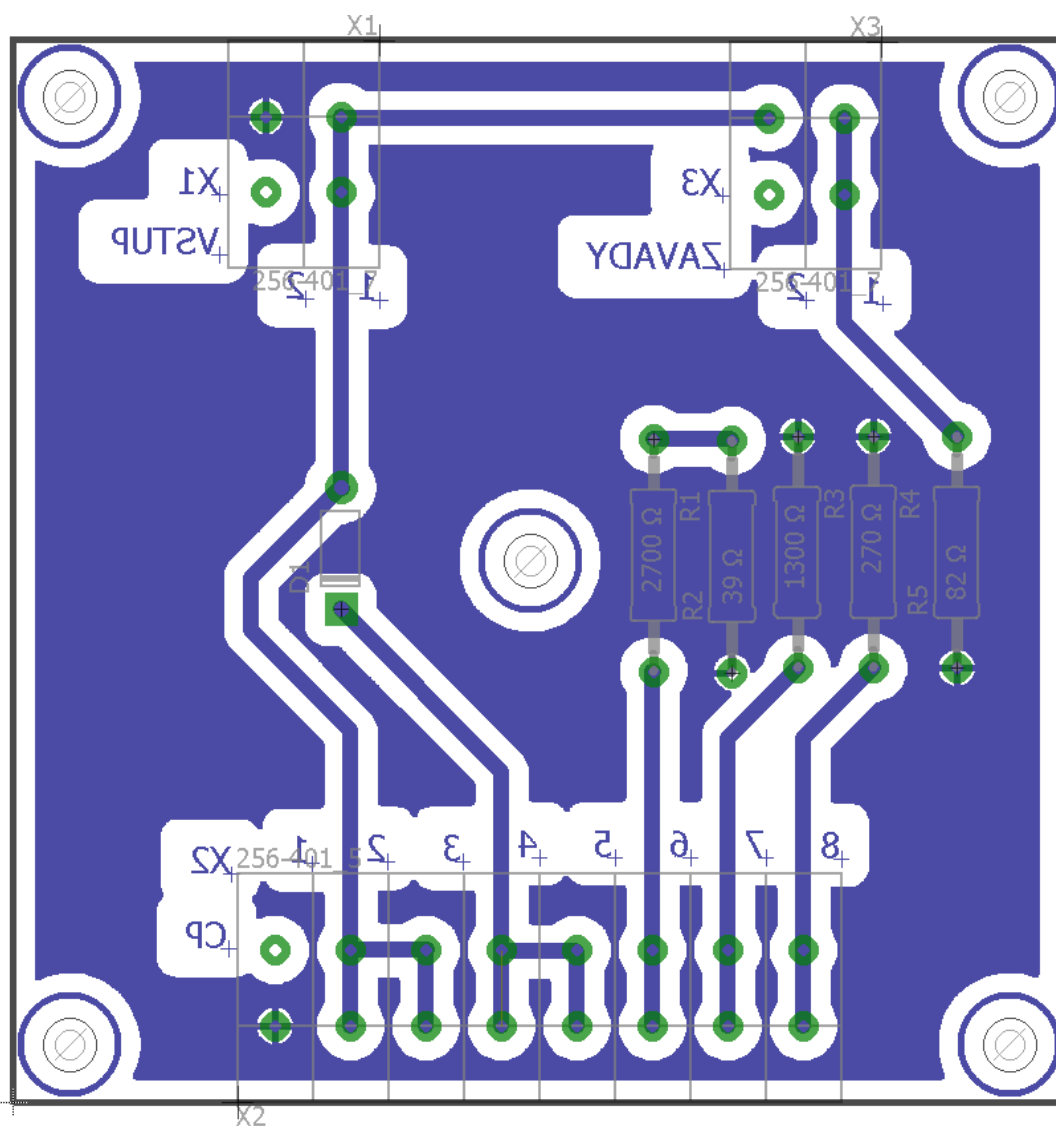
- Pin č. 1 – přívod vodiče CP
- Pin č. 3 – přívod vodiče PE

Svorkovnice X2 (CP):

- Pin č. 1 – nezapojen (vodič PE k BNC konektoru byl později veden přímo ze svorkovnice PE)
- Pin č. 2 – připojení BNC konektoru k CP
- Pin č. 3 – připojení přepínače S1
- Pin č. 4 – připojení přepínače S1
- Pin č. 5 – připojení rotačního přepínače CP
- Pin č. 6 až 8 – rezistory rotačního přepínače CP

Svorkovnice X3 (závady):

- Pin č. 1 – rezistor připojený k přepínači S3
- Pin č. 2 – připojení přepínače S3



Obrázek 35 - Motiv DPS simulátoru pro režim nabíjení 3C (Autodesk Eagle)

Svorkovnice mají zapojené oba piny stejně jako u předchozí varianty.

Tabulka 18 - Kusovník součástek na DPS pro simulátor 3C - svorkovnice

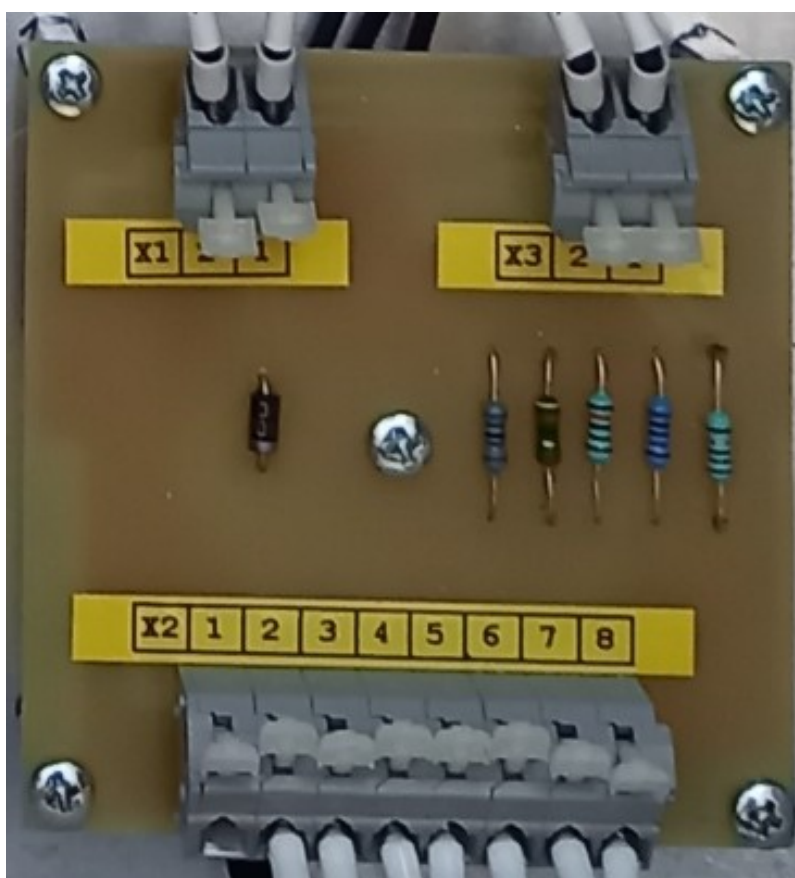
Pořadí	Značka	Označení	Počet vstupů
1	X1	256 - 401	2
2	X2	256 - 401	8
3	X3	256 - 401	2

Tabulka 19 - Kusovník součástek na DPS pro simulátor 3C – rezistory

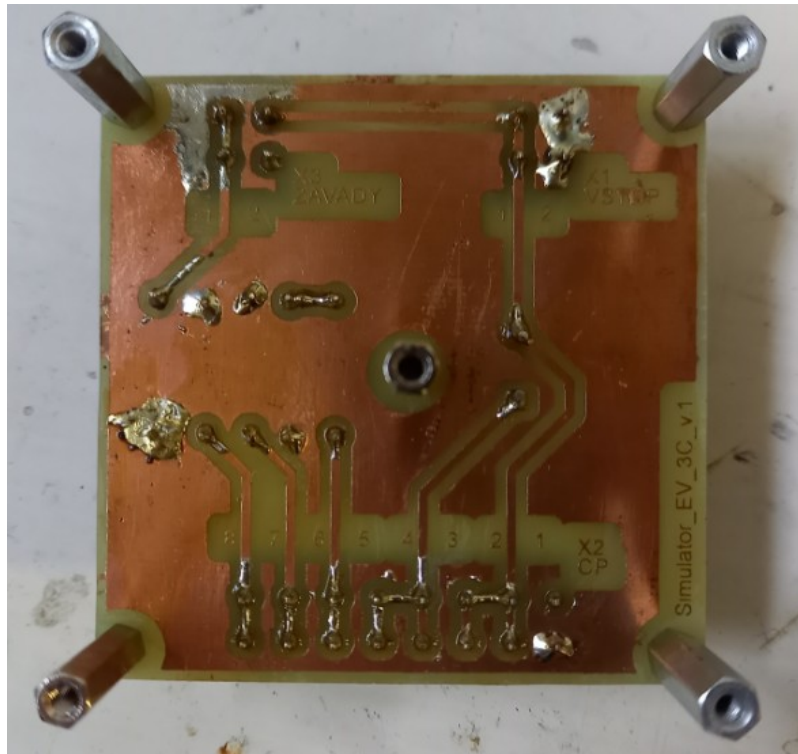
Pořadí	Značka	Odpor	Tolerance	Ztrátový výkon
1	R1	2700 Ω	1%	0,6 W
2	R2	39 Ω	1%	0,6 W
3	R3	1300 Ω	1%	0,6 W
4	R4	270 Ω	1%	0,6 W
5	R5	80 Ω	1%	1 W

Tabulka 20 - Kusovník součástek na DPS pro simulátor 3C - dioda

Pořadí	Značka	Typ	Označení	Max. propustný proud	Max. závěrné napětí
1	D1	Usměrňovací	1N4007	1A	1000 V



Obrázek 36 - DPS simulátoru pro režim nabíjení 3C



Obrázek 37 - DPS simulátoru pro režim nabíjení 3C

5 Návod na použití simulátorů EVSE pro režimy nabíjení 3B a 3C

V této kapitole bude popsána obsluha obou přístrojů zároveň (vzhledem k jejich podobnosti).

5.1 Uživatelská příručka pro simulátory EV

V případě použití simulátoru pro režim nabíjení 3B je nejdříve zapotřebí zasunout nabíjecí vidlici EV do zásuvky EV na nabíjecím wallboxu. Přepínač PP obsahuje pět poloh N.C, 13 A, 20 A, 32 A a 63 A. Přepínač PP nastavte do polohy, která odpovídá maximálnímu nabíjecímu proudu, který dokáže EVSE dodat. Zároveň je také nutné mít na paměti maximální proud, na který je dimenzován nabíjecí kabel. Maximální nabíjecí výkon je vždy limitován tím nejslabším členem sestavy, tak jak je patrné na následujícím obrázku. Na některých EVSE lze maximální nabíjecí proud nastavit, na některých je pevně nastaven. Výrobce EVSE uvádí maximální nabíjecí proud v dokumentaci k přístroji. Poloha N.C představuje situaci, kdy není připojen nabíjecí kabel. EVSE tuto polohu vnímá jako chybový stav E.

Přepínač CP obsahuje také pět poloh A, 2xB, C a D. Před připojením EV k EVSE je vhodné nastavit přepínač CP do polohy A. Poloha A znamená, že vozidlo není připojeno. Po přepnutí do polohy B dojde k uzamknutí vidlice v zásuvce wallboxu. Tato poloha znamená, že vozidlo je připojené a je připravené k nabíjení. Po přepnutí do polohy C dojde k sepnutí stykače a vozidlo je nabíjeno. Dojde k rozsvícení trojice LED diod, které signalizují přítomnost napětí na fázových vodičích. Po přepnutí zpět do polohy B dojde k okamžitému odepnutí stykače. Poloha D představuje nabíjení s ventilací místnosti. Tuto možnost nepodporují všechny wallboxy, jako například wallbox Phoenix Contact 22 kW.

Simulátor pro režim nabíjení 3B obsahuje čtyři závady. Všechny závady je nutné testovat v poloze C nebo D přepínače CP (jinak by zkouška postrádala smysl, protože stykač není sepnut). PE op představuje přerušení vodiče PE. Po vyvolání závady okamžitě rozezne stykač a tím dojde k přerušení nabíjení. Diode sh představuje přerušení diody označené jako D1 v předchozích elektrických schématech. Při vyvolání této závady by podle normy ČSN EN IEC 61851-1 mělo dojít k přerušení dodávky proudu, tedy k rozeznutí stykače, ale ne všechny wallboxy na tuto závadu reagují správně (více v podkapitole 5.2). Závada CP sh představuje přerušení vodiče CP. Po jejím vyvolání okamžitě rozezne stykač. Poslední závada PP sh představuje přerušení vodiče PP. Po jejím vyvolání okamžitě rozezne stykač.

Banánkové konektory, nebo přístrojové svorky můžete použít pro připojení dalších přístrojů jako například Metrel Eurotest XC MI 3152 EU. Jednofázovou zásuvku lze také použít pro připojení dalších spotřebičů. BNC konektory pak pro sledování signálu na vodičích CP a PP.

Simulátor pro režim nabíjení 3C se chová stejně, jako ten 3B. Rozdíl je v tom, že simulátor pro režim nabíjení 3C má vestavěnou zásuvku, takže je nutné mít také nabíjecí kabel. Není zde nic, co je spojené s vodičem PP (přepínač, spínač závady a BNC konektor), jelikož by tyto komponenty postrádaly smysl. Kabelový vývod vede z EVSE, nikoliv z EV jako u předchozí možnosti, tím pádem není možné měnit velikost odporu mezi PP a PE.

Maximální výkon nabíjecí stanice	Maximální výkon nabíjecího kabelu	Maximální výkon elektromobilu	Nastavený výkon pro nabíjení
22 kW	3,7 kW	22 kW	3,7 kW
22 kW	22 kW	11 kW	11 kW
3,7 kW	7 kW	22 kW	3,7 kW

Obrázek 38 - Maximální nabíjecí výkon [3]

5.2 Testování simulátorů pro režim nabíjení 3B a 3C

Oscilogramy se nacházejí v příloze 2. Osciloskop po vypnutí některé z nich uložil v jiném formátu, takže jsem je musel pomocí jiného softwaru vrátit do původního formátu. Navíc některé oscilogramy uložil tak, že mají úplně jiné barvy. To je důvod, proč se jednotlivé oscilogramy tak liší i když byly měřeny jedním osciloskopem. Software pomocí něhož jsme zachránil polovinu oscilogramů mi ale nepomohl u prvních čtyř obrázků, na kterých měly být vidět hodnoty napětí na CP pro jednotlivé polohy přepínače CP. Průběhy jsou ale velmi podobné těm z měření simulátoru pro režim nabíjení 3B.

5.2.1 Testování simulátoru pro režim nabíjení 3B

Simulátor pro režim nabíjení 3B byl testován na wallboxu Phoenix Contact 22 kW. Vedoucí mi také poskytl svůj notebook připojený k řídicí jednotce wallboxu (R), kde šlo sledovat pomocí programu jednotlivé stavy, ve kterých se wallbox nachází.

Bylo zjištěno, že tento wallbox neumí polohu D na přepínači CP a vnímá tuto polohu jako chybový stav E. Navíc tento error nezmizí po přepnutí do polohy B, ale až po přepnutí do polohy A.

Hodnoty napětí na signálu CP odpovídají rozsahu danému v Tabulce A. 10 v normě ČSN EN IEC 61851-1 (dále už jen normě), konkrétně se jedná o hodnoty pro polohy (při $f = 1,000$ kHz):

- A, $V_{max} = 11,8$ V, $V_{min} = 11,2$ V
- B, $V_{max} = 8,8$ V, $V_{min} = -12$ V
- C, $V_{max} = 6$ V, $V_{min} = -12$ V
- D, $V_{max} = 3$ V, $V_{min} = 2,4$ V

Následně byla měřená střída signálu na CP, za účelem zjištění jestli správně reaguje na změnu pozice přepínače PP. Přepínač CP se nacházel v poloze B.

- N.C., Program tuto polohu označil jako E – PP error, což je správně a navíc na wallboxu svítí červená LED dioda označující chybový stav.
- 13 A, Střída signálu je 21 %.
- 20 A, Střída signálu je 32 %.
- 32 A, Střída signálu je 52 %.
- 63 A, Střída signálu je 88 %.

Z výsledků je patrné že s nabíjecím proudem roste střída PWM.

Dále bylo testováno, do kdy wallbox sepne stykač po přechodu mezi stavy B2 a C2 nebo D2 (vozidlo nechce nabíjet x vozidlo chce nabíjet). Stykač sepl za 28,4 ms ze stavu B2 do C2, což je správně protože norma udává maximální dobu sepnutí 3 s. Stav D2 nešel otestovat, protože ho wallbox nepodporuje.

Dále, do kdy wallbox vypne stykač po přechodu ze stavu C2 nebo D2 do stavu B2 (EV nabíjelo a už nedále nabíjet nechce). Stykač vypl za 22,4 ms, což také odpovídá požadavku normy, který je 100 ms.

