



Konstrukční řešení vysokonapěťového zdroje pro testování výkonových polovodičových prvků

Bakalářská práce

Studijní program:

B2612 Elektrotechnika a informatika

Studijní obor:

Elektronické informační a řídicí systémy

Autor práce:

Josef Feltl

Vedoucí práce:

Ing. Martin Černík, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky





Zadání bakalářské práce

Konstrukční řešení vysokonapěťového zdroje pro testování výkonových polovodičových prvků

Jméno a příjmení: **Josef Feltl**
Osobní číslo: M17000033
Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Elektronické informační a řídicí systémy
Zadávací katedra: Ústav mechatroniky a technické informatiky
Akademický rok: **2019/2020**

Zásady pro vypracování:

1. S ohledem na bezpečnostní předpisy navrhnete novou přístrojovou skříň pro zdroj testovacího střídavého napětí.
2. Vytvořte dostatečnou konstrukční dokumentaci včetně propojovacího schématu.
3. Ve spolupráci s vedoucím práce zajistíte realizaci přístrojové skříně a propojení s realizovaným bezpečnostním přípravkem.
4. Provedte zkušební měření.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby dokumentace
30–40 stran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
- [2] Dorf, R.C.: The Engineering Handbook. CRC Press, 2018.
- [3] ČSN 61140.

Vedoucí práce:

Ing. Martin Černík, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání práce:

10. října 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

18. května 2020

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci 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.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

26. května 2020

Josef Feltl

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Martinu Černíkovi, Ph.D., za jeho cenné rady a pomoc s řešením bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Izolace Beran za vstřícné jednání a zajištění části výroby.

Abstrakt

V této bakalářské práci se zabývám návrhem a samotnou konstrukcí přístrojové skříně pro zdroj testovacího střídavého vysokého napětí. Součástí bakalářské práce je konstrukční dokumentace včetně popisu způsobu výroby přístrojové skříně a propojovacího schématu jednotlivých prvků. Práce dále obsahuje seznámení s bezpečnostními prostředky použitými v konstrukci přístrojové skříně a jejich následnou implementaci do VN zdroje a současně do bezpečnostního přípravku. V práci se dále vyskytuje způsob propojení VN zdroje s realizovaným bezpečnostním přípravkem včetně vytvoření nové desky plošného spoje pro magnetické kontakty a bezpečnostní relé. Na závěru jsou uvedeny poznatky z provedeného zkušebního měření na tomto VN zdroji.

Klíčová slova

- Přístrojová skříň
- Hliníková konstrukce
- VN – Vysoké napětí
- VN zdroj testovacího napětí

Abstract

In this bachelor's thesis I am working on design and construction device case for AC high voltage source itself. Part of the bachelor's thesis is the design documentation including the method of making the device case and connection diagram of individual elements. The thesis also includes an introduction to the safety used in the construction of the device case and their subsequent implementation in the HV source and in the safety device as well. There is also a way of connecting the HV source connect to the implemented safety device. Including the creation circuit board for magnetic contacts and safety relay. At the end of the thesis I mention the findings from the performed test measurement on this HV source.

Key words

- Device case
- Aluminum construction
- HV – High voltage
- HV testing voltage source