Další testem bylo nutné zjistit, jak jak wallbox reaguje na vyvolání jednotlivých chyb, zda reaguje správně a také do kdy vypne stykač. Po vyvolání závady přerušení vodiče PE stykač vypl za 13,2 ms, což je správně, jelikož norma předepisuje vypnutí do maximálně 100 ms. Po vyvolání závady zkratu CP na PE stykač vypl za 24,4 ms, což také vyhovuje normě, která předepisuje až 3 s. Po vyvolání závady zkratu PP na PE stykač vypl za 11,2 ms. V normě jsem nikde předepsanou hodnotu pro vypnutí stykače pro tuto závadu nenašel. Po vyvolání závady zkratu diody D1 nevypl stykač i když by správně měl. Norma v Tabulce A4 říká, že jmenovitá hodnota ve stavu E má být 0 V, ale pokud byl wallbox ve stavu E, hodnota napětí byla dána stavem přepínače CP (například v B – 9 V).

Zotavení wallboxu z jednotlivých chyb bylo trošku zvláštní. Po vrácení spínače závady do základní polohy stykač sepl v rozmezí 3 až 20 s. Což ale není špatně, protože norma neuvádí maximální čas opětovného sepnutí stykače. Navíc se PWM signál na osciloskopu objevil až po uplynutí této doby.

Informaci o tom, kdy wallbox zamkne nabíjecí kabel v zásuvce proti jeho vytažení z wallboxu jsem v normě nenašel. Měření ukázalo, že k zamknutí došlo za 160 ms, ale při úplně prvním měření došlo k zamknutí zásuvky za 4 s. Zvláštní bylo, že při dalších měřeních se čas prakticky ustavil na 120 ms. Ve stavu zamknuto bylo napětí mezi žlutým a zeleným vodičem vedoucím mezi řídicí jednotkou wallboxu a motorkem zásuvky 0 V, pro stav odemknuto pak 2 V. Norma stanovuje, že wallbox musí odemknout zásuvku pro vytažení nabíjecího kabelu z wallboxu maximálně za 5 s. K odemknutí zámku došlo za 120 ms, což vyhovuje normě. Zásuvka se zamyká a odemyká, přepínám mezi stavy A a B přepínače CP.

Změření napětí voltmetrem mezi vodičem PP a PE pro jednotlivé stavy přepínače PP je následující:

- N.C, 11,7 V
- 13 A, 7,06 V
- 20 A, 4,79 V
- 32 A, 2,136 V
- 63 A, 1,077 V

5.2.2 Testování simulátoru pro režim nabíjení 3C

Simulátor pro režim nabíjení 3C byl testován na nabíjecím kabelu pro režim nabíjení 2, a byl nastaven na maximální rozsah nabíjecího proudu 32 A. Tento nabíjecí kabel podporoval polohu D na přepínači CP.

Hodnoty napětí na signálu CP odpovídají rozsahu danému v Tabulce A. 10 v normě, konkrétně se jedná o hodnoty pro polohy:

- A, $V_{max} = 12,4$ V, $V_{min} = 11,6$ V
- B, $V_{max} = 9,2$ V, $V_{min} = -12,4$ V
- C, $V_{max} = 6,2$ V, $V_{min} = -12,4$ V
- D, $V_{max} = 3,2$ V, $V_{min} = -12,4$ V

Střída signálu nebyla měřena, protože byl nabíjecí kabel celou dobu nastaven na nabíjecí proud 32 A. Bylo ale odzkoušeno, že se střída mění při změně nabíjecího proudu.

Wallbox sepne, nebo vypne stykač po přechodu mezi stavy B2 a C2, nebo D2 (EV nechce nabíjet x EV chce nabíjet):

- Stykač sepl za 15,0 ms (přepínač CP v poloze C)
- Stykač vypl za 12,2 ms (přepínač CP v poloze C)
- Stykač sepl za 14,2 ms (přepínač CP v poloze D)
- Stykač vypl za 11,4 ms (přepínač CP v poloze D)

Nakonec se jako v předchozím případě testovalo, jak bude EVSE reagovat na vyvolání jednotlivých chyb, zda bude reagovat správně a také do jaké doby od vyvolání sepne stykač. Navíc jsem zjistil, že toto EVSE na rozdíl od přechozí varianty spíná stykač po zrušení závady mnohem rychleji, než to předchozí, pro jsem se rozhodl, že změřím i dobu kdy stykač opět sepl. Po vyvolání závady přerušení vodiče PE stykač vypl za 12,2 ms a po zrušení závady opět sepl za 16,4 ms. Po vyvolání závady zkrat CP na PE stykač vypl za 12,4 ms a po zrušení závady opět sepl za 15 ms. Po vyvolání závady zkratu diody D1 došlo pouze k poklesu záporné části PWM, ale stykač stejně jako v předchozí variantě nevypl. Dělo se tak, pokud byl přepínač CP v poloze C i D.

Z toho tedy plyne, že se EVSE zotaví z chyb po jejich zániku v řádech desítek ms. EVSE reaguje správně na závady přerušení vodiče PE a zkratu vodiče CP na PE, ale reaguje špatně na zkratování diody D1.

Závěr

Zadáním práce bylo navrhnout a realizovat simulátor elektrického vozidla, který bude sloužit k testování nabíjecích stanic a umožní simulaci vybraných poruchových stavů

V průběhu zpracování práce bylo nezbytné prostudovat řadu odborných podkladů, nejvýznamnějším byla norma ČSN EN IEC 61851-1, která definuje požadavky na komunikaci mezi elektrickým vozidlem a nabíjecí stanicí.

Výsledkem práce jsou dva funkční simulátory určené pro režim nabíjení 3B a 3C. Jejich správná funkce byla ověřena praktickým měřením. V poslední kapitole se sice objevily určité chyby, ale ty způsoboval nabíjecí wallbox, nikoli simulátor. Podařilo se mi změřit přes dvacet oscilogramů, které ukazují průběhy signálů na vodiči CP, jejich reakci na změnu polohy přepínače PP, hodnoty napětí, reakci simulátoru na změnu stavů a vyvolání simulovaných závad.

Při návrhu a stavbě došlo k několika komplikacím, jako jsou například špatně zvolená hodnota rezistoru u závady zkrat CP na PE a zkrat PP na PE, ale tyto závady byly následně opraveny. Kromě samotné realizace přinesla práce i osobní přínos v podobě získaných nových praktických dovedností, jako je pájení desky plošného spoje, instalace kabeláže a práce s měřicí technikou.

Navržený simulátor bude využíván zejména při praktické výuce. Do budoucna je možné uvažovat o další rozšíření v podobě testeru nabíjecích stanic, jako je například Metrel Eurotest XC MI 3152 EU.

Literatura

- [1] ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI (ČAS). ČSN EN IEC 61851-1 ED.3 (341590), ČSN EN IEC 61851-1 ed. 3 *Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením - Část 1: Obecné požadavky*. Edice 3, Oprava 1. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2021.
- [2] XAZSE - měření na wallboxu. Online, Výukový materiál. Pardubice: Univerzita Pardubice. Poskytnuto vedoucím bakalářské práce. [cit. 2025-02-07].
- [3] XAZSE_YAZSE_AKU_Nabíjecí_stanice. Online, Výukový materiál, Autor: Ing. Ondřej Sadílek, Ph.D., Pardubice: Univerzita Pardubice. Poskytnuto vedoucím bakalářské práce. [cit. 2025-02-08].
- [4] ELINKPOWER. *Úplné srovnání: Nabíječky elektromobilů v režimu 1, 2, 3 a 4*. Online. [HTTPS://WWW.ELINKPOWER.COM/](https://www.elinkpower.com/). ELINKPOWER. 2024. Dostupné z: <http://cs.elinkpower.com/news/mode-1-2-3-4-ev-charger/>. [cit. 2025-02-07].
- [5] AUTODOC CLUB. *Jaké jsou různé nabíječky pro elektromobily*. Online. AUTODOC CLUB. 2022. Dostupné z: <https://club.autodoc.cz/magazin/jake-jsou-ruzne-nabijecky-pro-elektromobily>. [cit. 2025-02-10].
- [6] *Proudový chránič*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 4. 12. 2024. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Proudov%C3%BD_chr%C3%A1ni%C4%8D. [cit. 2025-02-15].
- [7] ELEKTRO - ČASOPIS PRO ELEKTROTECHNIKU. *Použití a měření RCD v dobíjecích stanicích pro elektromobily*. Online. ELEKTRO - časopis pro elektrotechniku. 2020. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/clanek/pouziti-a-mereni-rcd-v-dobijecich-panicich-pro-elektromobily--5716>. [cit. 2025-02-15].
- [8] ABB. *Nabíjecí stanice Terra HP s výkonem až 350 kW*. Online. ABB. Dostupné z: <https://new.abb.com/ev-charging/cs/terra-hp>. [cit. 2025-02-10].
- [9] ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI (ČAS). ČSN 33 2000-6 ed. 2 (33 2000), ČSN 33 2000-6 ED.2 *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 6: Revize*. Edice 2. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019.
- [10] METREL. *METREL A 1532 XA EVSE Adapter Instruction Manual*. Online. METREL. 2021. Dostupné z: <https://device.report/manual/2345625>. [cit. 2025-03-07].
- [11] ELECTRIC VEHICLE DATABASE. *Highest average charging power*. Online. Electric Vehicle Database, 2025. Dostupné z: https://ev-database.org/compare/fast-charging-electric-vehicle-quietest#group=vehicle-group&rs-pr=10000_100000&rs-er=0_1000&rs-ld=0_1000&rs-ac=2_23&rs-dcfc=10_300&rs-ub=10_200&rs-tw=0_2500&rs-ef=100_350&rs-sa=-1_5&rs-w=1000_3500&rs-c=0_5000&rs-y=2010_2030&s=11&p=0-10. [cit. 2025-03-20].
- [12] LOVATO. *GA040A*. Online. LOVATO. Dostupné z: <https://www.elektrosms.cz/ElektroSMS/media/com//Technicke-parametry-GA040A.pdf>. [cit. 2025-03-25].

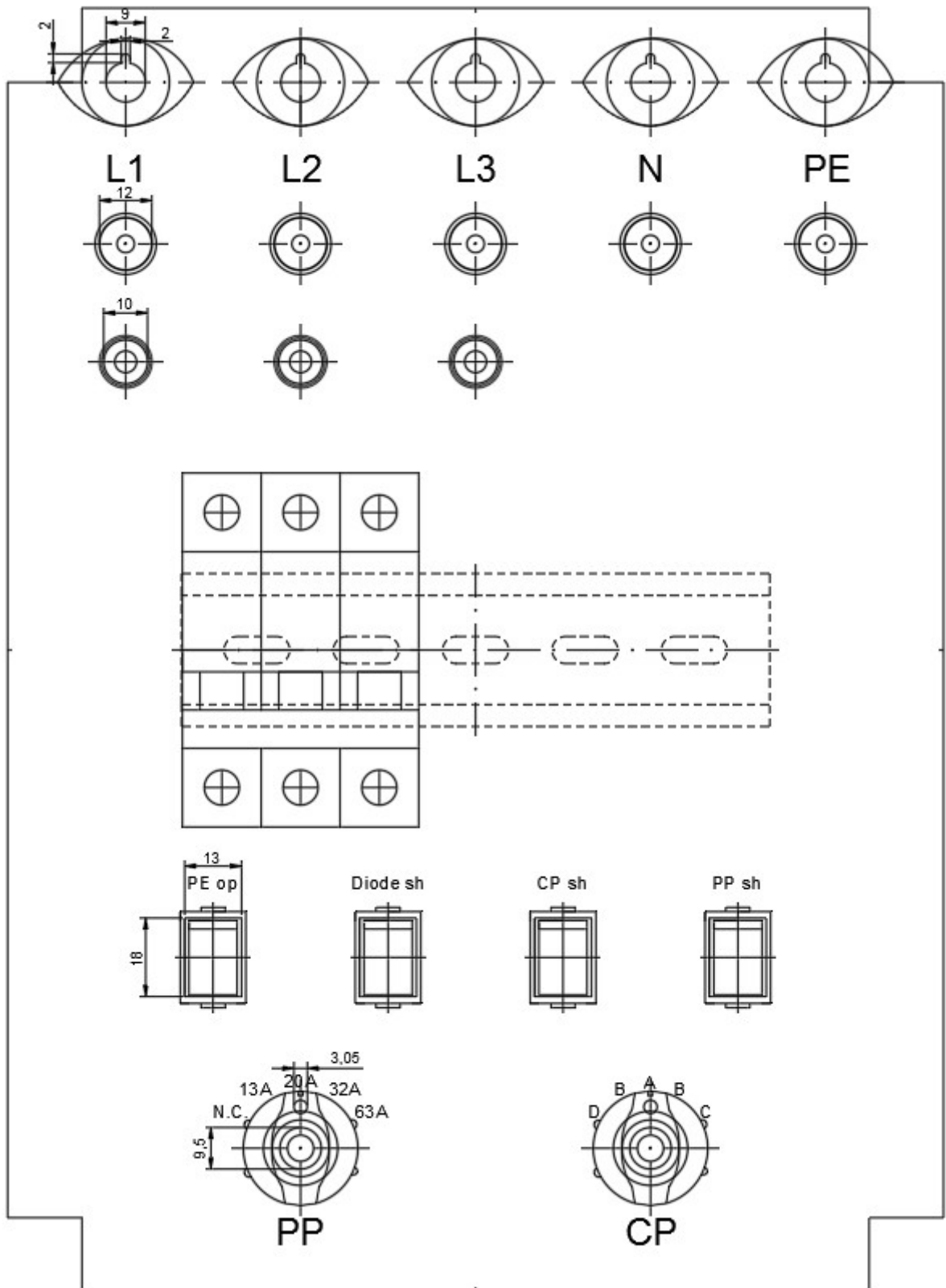
- [13] LOVATO. *P1RC4P25AC300*. Online. LOVATO. Dostupné z: http://datasheet.lovatoelectric.com/Miniature_and_residual_circuit_breakers/ENG/P1RC4P25AC300.pdf. [cit. 2025-03-25].
- [14] LOVATO. *P1MS1P032*. Online. LOVATO. Dostupné z: http://datasheet.lovatoelectric.com/Miniature_and_residual_circuit_breakers/ENG/P1MS1P032.pdf. [cit. 2025-03-25].
- [15] Phoenix Contact. *EEM-EM357*. Online. Phoenix Contact. Dostupné z: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/gl/002225739DS01/list-technickych-udaju-2225739-phoenix-contact-eem-em357-digitalni-panelovy-meric.pdf>. [cit. 2025-03-25].
- [16] LOVATO. *BF18T4A230*. Online. LOVATO. Dostupné z: <https://datasheet.lovatoelectric.com/Contactors/ENG/BF18T4A230.pdf>. [cit. 2025-03-25].
- [17] WESTERN AUTOMATION. *RCM14-03 AC/DC RESIDUAL CURRENT MONITOR*. Online. -. -. Dostupné z: https://www.mouser.com/catalog/specsheets/Littelfuse_WA-DS-015-RCM14-03-Rev-D.pdf?_gl=1*s2xvor*_gcl_aw*R0NMLjE3NDM4NDc5NzAuQ2owS0NRandxY09fQmhEYUFSSXNBQ3o2MnZOV3NDajJnOFRQNU9la05vZUZsQWFPuJBoN0NXUXFlaDZ0Q1pVS21meFVwLXIxaUlR1VmWWFBakdMRUFMd193Y0I.*_gcl_au*NjEyMTkwOTA0LjE3NDM4NDc5Njk.*_ga*OTExNTA5ODg4LjE3NDM4NDc5NzA.*_ga_15W4STQT4T*MTc0Mzk0NDk3Ni4zLjAuMTc0Mzk0NDk3OC41OC4wLjA. [cit. 2025-03-25].
- [18] PHOENIX CONTACT. *CHARX SEC-3000 - AC charging controller*. Online. Dostupné z: <https://www.phoenixcontact.com/en-us/products/ac-charging-controller-charx-sec-3000-1139022?type=pdf>. [cit. 2025-03-25].
- [19] PHOENIX CONTACT. *Power supply unit - STEP-PS/ 1AC/24DC/0.75*. Online. Dostupné z: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/000511731DS02/list-technickych-udaju-511731-phoenix-contact-step-ps1ac24dc075-sitovy-zdroj-na-din-listu-24-vdc-083-a-18-w-vystupy-1-x.pdf>. [cit. 2025-03-25].
- [20] REVIZNÍ PŘÍSTROJE. *Eurotest XC MI 3152 EU - sdružený revizní přístroj*. Online. Revizní přístroje. Dostupné z: <https://www.reviznipristroje.cz/sdruzene-revizni-pristroje/21-eurotest-xc-mi-3152-eu-sdruzeny-revizni-pristroj.html>. [cit. 2025-04-01].
- [21] ELEKTRO - ČASOPIS PRO ELEKTROTECHNIKU. *EVSE adaptér – pomocník při provádění revizí EV dobíjecích stanic*. Online. ELEKTRO - časopis pro elektrotechniku. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/evse-adapter-pomocnik-pri-provadeni-revizi-ev-dobijecich-panic--17417>. [cit. 2025-04-01].
- [22] ILLKO. *IMPEDANCE PORUCHOVÉ SMYČKY*. Online. ILLKO. 2017. Dostupné z: https://www.illko.cz/wp-content/uploads/2024/03/mereni_z_loop.pdf. [cit. 2025-04-10].
- [23] ELEKTRO - ČASOPIS PRO ELEKTROTECHNIKU. *Měření elektrických spotřebičů při revizích*. Online. ELEKTRO - časopis pro elektrotechniku. 2014. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/mereni-elektrickych-spotrebicu-pri-revizich-3--14212>. [cit. 2025-04-10].