Obsah

1	Úvod	12
2	Impulsní metoda měření.....	13
3	Základní pravidlo ochrany	14
3.1	Normální podmínky.....	14
3.2	Podmínky jedné poruchy	15
3.2.1	Nezávislé ochranné prostředky.....	15
3.2.2	Prostředky zvýšené ochrany	16
4	Základní ochrana	17
4.1	Základní izolace	17
4.2	Ochranný kryt.....	18
4.3	Omezení ustáleného dotykového proudu	19
4.3.1	Montáž ochranné impedance	20
5	Ochrana při poruše	21
5.1	Ochranné pospojování	21
5.1.1	Hlavní uzemňovací svorka	22
5.2	Automatické odpojení od zdroje.....	23
6	Návrh konstrukce	24
6.1	Čelní panel zdroje.....	25
6.2	Zadní panel zdroje.....	26
7	Autotransformátor	28
7.1	Montáž autotransformátoru.....	29
8	Jisticí prostředek	30
8.1	Tepelné vypínání	30
8.2	Elektromagnetické vypínání.....	31
8.3	Volba vhodného jisticího prostředku	31
8.4	Montáž jisticího prostředku	32
9	Rozmístění prvků zdroje.....	33
10	Bezpečnostní přípravek.....	35
10.1	Magnetické koncové spínače	36
10.2	Propojení bezpečnostního přípravku se zdrojem	38
11	Návrh DPS pro bezpečnostní relé.....	39
11.1	Schéma zapojení	39
11.2	Návrh DPS.....	40

12	Propojení jednotlivých prvků zdroje	41
	Závěr.....	42
	Seznam použité literatury	43
	Přílohy	47
A	Nárys	47
B	Pohled zezadu	48
C	Půdorys.....	49
D	Plechy	50
E	Propojovací schéma	51

Seznam obrázků

Obrázek 1: Principiální schéma funkce zdroje	13
Obrázek 2: Silikonový vodič	17
Obrázek 3: Ochranný kryt VN zdroje.....	18
Obrázek 4: Ochranná impedance.....	20
Obrázek 5: Vějířová podložka	22
Obrázek 6: SV99	23
Obrázek 7: Nýtovací matice	25
Obrázek 8: Čelní panel zdroje	26
Obrázek 9: Bezpečnostní panelová zdířka	26
Obrázek 10: Zadní panel zdroje	27
Obrázek 11 : Značka autotransformátoru	28
Obrázek 12: Rozměry autotransformátoru	29
Obrázek 13: Průřez elektrickým jističem	30
Obrázek 14: Vypínací charakteristiky dle typu jističe	32
Obrázek 15: Rozmístění prvků zdroje	34
Obrázek 16: Průřez koaxiálním kabelem	35
Obrázek 17: Bezpečnostní přípravek	36
Obrázek 18: Magnetický kontakt P1-1A15	37
Obrázek 19:Zapojení bezpečnostního přípravku	38
Obrázek 20: Schéma zapojení	40
Obrázek 21: Návrh DPS	40
Obrázek 22: Zapojení zdroje	41

Seznam symbolů, termínů a zkratek

BNC	Bayonet Neill Colceman (vysokofrekvenční konektor pro koaxiální kabely)
ČSN EN	Česká technická norma identická s normou EN
DIN	Deutsche Industrie Norm (německá průmyslová norma)
DPS	Deska plošných spojů
LED	Light Emitting Diode (Elektroluminiscenční dioda)
NC	Normally close
NO	Normally open
PVC	PolyVinylChlorid (zkratka pro linoleum)
VN	Vysoké napětí

1 Úvod

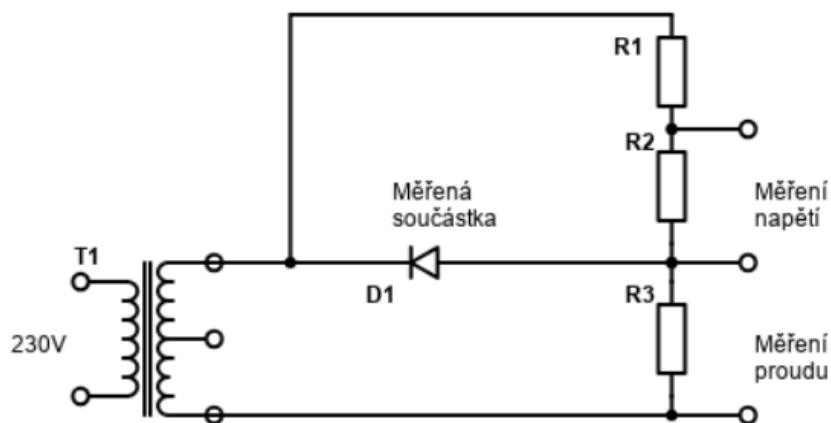
Cílem této bakalářské práce je realizace nové přístrojové skříně pro dosavadní zdroj testovacího vysokého napětí. Tento zdroj VN signálu byl navržen pro měření impulsní metodou, která je určena na zobrazování závěrných voltampérových charakteristik výkonových polovodičových prvků. Přístrojová skříň by měla na čelním panelu obsahovat všechny ovládací prvky určené k měření včetně vývodů k připojení osciloskopu, který bude sloužit k zobrazení a záznamu dat z měření. Naopak zadní panel zdroje by měl obsahovat všechny vodiče, které budou v průběhu měření pod nebezpečným napětím.