Seznam příloh

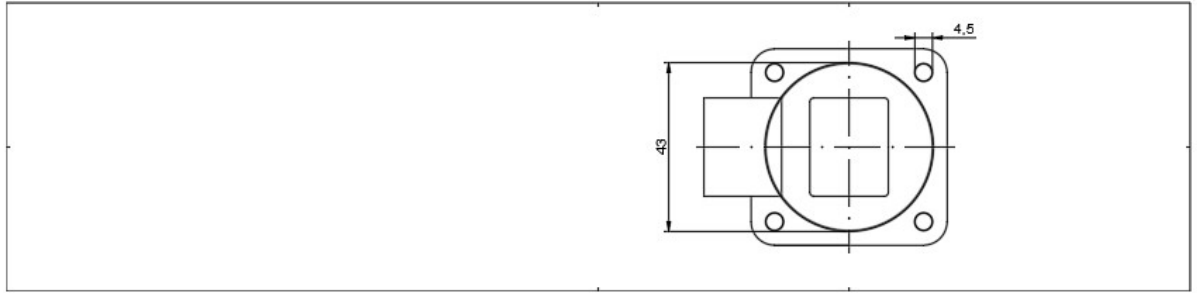
Příloha 1	Mechanické provedení
Příloha 2	Naměřené oscilogramy
Příloha 3	Fotografie simulátorů

Příloha 1

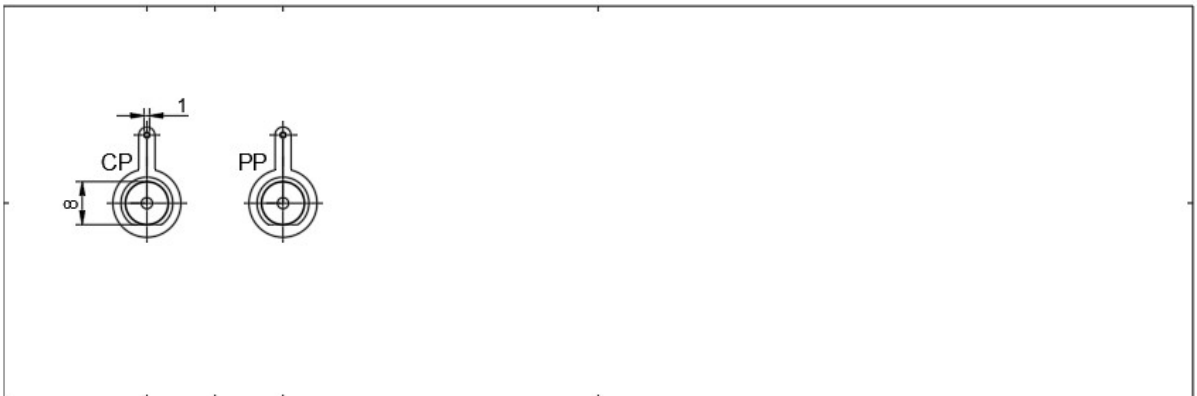
Mechanické provedení



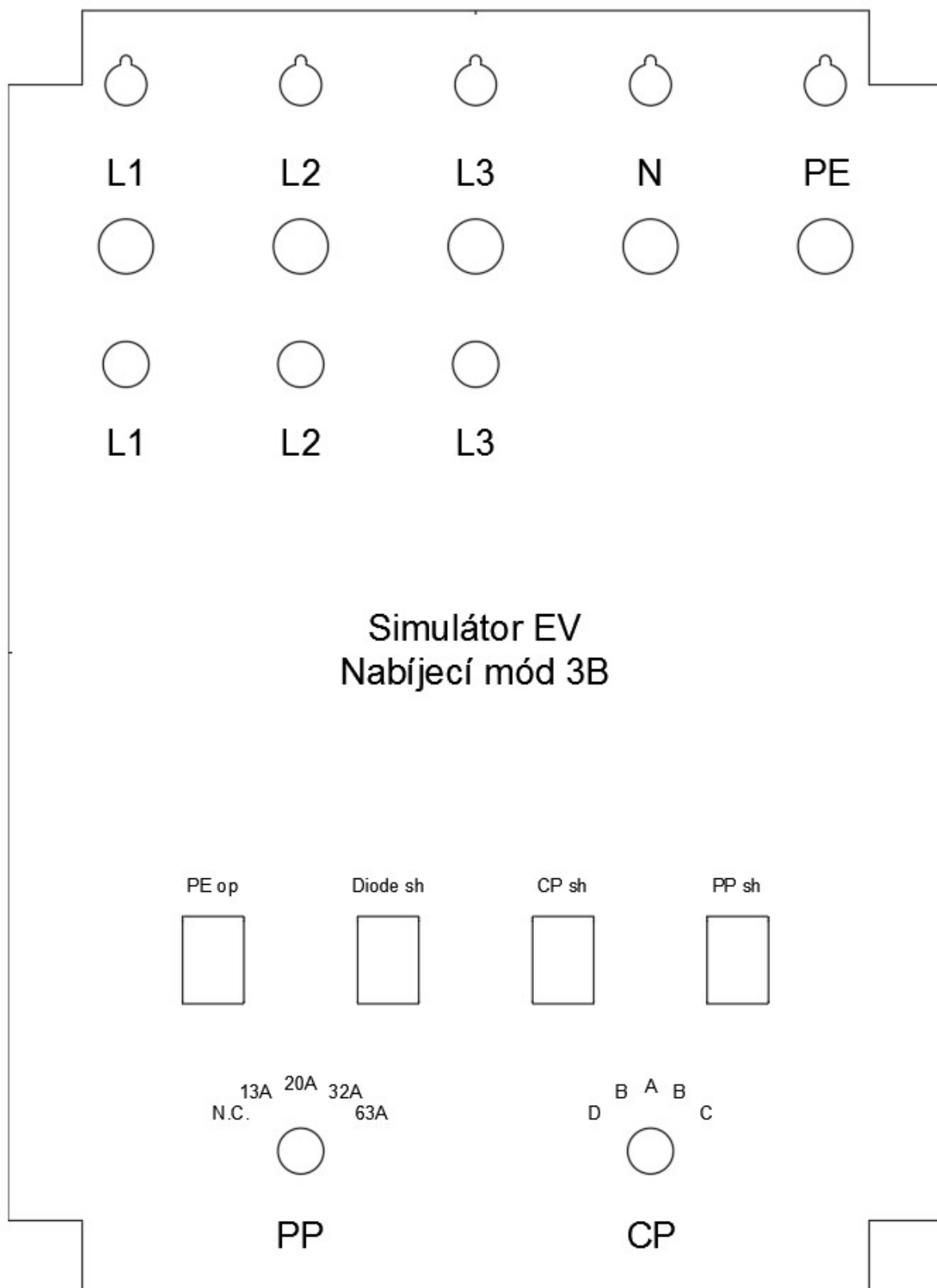
1.1 Simulátor 3B – pohled na čelní víko s komponentami, (není v měřítku 1:1)



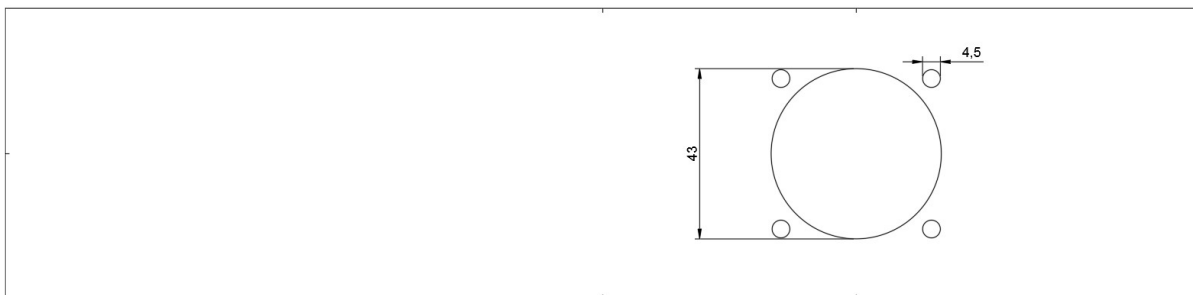
1.2 - Simulátor 3B – pohled na pravou svislou stěnu krabice s 1f zásuvkou, (není v měřítku 1:1)



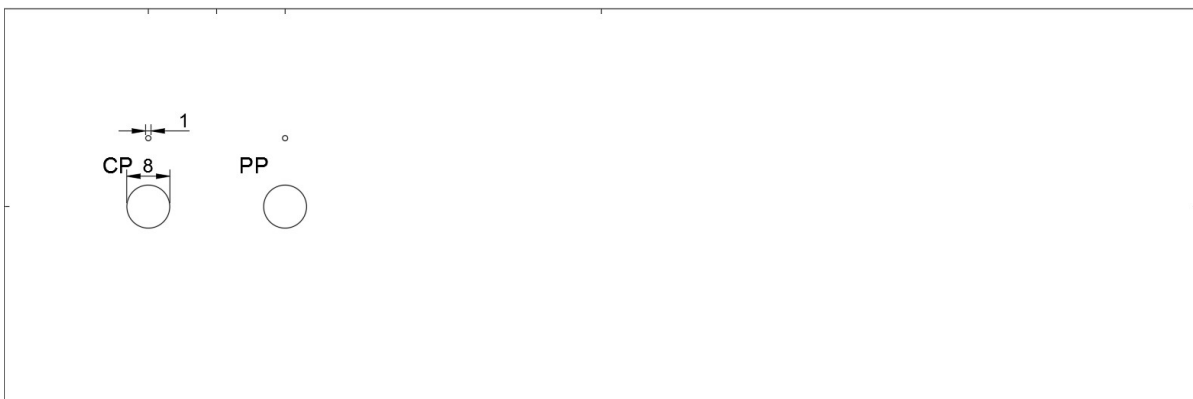
1.3 - Simulátor 3B – pohled na přední svislou stěnu krabice s BNC konektory CP a PP, (není v měřítku 1:1)



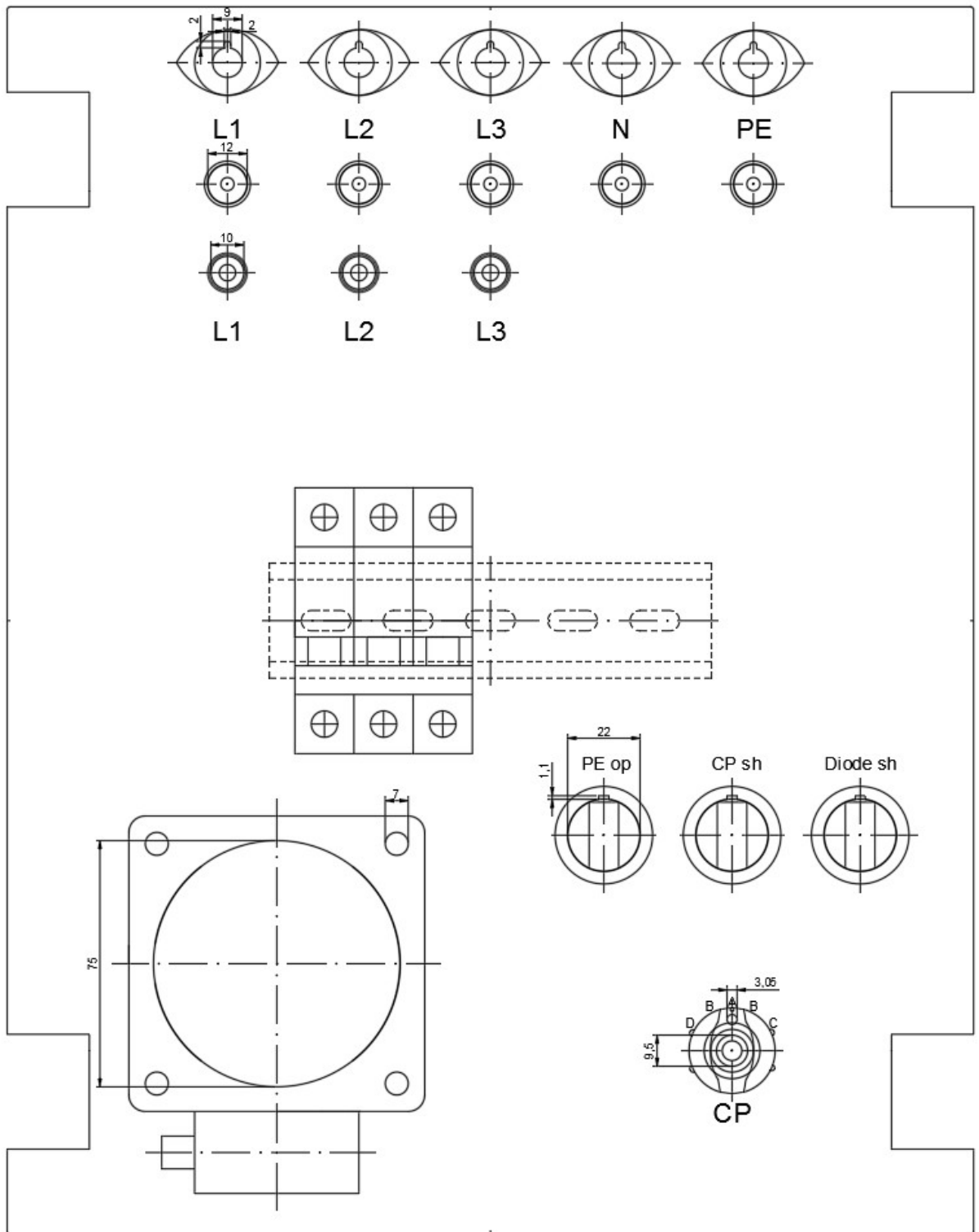
1.4 - Simulátor 3B – pohled na čelní víko (šablona polepu), (není v měřítku 1:1)



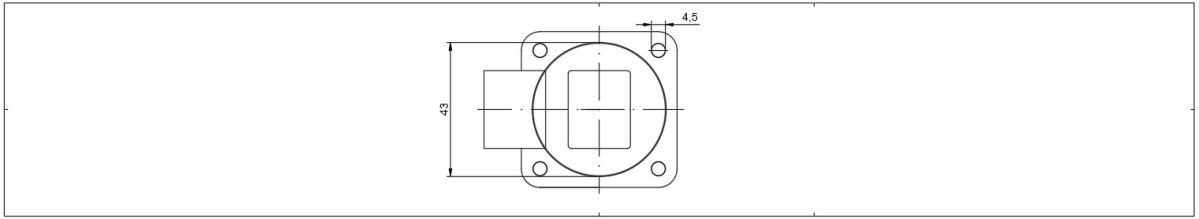
1.5 - Simulátor 3B – pohled na pravou svislou stěnu krabice (otvory pro 1f zásuvku), (není v měřítku 1:1)



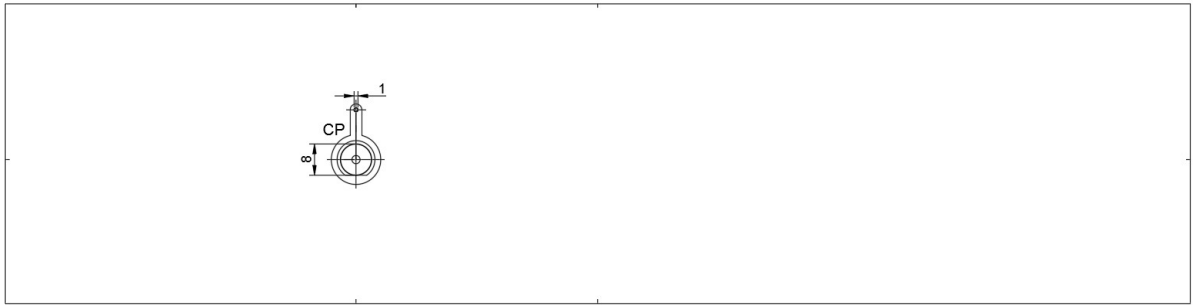
1.6 - Simulátor 3B – pohled na přední svislou stěnu krabice (otvory pro BNC konektory CP a PP), (není v měřítku 1:1)