Pomocí vodičů dimenzovaných na VN by mělo být přivedeno napětí ze zdroje do bezpečnostního přípravku. Tento bezpečnostní přípravek byl realizován již dříve v rámci mého ročníkového projektu. V přípravku bude v průběhu měření vložena termostatická plotna, na které bude umístěn měřený polovodičový prvek a s jejíž pomocí se zajistí měření součástky při nastavené hodnotě teploty. Zdroj by měl obsahovat autotransformátor, který bude zajišťovat napájení VN transformátoru. Tímto postupem se zajistí regulace výstupního napětí. Z důvodu zvýšené hmotnosti autotransformátoru a z požadavku na jeho umístění musí být konstrukce přístrojové skříně vyztužena.

Konstrukce přístrojové skříně by měla být navržena v závislosti na bezpečnostních předpisech pro zajištění dostatečného snížení bezpečnostních rizik pro obsluhu pracující na měření. Konstrukce by dále měla odolat jak všem vnitřním vlivům vznikajícím při provozu zdroje, tak také vlivům okolního laboratorního prostředí. V přístrojové skříně by se dále měly vyskytovat jisticí prostředky pro samotnou ochranu elektrického zařízení.

2 Impulsní metoda měření

Základem zdroje VN signálu je impulsní metoda měření, jež spočívá v přivádění v čase proměnných napěťových impulsů na měřenou polovodičovou součástku (tyristory, diody, ...). Získaná voltampérová charakteristika se následně zobrazuje na obrazovce osciloskopu. V případě řádně ocejchované obrazovky osciloskopu je možnost z této obrazovky také odečítat hodnoty v průběhu měření. Hlavní výhodou této metody měření je menší výkonové zatížení měřené součástky oproti metodě stejnosměrné. Komplikací u této metody je potřeba zajištění náročnějšího vybavení pracoviště [1].



Obrázek 1: Principiální schéma funkce zdroje

Napětí na měřené polovodičové součástce je přivedeno na osciloskop přes napěťový dělič s dělicím poměrem 1000:1. Na druhou osu osciloskopu je pak následně přivedeno napětí, které se vyskytuje na měřicím rezistoru (bočnicku). Bočník je zapojen v sérii s měřenou součástkou a napětí, které je na něm změřeno, je převedeno na proud [2].

3 Základní pravidlo ochrany

Zdroj vysokonapěťového signálu, pro který má být konstrukce navržena, spadá svým zařazením do skupiny elektrických zařízení. Z toho vyplývá, že musí bezprostředně splňovat základní pravidlo ochrany před úrazem elektrickým proudem, které dle normy říká, že nebezpečné živé části nesmí být přístupné a přístupné vodivé části nesmí být nebezpečné živé, a to ani za normálních podmínek (viz kapitola 3.1), ani za podmínek jedné poruchy (viz kapitola 3.2) [3].

U vysokonapěťových zařízení, jakým je i tento zdroj, se navíc považuje samotné vniknutí do prostoru s výskytem VN za dotyk nebezpečných živých částí. Z tohoto důvodu musí být přísněji nahlíženo na požadavky krytu zdroje [3].