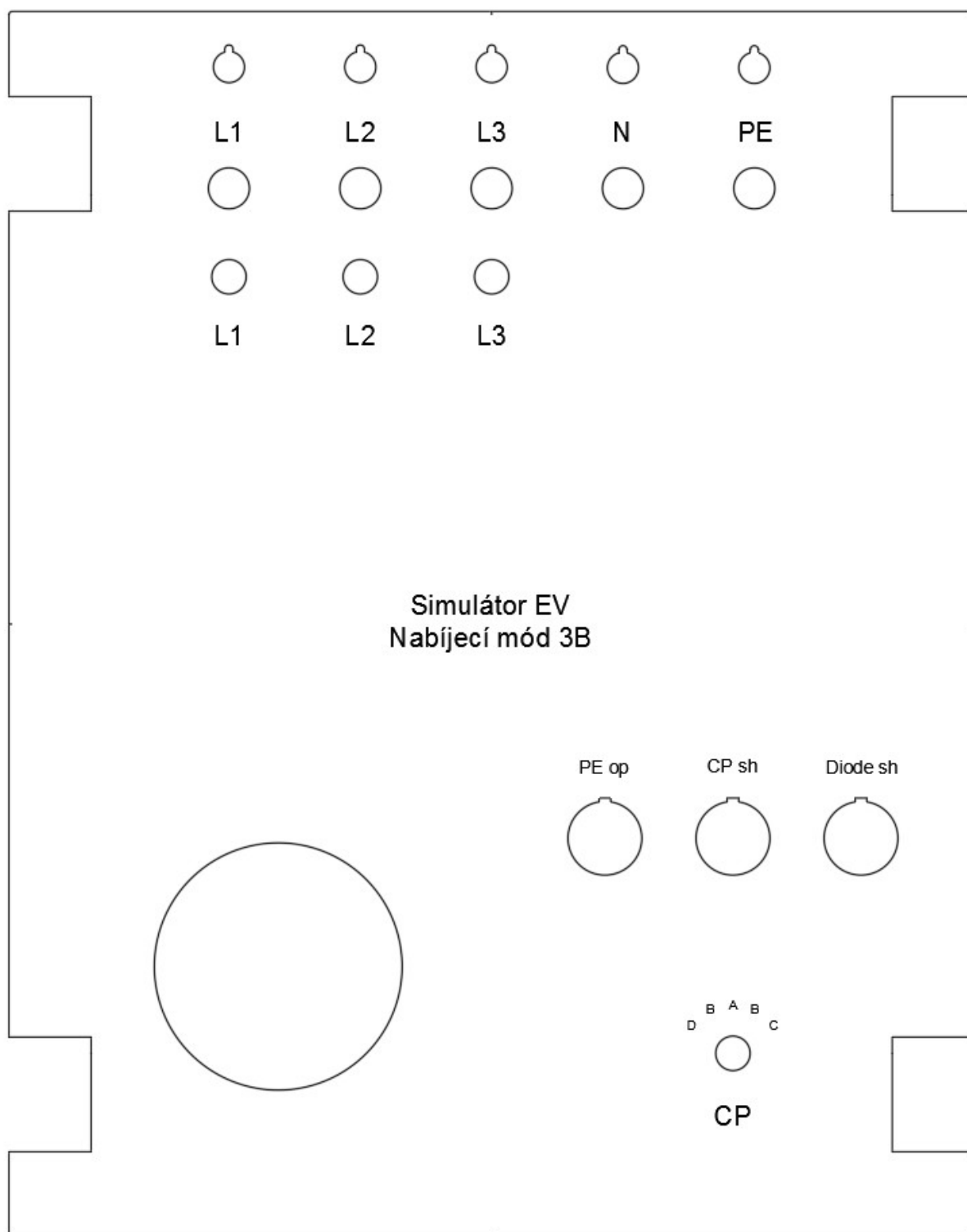
1.7 - Simulátor 3C - pohled na čelní viko s komponentami, (není v měřítku 1:1)



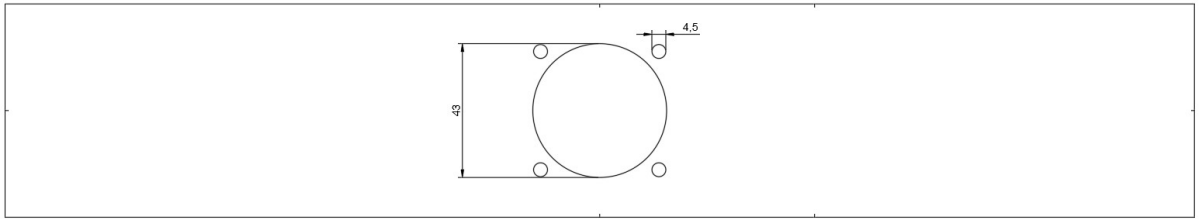
1.8 - Simulátor 3C - pohled na pravou svislou stěnu krabice s 1f zásuvkou, (není v měřítku 1:1)



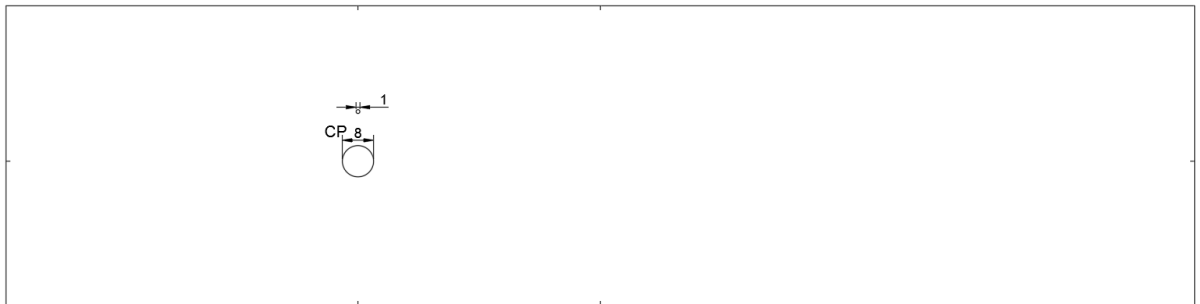
1.9 - Simulátor 3C – pohled na přední svislou stěnu krabice s BNC konektorem CP, (není v měřítku 1:1)



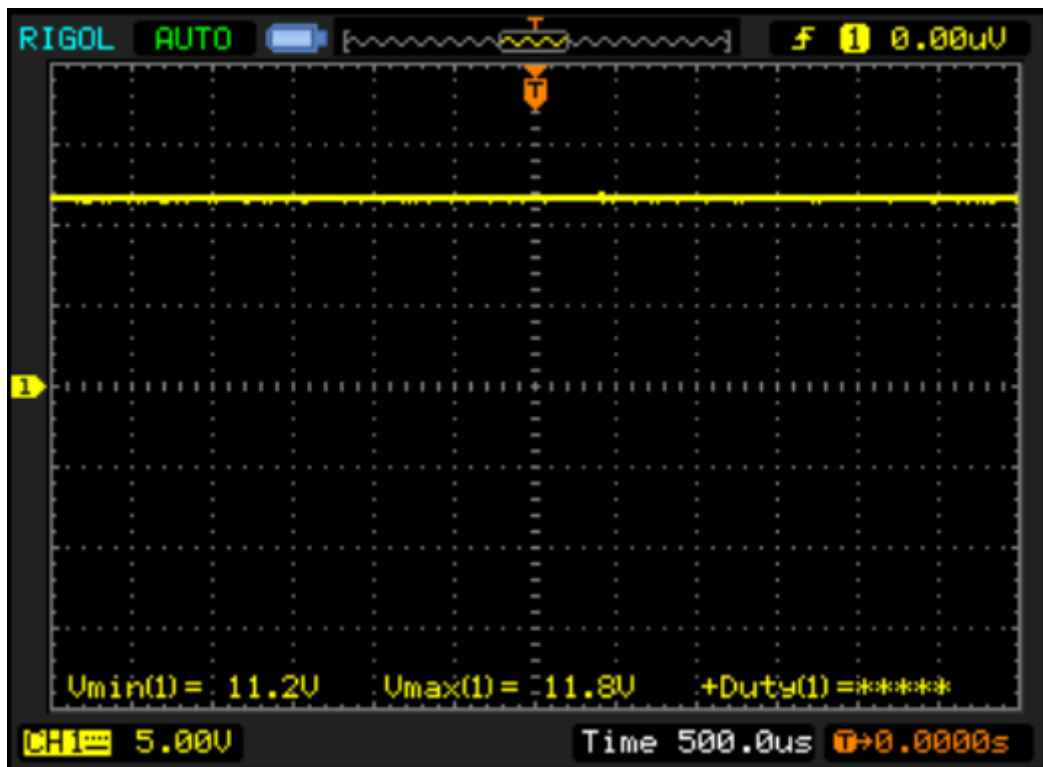
1.10 - Simulátor 3C – pohled na čelní víko (šablona polepu), (není v měřítku 1:1)



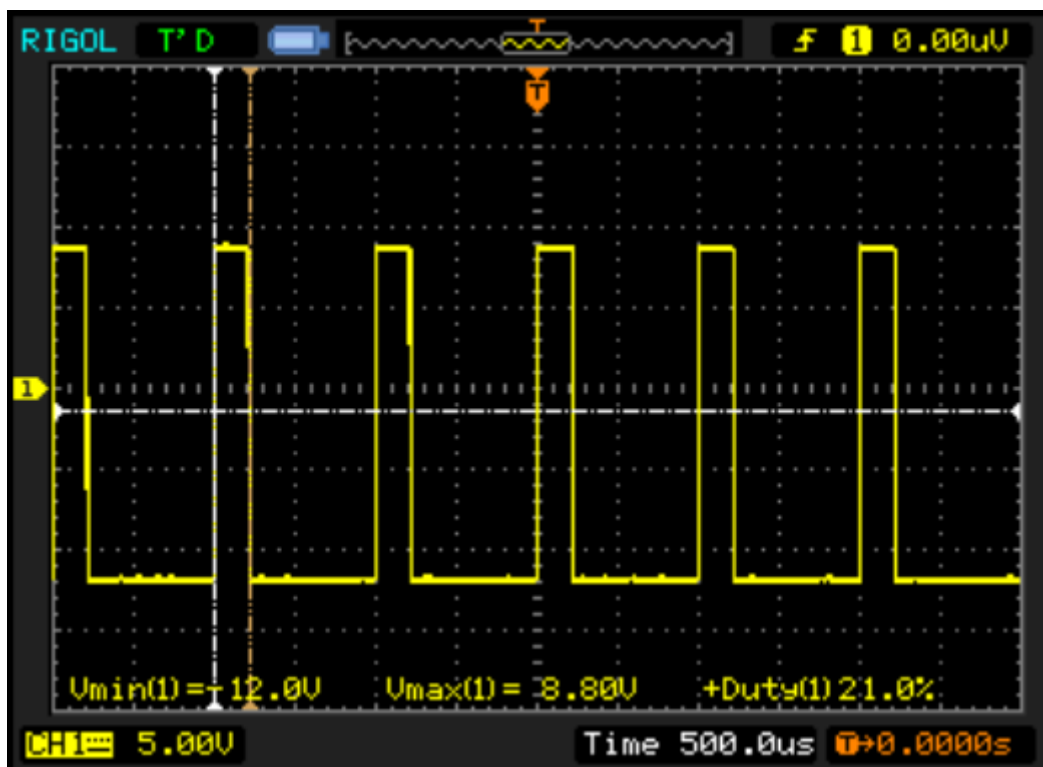
1.11 - Simulátor 3C – pohled na pravou svislou stěnu krabice (otvory pro 1f zásuvku), (není v měřítku 1:1)



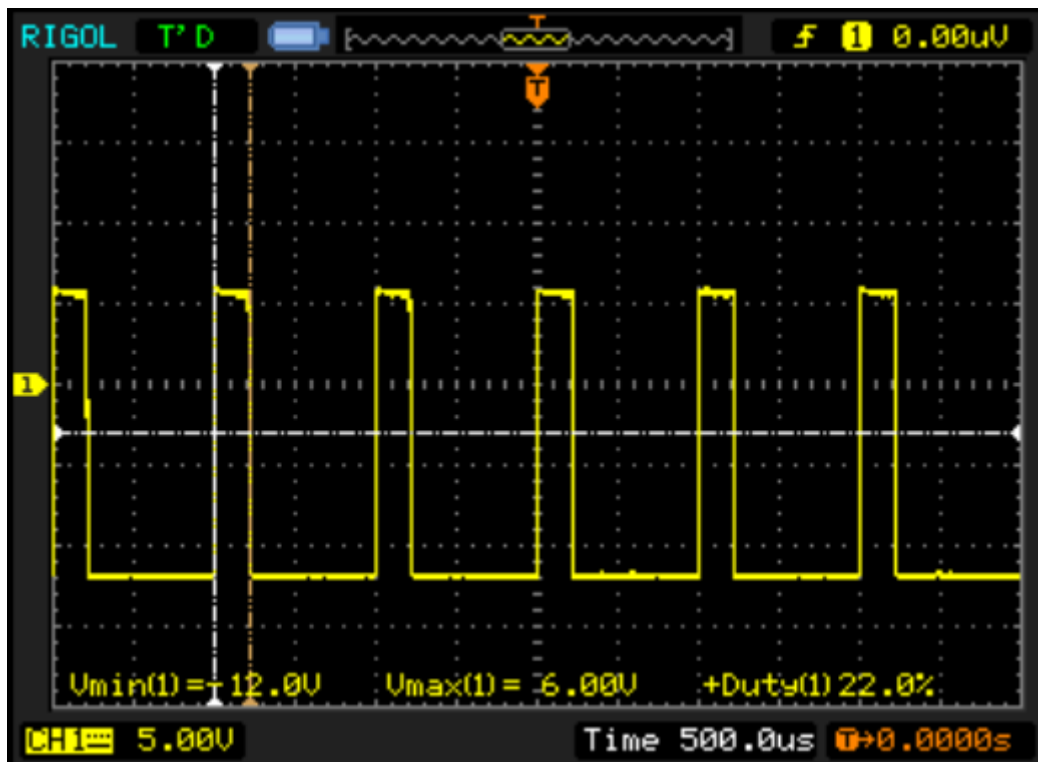
1.12 - Simulátor 3C – pohled na přední svislou stěnu krabice (otvor pro BNC konektory CP), (není v měřítku 1:1)



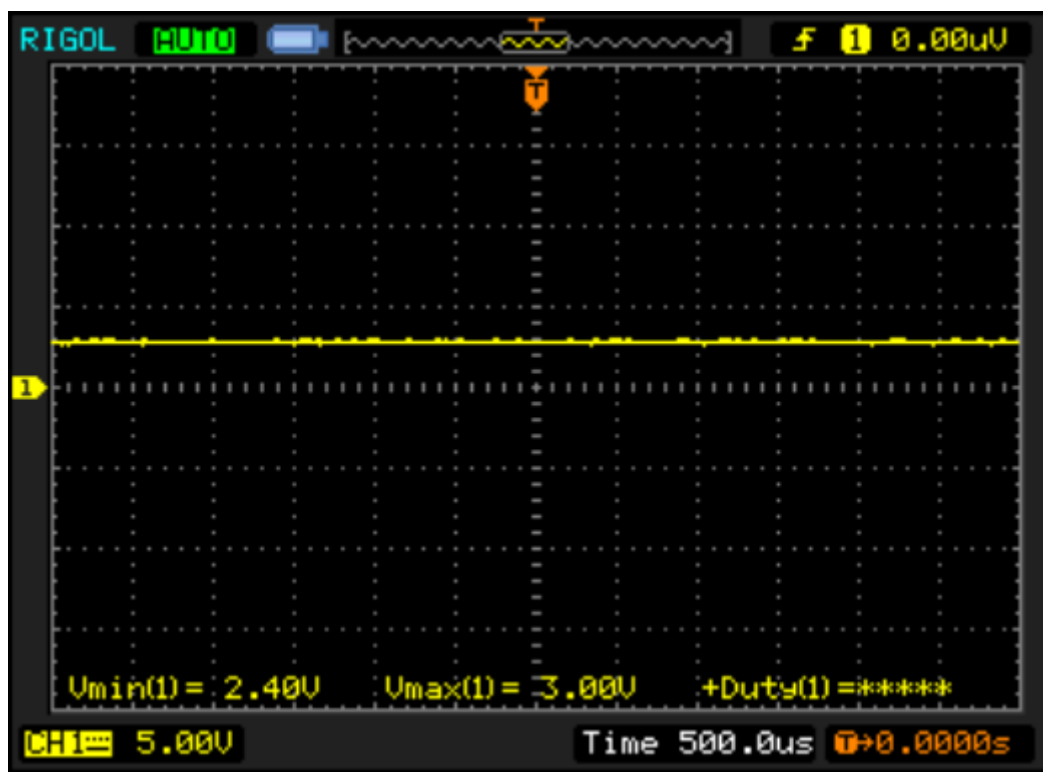
2.1 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - signál na vodiči CP, přepínač CP v poloze A (PP v poloze 13 A)



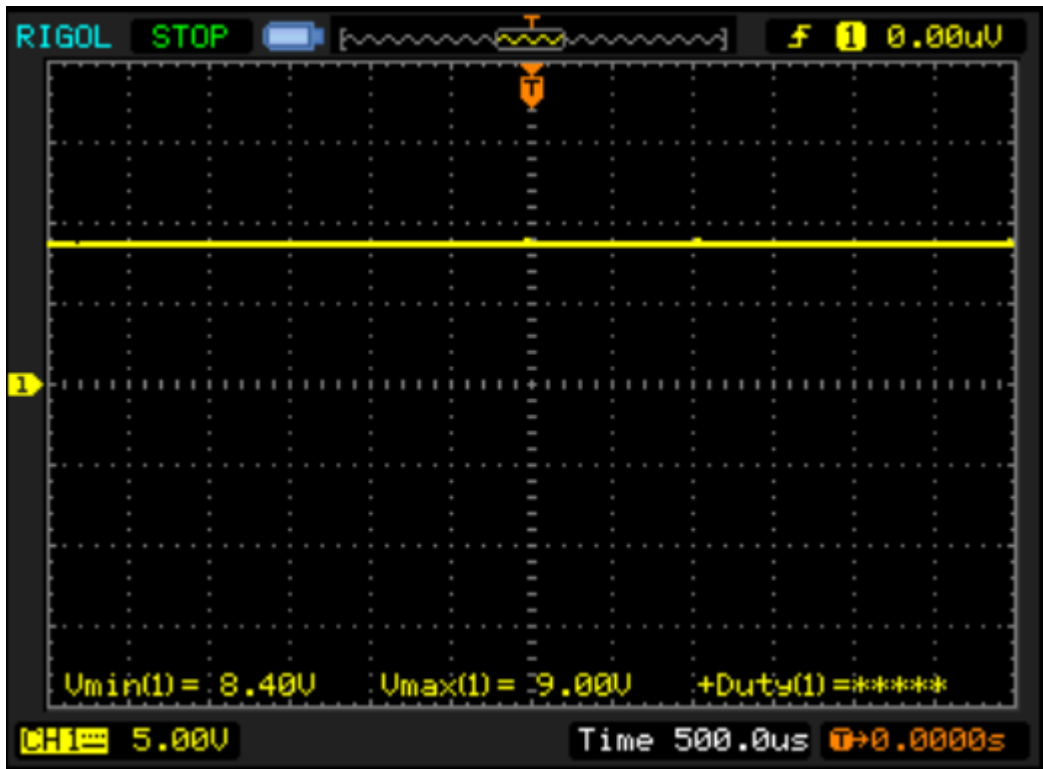
2.2 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - Signál na vodiči CP, přepínač CP v poloze B (PP v poloze 13 A)



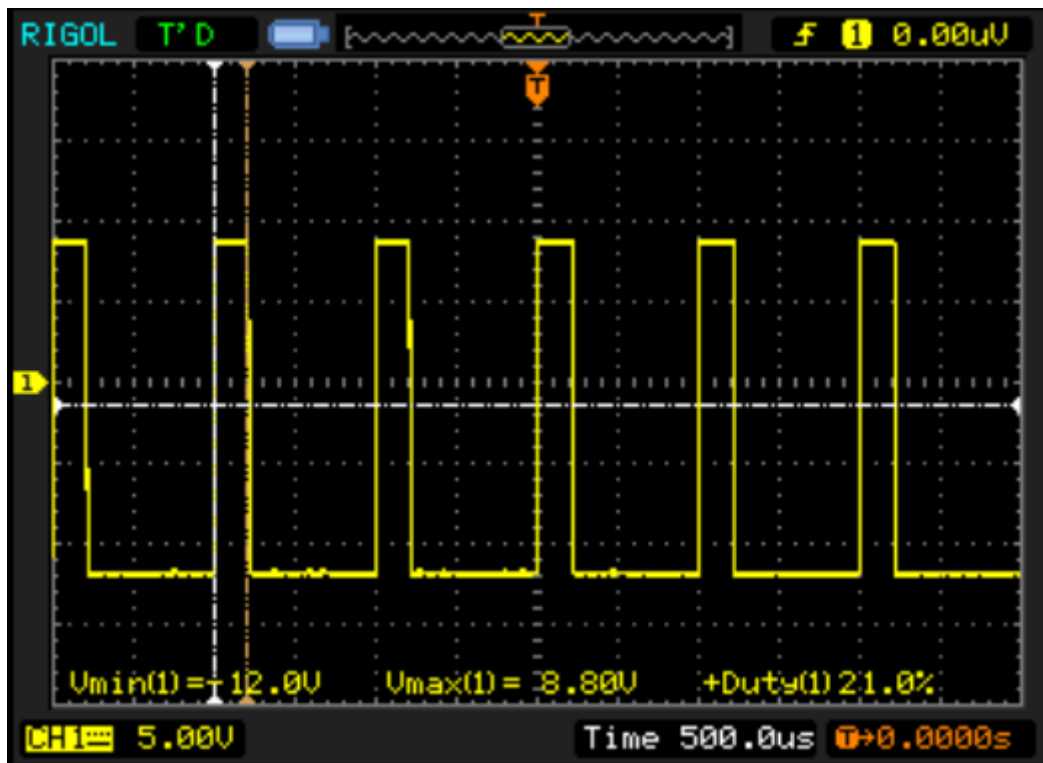
2.3 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - Signál na vodiči CP, přepínač CP v poloze C (PP v poloze 13 A)



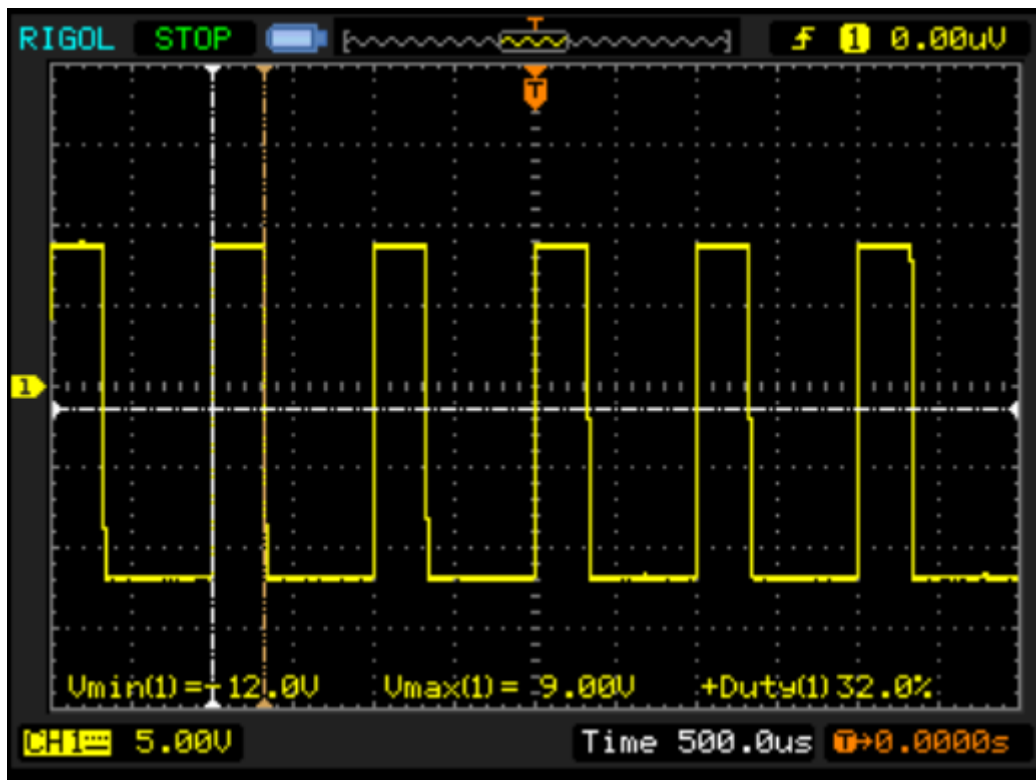
2.4 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - Signál na vodiči CP, přepínač CP v poloze D (PP v poloze 13 A)



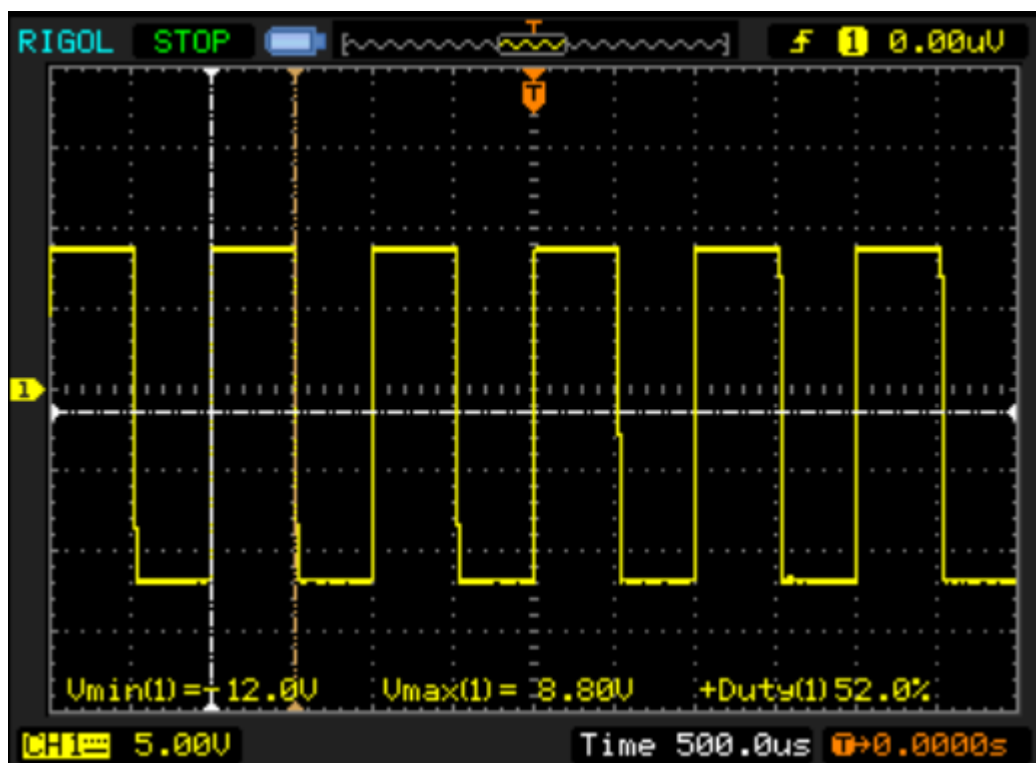
2.5 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - Signál na vodiči CP, změna střídy (PP v poloze N.C)



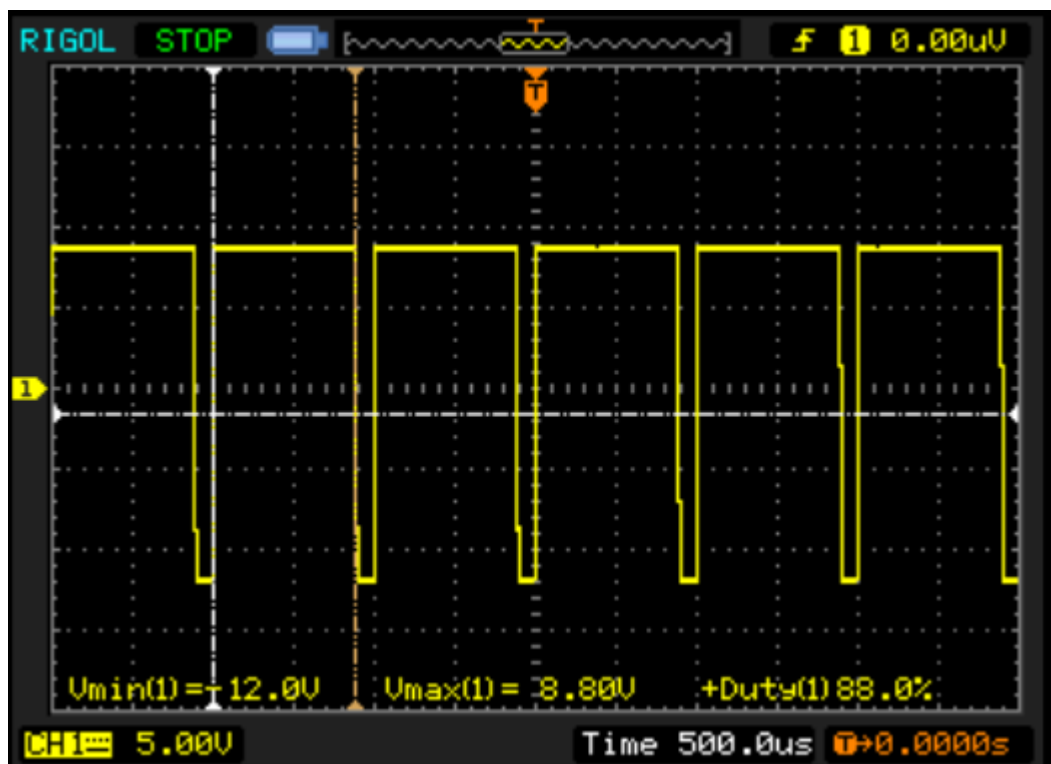
2.6 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - Signál na vodiči CP, změna střídy (PP v poloze 13 A)



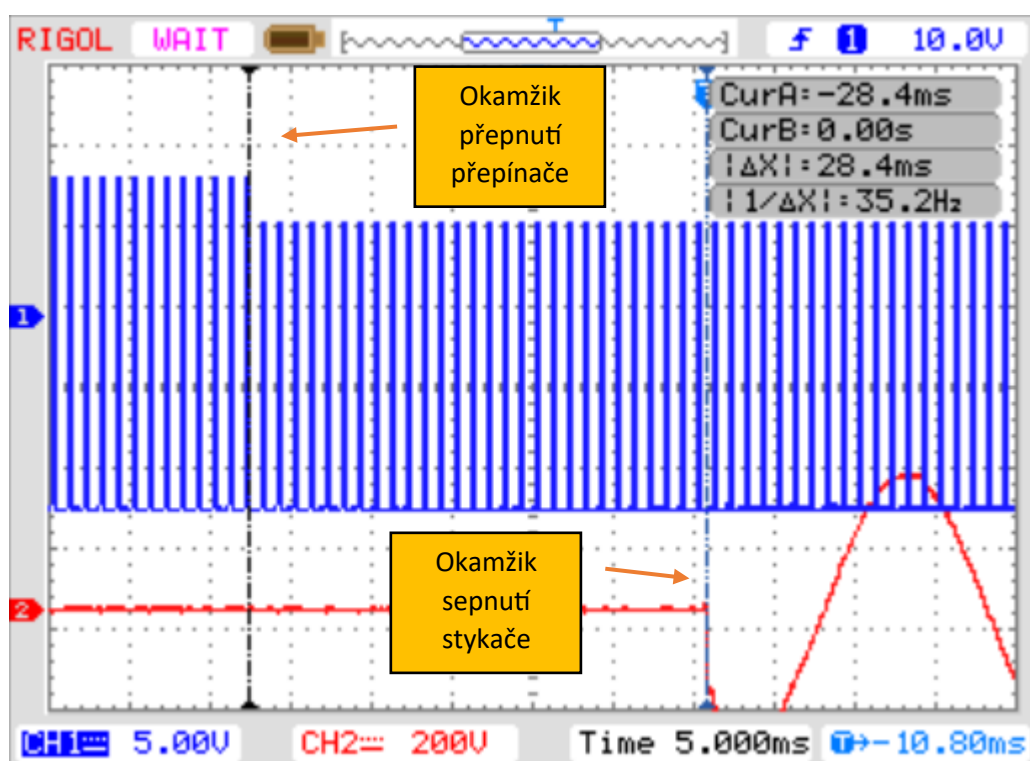
2.7 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - Signál na vodiči CP, změna střídý (PP v poloze 20 A)



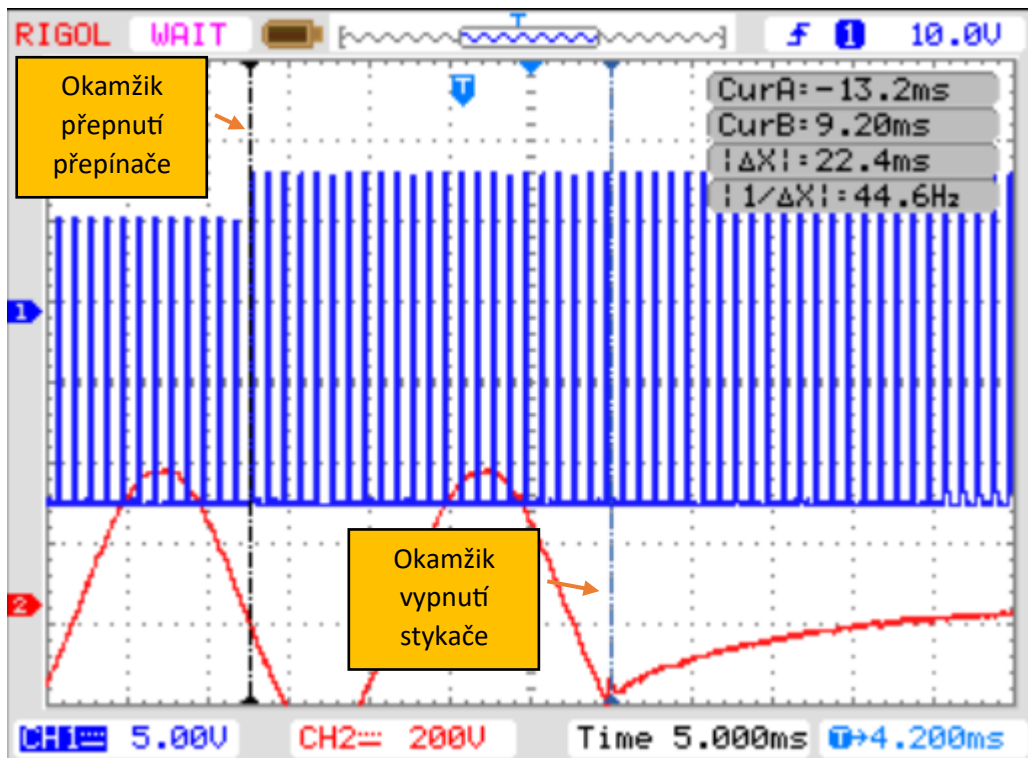
2.8 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - Signál na vodiči CP, změna střídý (PP v poloze 32 A)