3.1 Normální podmínky

Za normální podmínky provozu jsou považovány takové podmínky, pro které byla činnost elektrického zařízení navržena a při kterých má určeno běžně pracovat [4]. Mezi hlavní aspekty posouzení patří dle normy ČSN EN 60721 zvláště teplota okolí, klimatické podmínky, přítomnost vody a mechanické namáhání [5]. Z těchto hledisek je konstrukce zdroje navržena pro laboratorní prostředí, ve kterém je běžná teplota, prašné částice jsou nevodivé a nehořlavé čili prostředí, které svou strukturou výrazně snižuje výskyt úrazu elektrickým proudem. Aby se zajistilo splnění základního pravidla ochrany před úrazem elektrickým proudem za normálních podmínek, je nezbytně nutné zahrnout do konstrukce prostředky základní ochrany (viz kapitola 4) [3].

3.2 Podmínky jedné poruchy

V případě narušení základní ochrany (např. proražení základní izolace, mechanické poškození bezpečnostního krytu, ...) je potřeba zajištění ochrany při poruše [6]. Za případy jedné poruchy jsou chápány situace, kdy se přístupná vodivá část (např. kryt zdroje), kterou za normálních podmínek neprochází elektrický proud, stane nebezpečnou živou částí. Z hlediska základního pravidla ochrany před úrazem elektrickým proudem je nutné zajistit při podmínkách jedné poruchy ochranu při poruše. Dle normy ČSN EN 61140 ed. 3 je možnost tuto ochranu zajistit buď dalším ochranným opatřením, které však není závislé na základní ochraně, nebo prostředkem zvýšené ochrany [3].

3.2.1 Nezávislé ochranné prostředky

Tyto ochranné prostředky jsou nezávislé na základní ochraně. Dále se více nezávislých prostředků nesmí navzájem ovlivňovat takovým způsobem, že by se možná porucha jednoho z nich zapříčinila porušením dalšího prostředku. Situace, při které by současně selhalo více nezávislých ochranných prostředků je nepravděpodobná a v návrhu konstrukce, se nebere v úvahu. V případě poruchy se vždy bere na vědomí, že jeden z ochranných prostředků zůstává účinným. Tento prostředek ochrany je u VN zdroje použit ochranným pospojováním, tedy v případě, že se při poruše základní izolace dostane napětí na kryt VN zdroje, který je neživou částí. Ochrana je zajištěna spojením všech neživých částí s ochranným vodičem, který je spojen se zemí v rámci připojení na uzemněný uzel zdroje. (viz kapitola 5.1) [3].

3.2.2 Prostředky zvýšené ochrany

Prostředky zvýšené ochrany jsou takové prostředky, které jsou schopny zajistit základní ochranu a zároveň také ochranu při poruše. Parametry těchto prostředků musí zajistit stejnou účinnost ochrany jako dvěma nezávislými ochrannými prostředky. Mezi tyto prostředky patří například zesílená izolace, která je schopná odolat elektrickému a mechanickému namáhání se stejnou spolehlivostí ochrany jako dvojitá izolace (základní a přídavná izolace) [3].

4 Základní ochrana

VN zdroj včetně jeho celé konstrukce musí být vytvořen tak, aby se v první řadě zajistila základní ochrana, která spočívá v zabránění dotyku živých částí zařízení, aby VN zdroj nemohl ohrozit pracovníky, kteří pracují na měření. Elektrické zařízení musí obsahovat alespoň jeden nebo více prostředků základní ochrany. V následujících kapitolách budou popsány základní ochrany použité u VN zdroje [3].

4.1 Základní izolace

Hlavním prostředkem základní ochrany je právě základní izolace, která je použita u všech zvolených vodičů u VN zdroje. U základní izolace je nejdůležitější, aby dosahovala velké hodnoty izolačního odporu [7]. Vodiče, na kterých může být v průběhu měření VN, jsou na toto napětí také dimenzovány zvýšenou izolací. Základní izolace je pro tyto účely vyztužena na bázi silikonu, což zajišťuje vysoké hodnoty izolačního odporu vodiče a dobrou mechanickou ohebnost pro vedení vodičů ve VN zdroji. Použité vodiče mají měděné a postříbřené jádro a jsou dimenzovány na pracovní teplotu pohybující se v rozmezí od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ [8].



Obrázek 2: Silikonový vodič [9]

U některých prvků zdroje je základní izolace tvořena vzduchem (např. u DPS, na které může být VN). I z tohoto důvodu musí být zabráněno dotyku živých částí nebo vniknutí do nebezpečného prostoru, proto je použita ochrana krytem (viz kapitola 4.2) [7].

4.2 Ochranný kryt

Hlavním účelem použití ochrany krytem je zajištění, aby nebyl v průběhu měření možný dotyk živých částí zdroje a také aby do něj nevnikly cizí předměty. Dle normy ČSN EN 60529 je u vysokonapěťových zařízení nutno zajistit stupeň ochrany před úrazem elektrickým proudem alespoň IPXXB nebo IP2X čili ochrana před vniknutím cizího pevného tělesa o průměru 12,5 mm a větší (např. prst). U tohoto VN zdroje je použita ochrana IP4X, která zabraňuje vniknutí cizích pevných těles o průměru 1 mm a větší (např. drát). Vrchní vodorovná plocha tvořená děrovaným plechem zajišťuje ochranu stupně IP3X, tedy před vniknutím těles, která jsou o průměru 2,5 mm a větší. Vzhledem k otvorům plechu o průměru 2 mm se zabezpečí ochrana před vniknutím nástroje [10].

Ochranný kryt musí také dále splňovat dostatečnou mechanickou odolnost, stabilitu a trvanlivost. Tyto odpovídající vlastnosti musí být zachovány jednak vlivem okolního prostředí, jednak i vlivy, které vznikají při provozu VN zdroje. Vzhledem k použitému hliníkovému plechu o dostatečné tloušťce by měly být tyto vlastnosti zajištěny. Vniknutí do ochranného krytu je možné pouze za použití nástroje [3].



Obrázek 3: Ochranný kryt VN zdroje

4.3 Omezení ustáleného dotykového proudu

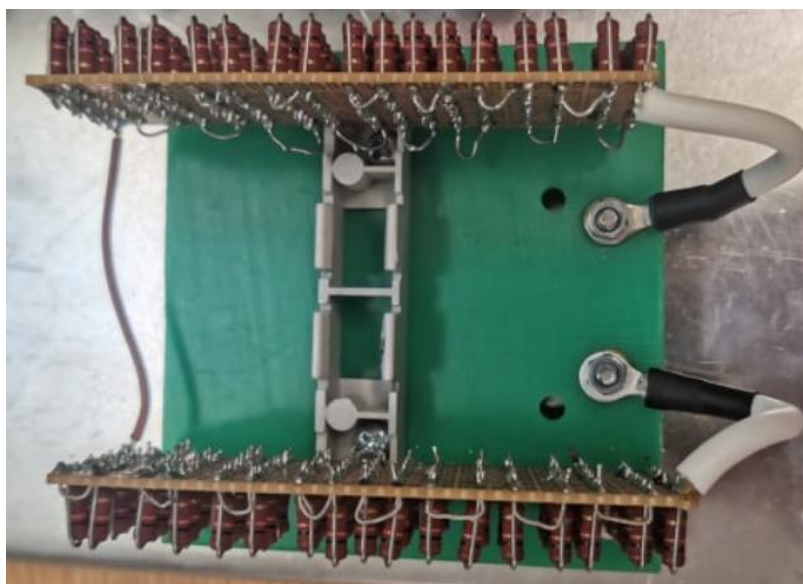
Dalším prostředkem základní ochrany VN zdroje je omezení ustáleného dotykového proudu na výstupu ze zdroje. Cílem této ochrany je zajištění, aby proud protékající lidským tělem v případě dotyku elektrického zařízení byl omezen na hodnotu, která nemůže být nijak nebezpečná nebo citelná. Dle normy ČSN EN 61140 ed. 3 je hodnota pro dotkový proud dána hodnotou, která nesmí překročit mez bolesti lidského těla, tudíž 3,5 mA pro efektivní střídavý proud. U tohoto zdroje je k omezení dotykového proudu použita ochranná impedance [3].