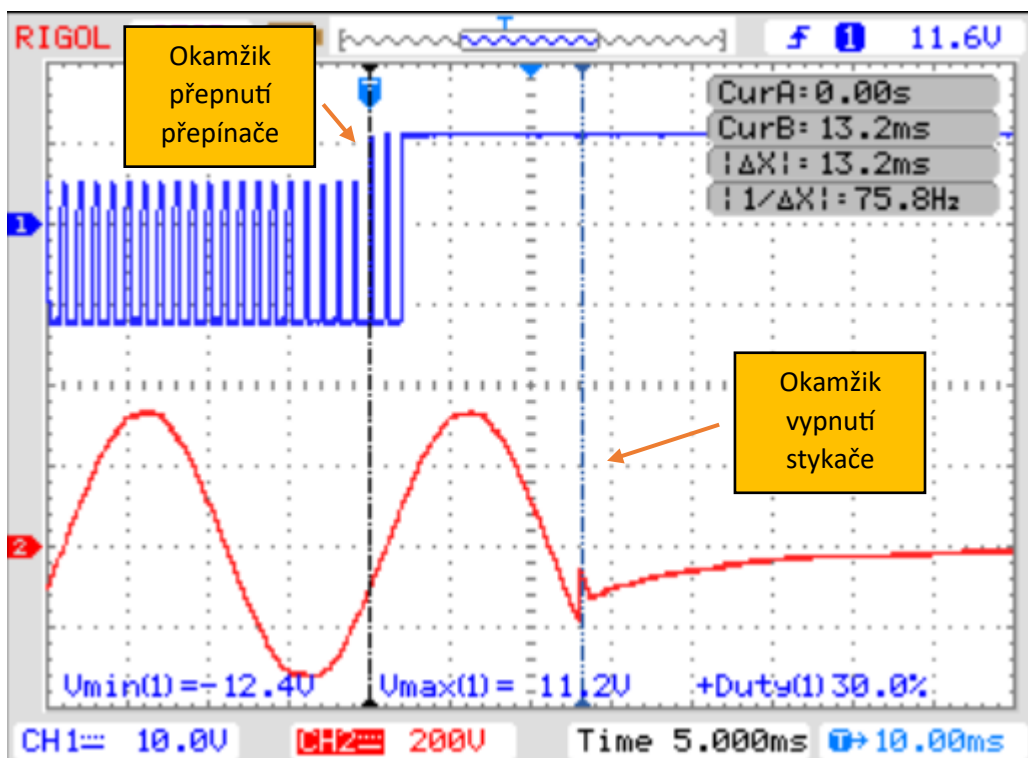
2.9 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - Signál na vodiči CP, změna střídy (PP v poloze 63 A)



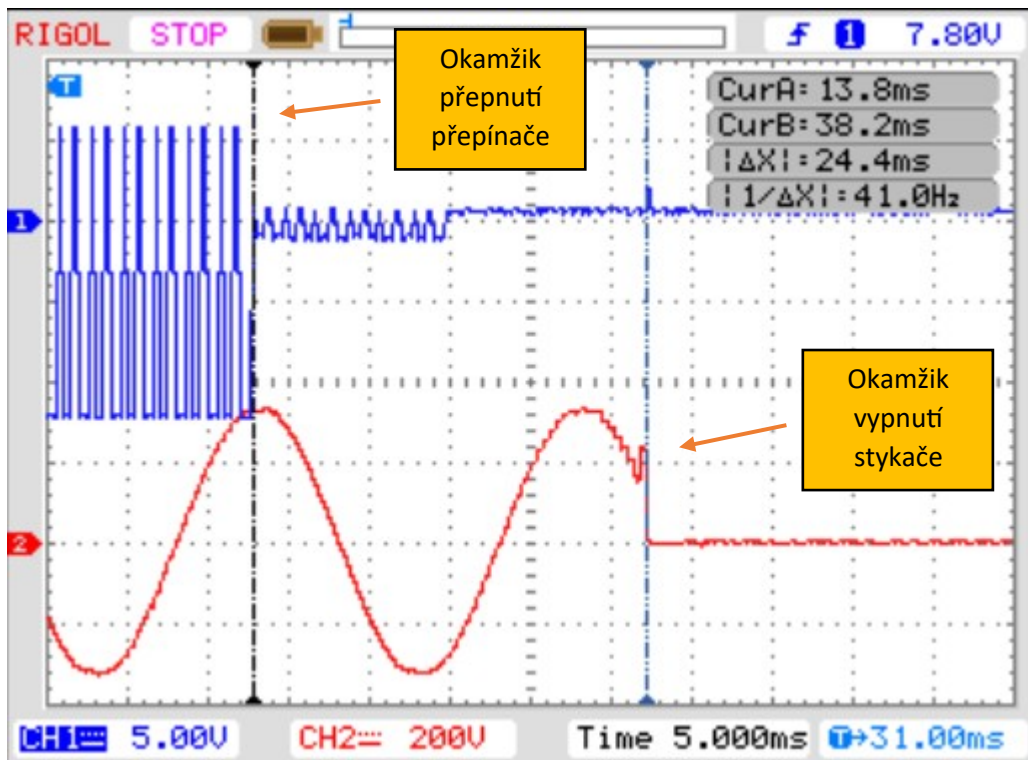
2.10 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - Signál na vodiči CP, sepnutí stykače mezi polohami B2 a C2



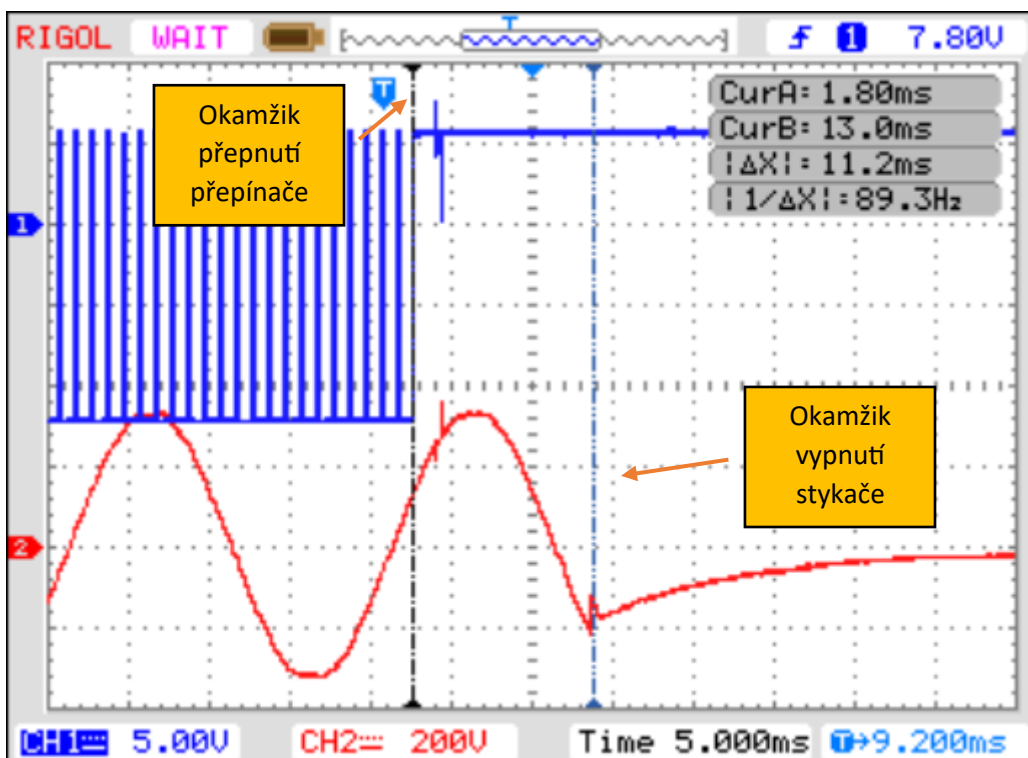
2.11 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - Signál na vodiči CP, rozepnutí stykače mezi polohami C2 a B2



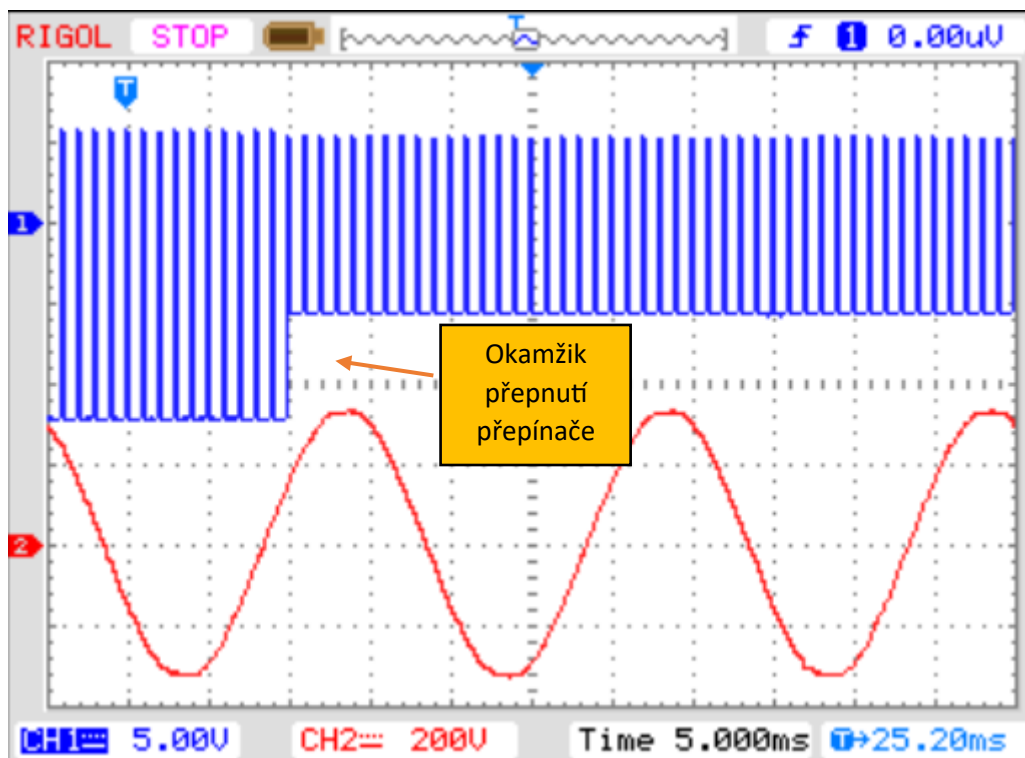
2.12 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - Signál na vodiči CP, vypnutí stykače po vyvolání závady přerušení vodiče PE



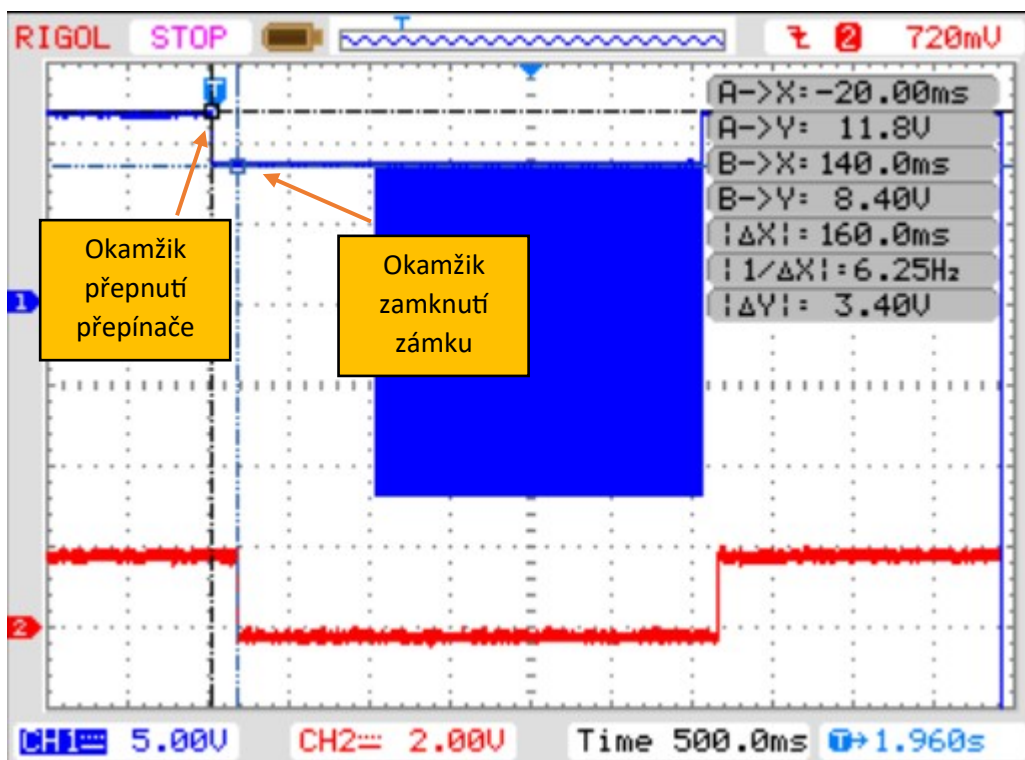
2.13 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - Signál na vodiči CP, vypnutí stykače po vyvolání závady zkrat vodiče CP na vodič PE



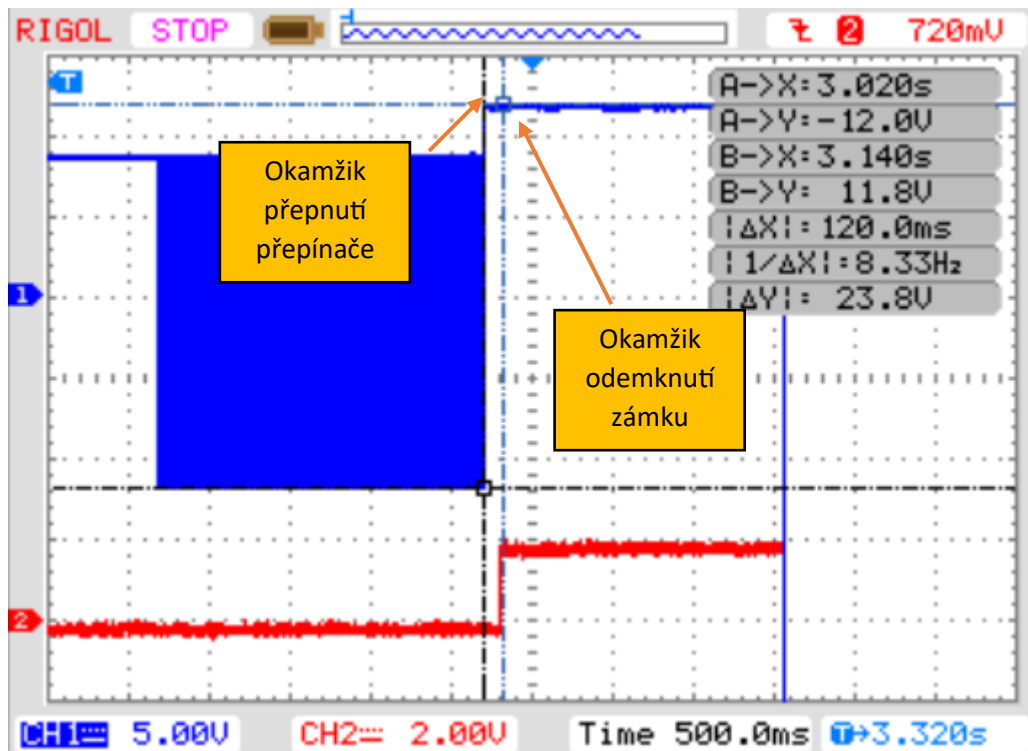
2.14 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - Signál na vodiči CP, vypnutí stykače po vyvolání závady zkrat vodiče PP na vodič PE



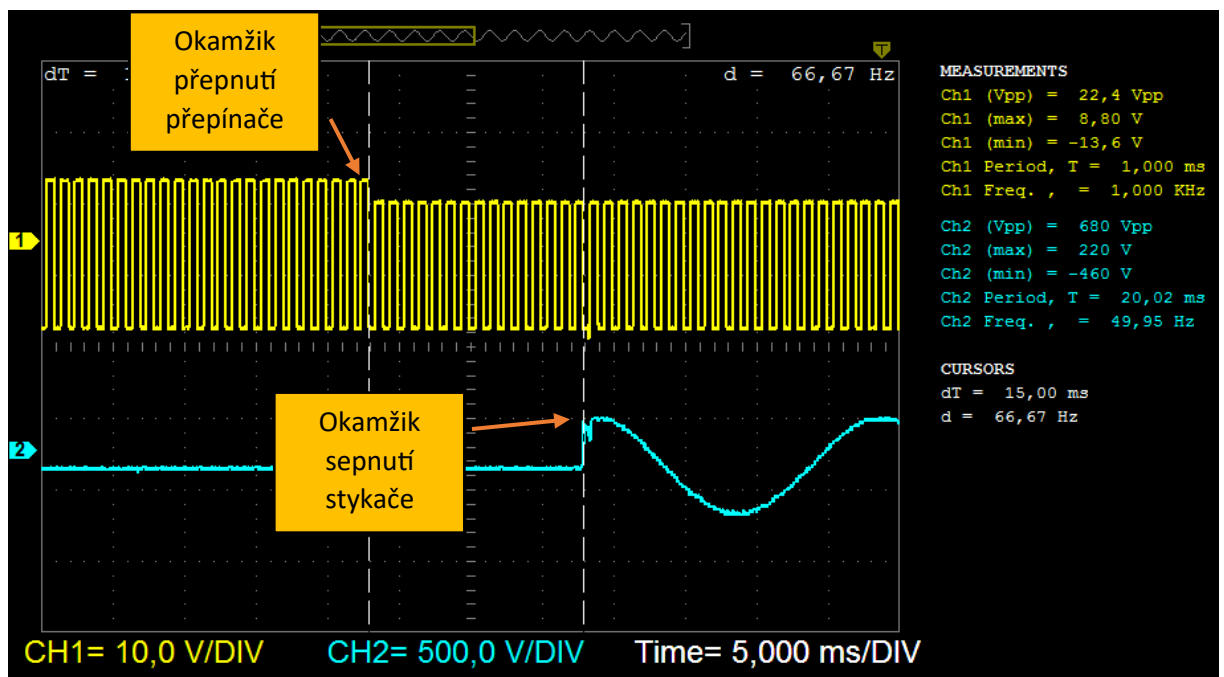
2.15 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - Signál na vodiči CP, stykač nevypl po vyvolání závady zkrat diody



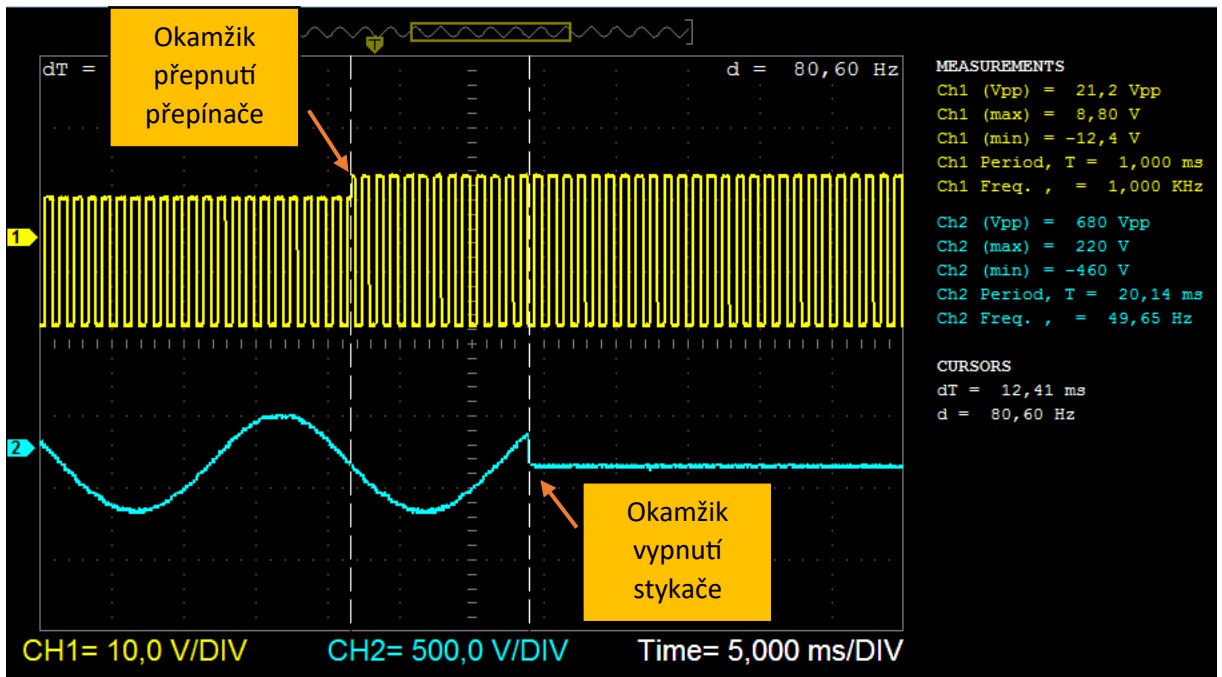
2.16 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - Signál na vodičích vedoucích k motoru zásuvky – stav zamknuto



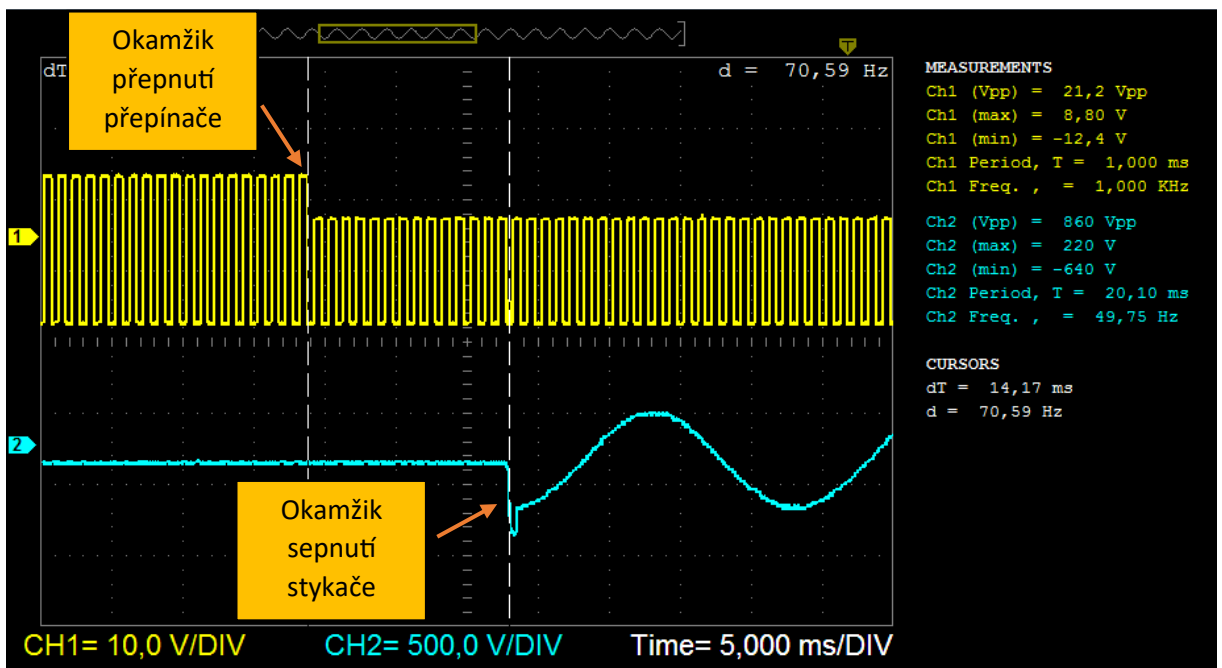
2.17 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - Signál na vodičích vedoucích k motoru zásuvky – stav odemknuto



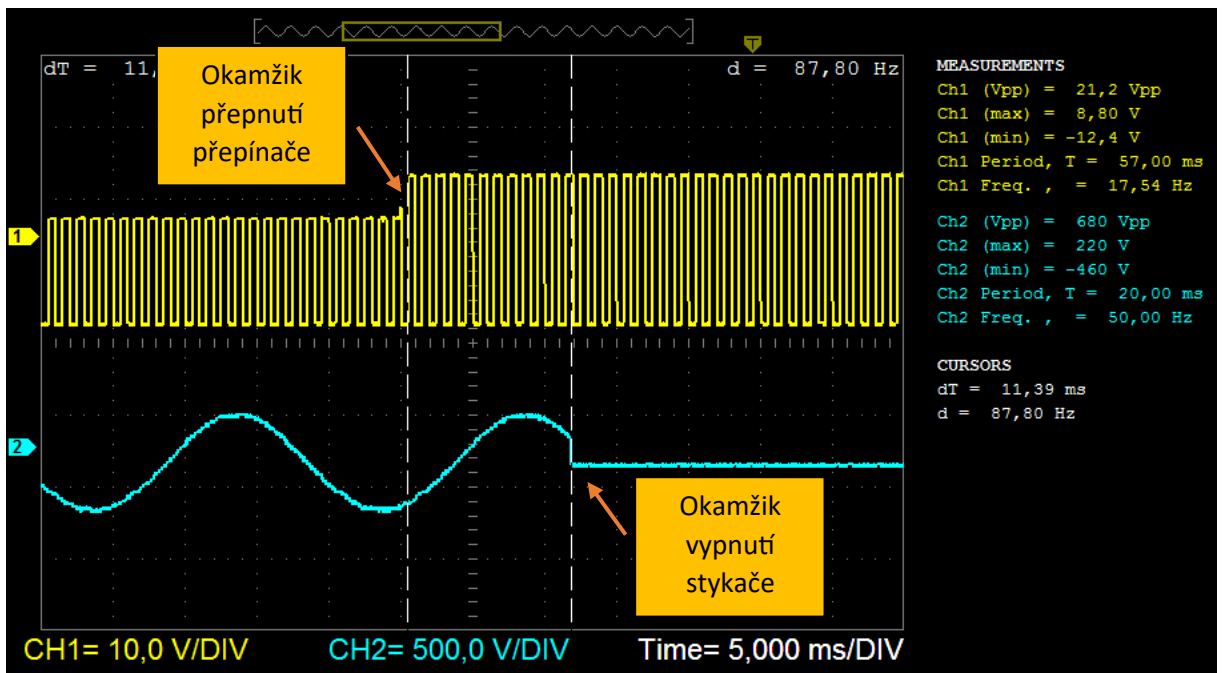
2.18 – Simulátor pro režim nabíjení 3C - Signál na vodiči CP, sepnutí stykače mezi polohami B2 a C2



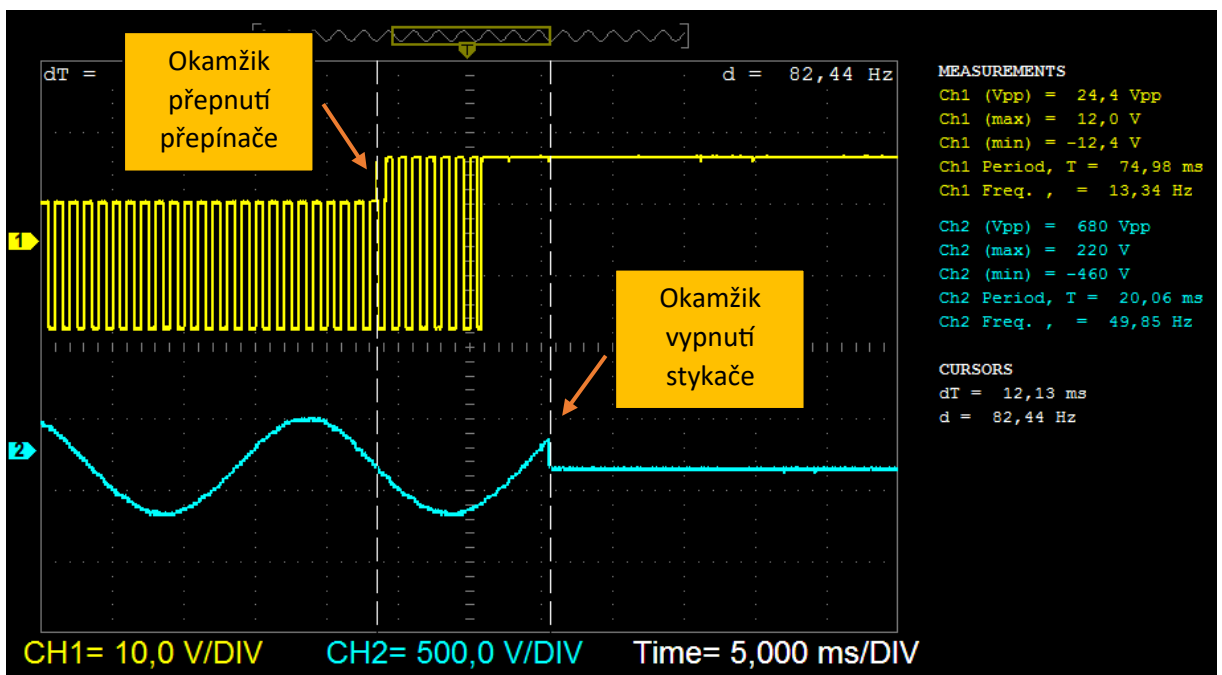
2.19 – Simulátor pro režim nabíjení 3C - Signál na vodiči CP, vypnutí stykače mezi polohami C2 a B2



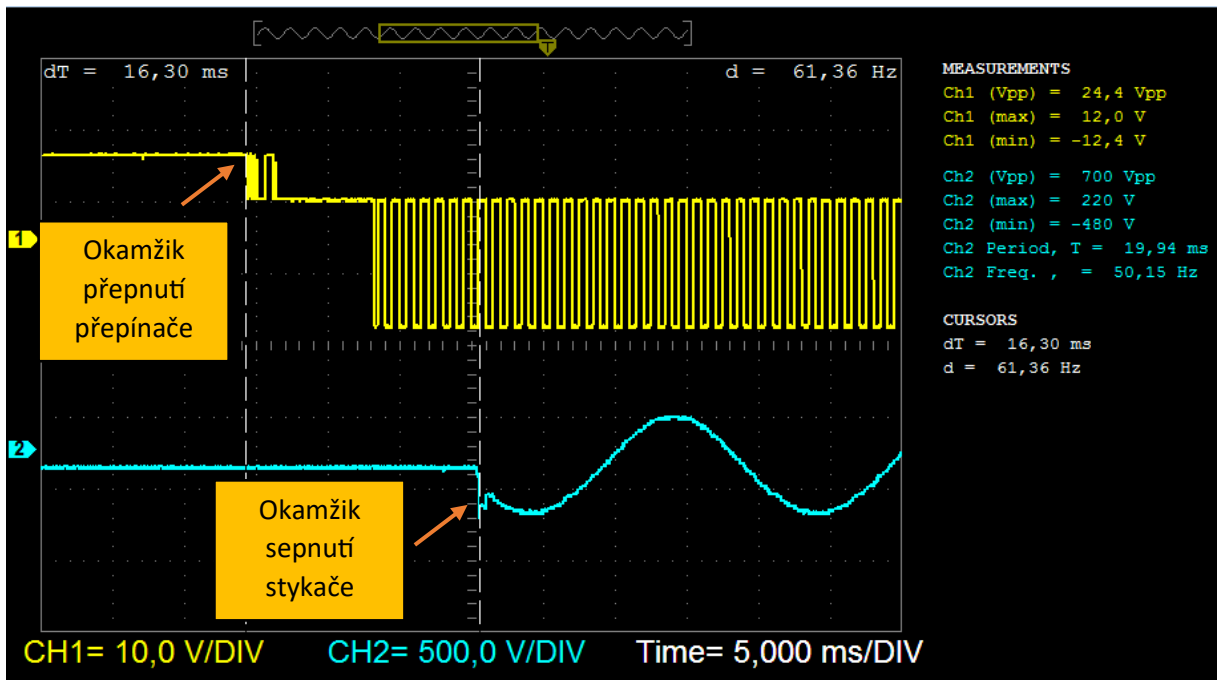
2.20 – Simulátor pro režim nabíjení 3C - Signál na vodiči CP, sepnutí stykače mezi polohami B2 a D2



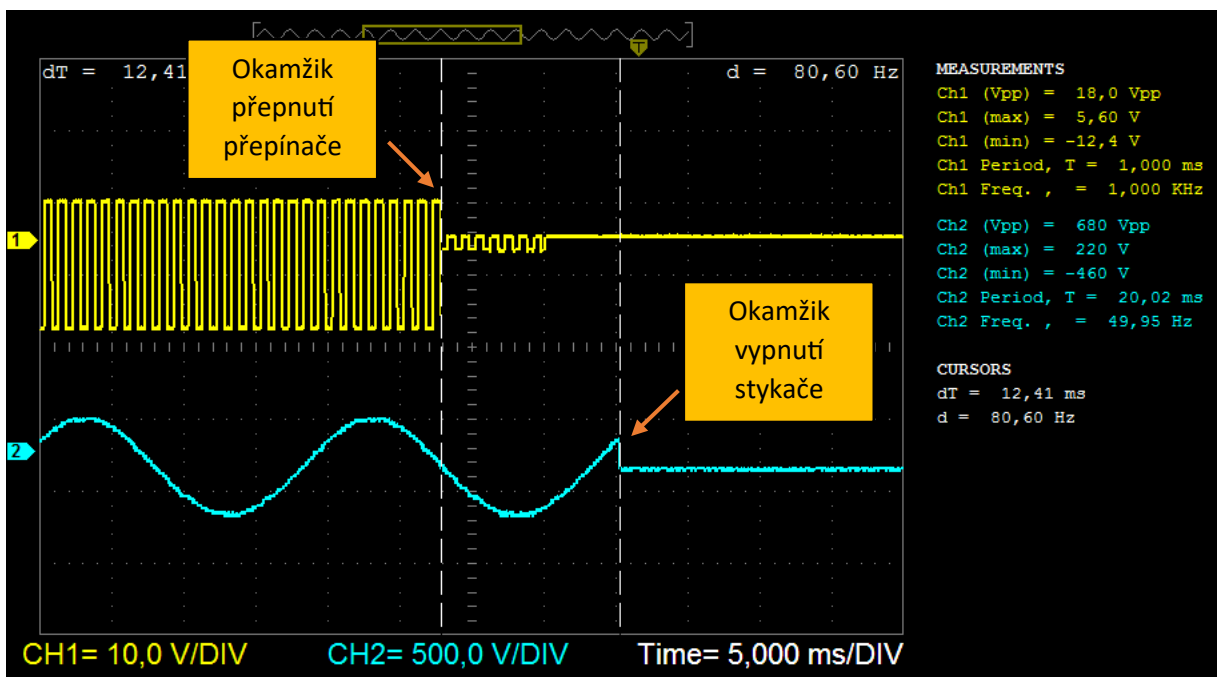
2.21 – Simulátor pro režim nabíjení 3C - Signál na vodiči CP, vypnutí stykače mezi polohami D2 a B2



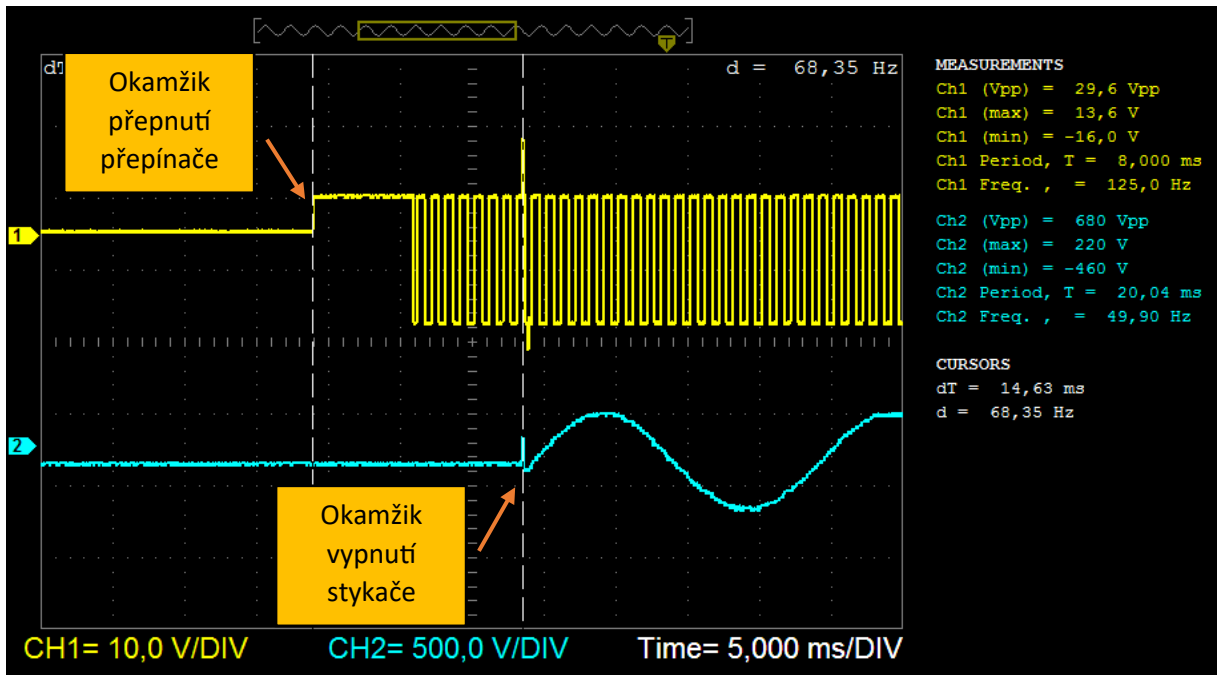
2.22 – Simulátor pro režim nabíjení 3C - Signál na vodiči CP, vypnutí stykače po vyvolání závady přerušeni vodiče PE



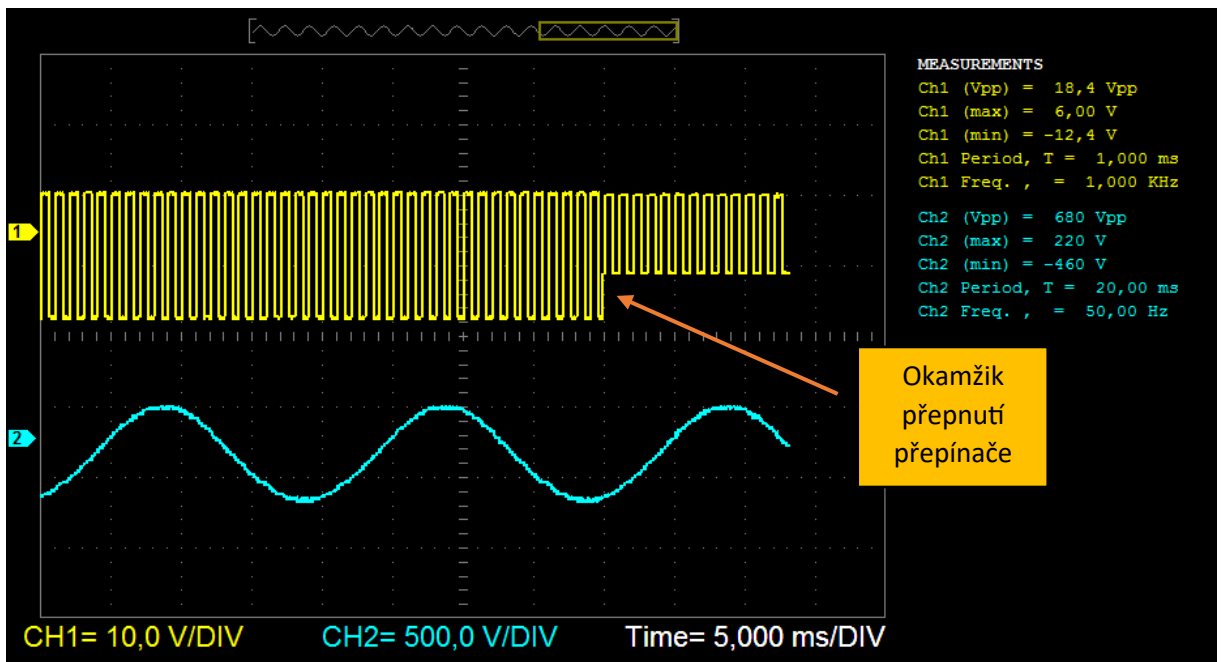
2.23 – Simulátor pro režim nabíjení 3C - Signál na vodiči CP, sepnutí stykače po zrušení závady přerušení vodiče PE



2.24 – Simulátor pro režim nabíjení 3C - Signál na vodiči CP, vypnutí stykače po vyvolání závady zkrat vodiče CP na vodič PE



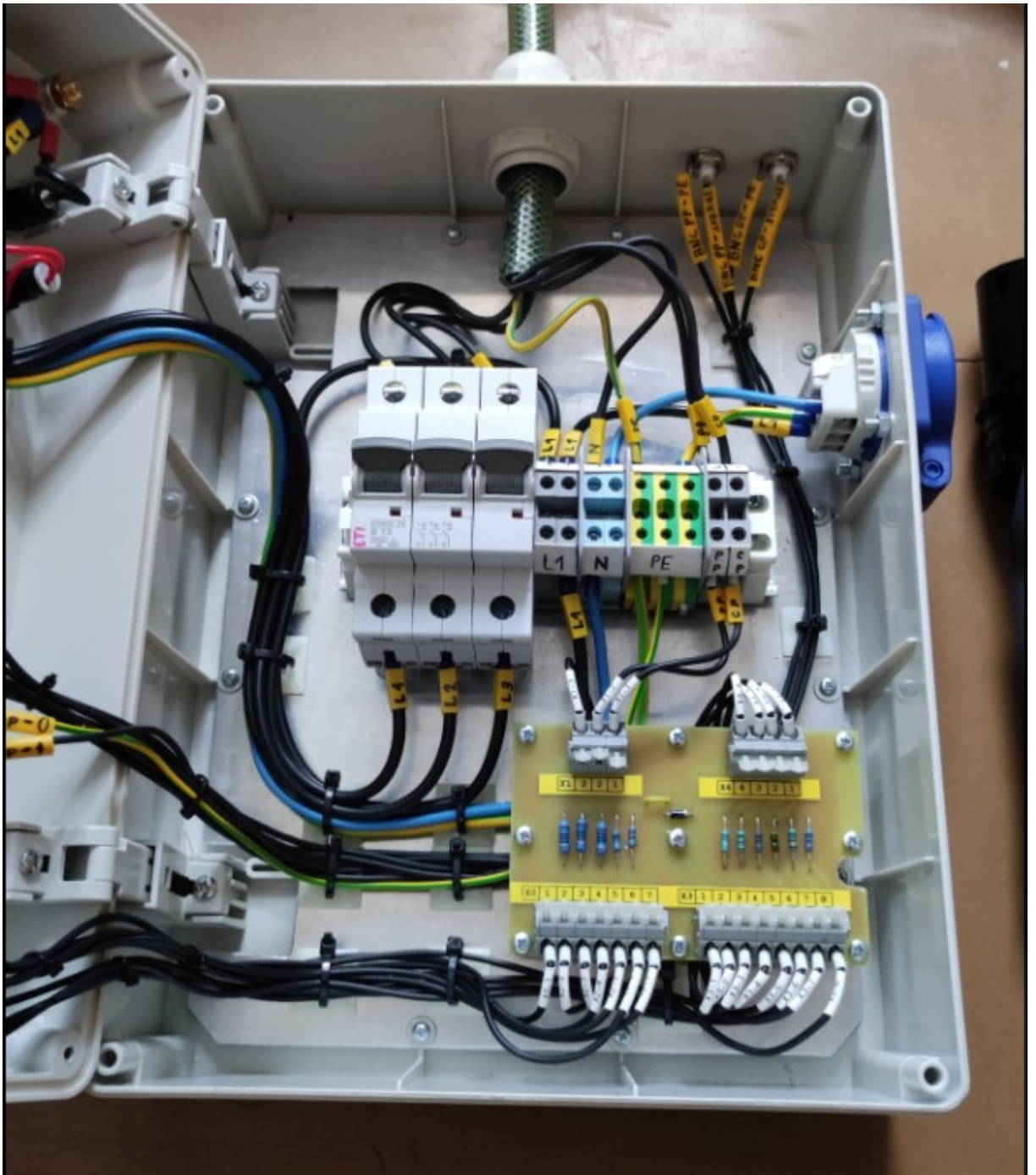
2.25 – Simulátor pro režim nabíjení 3C - Signál na vodiči CP, sepnutí stykače po zrušení závady zkrat vodiče CP na vodič PE



2.26 – Simulátor pro režim nabíjení 3C - Signál na vodiči CP, stykač nevypl po vyvolání závady zkrat diody



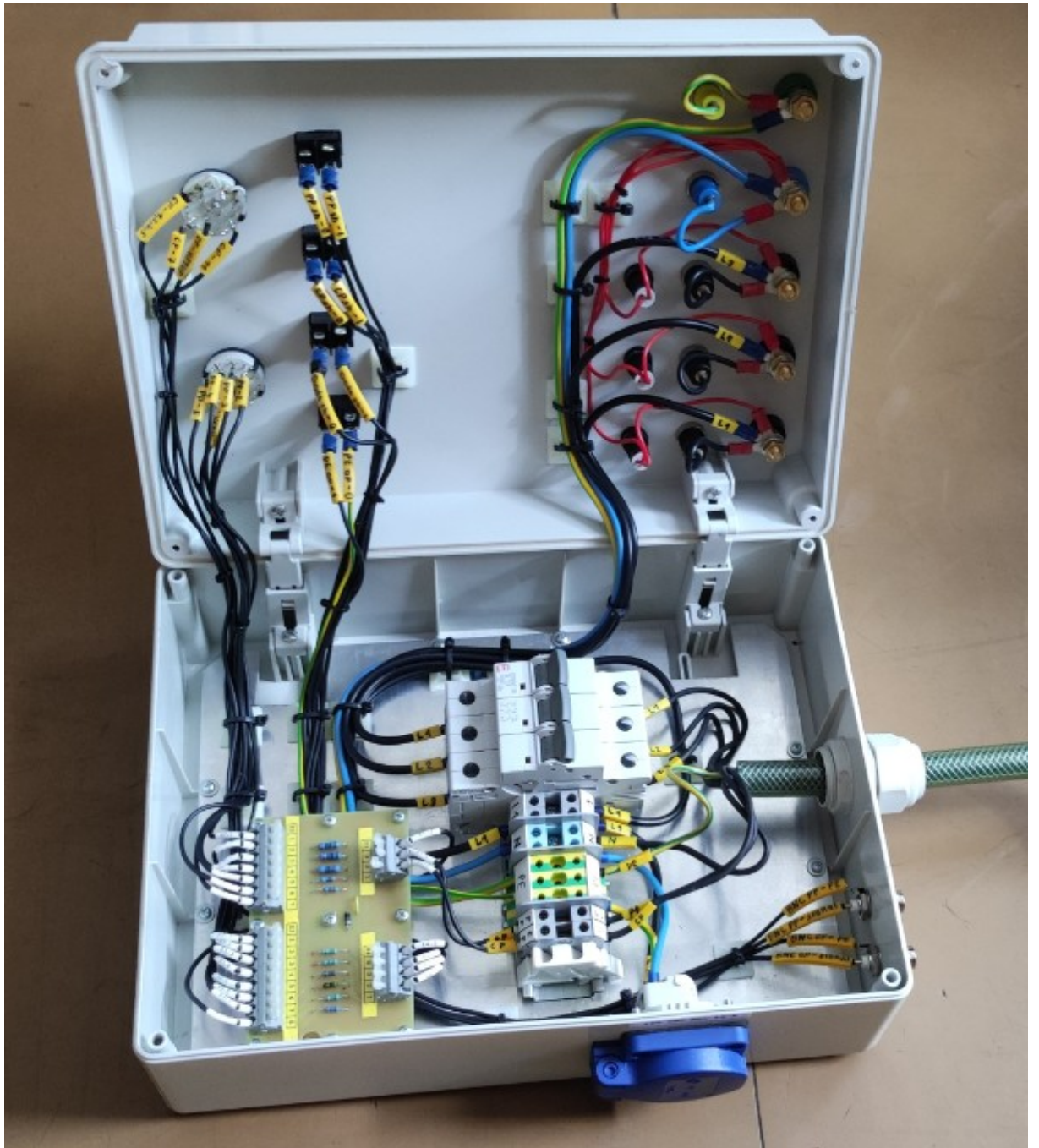
3.1 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - pohled na čelní víko



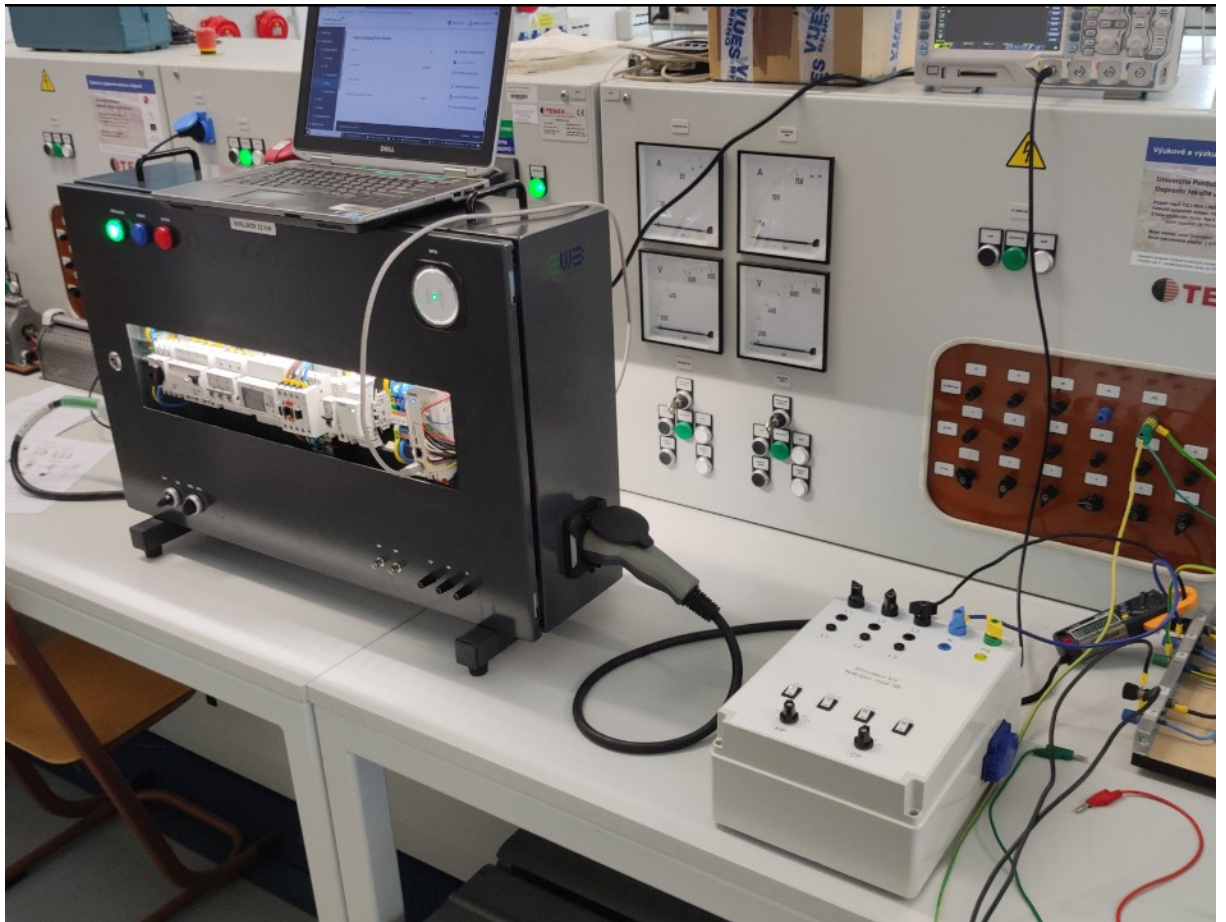
3.2 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - pohled po otevření čelního víka



3.3 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - pohled po otevření na vnitřní stranu víka



3.4 – Simulátor pro režim nabíjení 3B - pohled na celý otevřený simulátor



3.5 – Simulátor pro režim nabíjení 3B – propojení simulátoru a wallboxu



3.6 – Simulátor pro režim nabíjení 3C - pohled na čelní víko



3.7 – Simulátor pro režim nabíjení 3C - pohled po otevření čelního víka



3.8 – Simulátor pro režim nabíjení 3C - pohled po otevření na vnitřní stranu víka



3.9 – Simulátor pro režim nabíjení 3C - pohled na celý otevřený simulátor



3.10 – Simulátor pro režim nabíjení 3C – propojení simulátoru s nabíjecím kabelem (režim nabíjení 2)