Aby se zajistila hodnota bezpečného dotykového proudu 3,5 mA na výstupech ze zdroje, je nutné použít dle výpočtu minimální hodnotu rezistoru o odporu 1,2 M Ω . Na tento rezistor jsou však kladeny mnohem větší nároky na přípustné zatížení a maximální přípustné napětí. Pro tyto účely VN zdroje je nutné zajistit rezistor, který má přípustnou hodnotu zatížení minimálně 12 W. Rezistor dále musí být na VN, k těmto účelům se používá dvojnásobek provozního napětí, tím se v tomto případě rozumí špičkové napětí čili 5 091 V. Nejvyšší dovolené napětí rezistoru, tzn. při kterém nedojde k trvalému poškození rezistoru, musí být minimálně 10,182 kV [11]. Nároky na ochranný rezistor jsou vysoké a kvůli těmto nárokům nemůže být použit běžný rezistor. Vhodným řešením je sériové spojení řady rezistorů, výhodou tohoto řešení je rozdělení VN mezi všechny rezistory řady. K dosažení výše zmíněných parametrů bylo použito sériové spojení 136 rezistorů ve dvou blocích připájených na desky. Každý jednotlivý rezistor dosahuje jmenovité hodnoty odporu 10 k Ω . Při sériovém spojení obou bloků se všemi rezistory získáme výslednou hodnotu odporu 1,36 M Ω . Tímto řešením se zajistí jak potřebné nejvyšší dovolené napětí, tak také přípustné zatížení.

4.3.1 Montáž ochranné impedance

Jak bylo již zmíněno v předchozí kapitole, ochranná impedance se skládá ze dvou bloků (desek), na kterých jsou připájené jednotlivé rezistory. Na obou blocích odporů se bude v průběhu měření vyskytovat VN. Z tohoto hlediska je opět zásadní dodržení patřičné vzdálenosti mezi jednotlivými bloky a zároveň i mezi ostatními prvky sousedícími s některým z nich (viz kapitola 9). Oba bloky odporů jsou vzájemně spojeny sériově a krajní body jsou vyvedeny pomocí vodiče dimenzovaného na VN. Krajní bod každého bloku je následně připojen na uzel pomocí izolovaného zakončovacího očka, z něhož už následuje propojení s ostatními prvky dle propojovacího schématu.

Aby nebylo možné přeskočení napětí na konstrukci přístrojové skříně, jsou oba bloky připevněny pomocí plastové přípojky na desce z novoduru o rozměrech 10×10 cm. Použití novoduru (PVC) je výhodné kvůli jeho dobrým mechanickým vlastnostem, zároveň s dobrými elektroizolačními vlastnostmi. Pracovní použitelnost novoduru je pro rozmezí teplot $5\text{--}40$ °C, ale je možné i nárazové ohřátí na 60 °C. Tato novodurová deska je pak následně upevněna na spodním plechu za pomoci distančních sloupků a zapuštěných šroubů [12].



Obrázek 4: Ochranná impedance

5 Ochrana při poruše

V případě poruchy elektrického zařízení, kdy jakýmkoli způsobem selhaly prostředky základní ochrany, je možnost výskytu nebezpečného napětí na neživých částech přístrojové skříně zdroje. Z tohoto důvodu jsou použity prostředky ochrany při poruše. Tyto prostředky jsou nezávislé na základní ochraně, ale ani ji nedoplňují. V následujících kapitolách jsou popsány prostředky ochrany při poruše použity u VN zdroje [3].

5.1 Ochranné pospojování

Ochranné pospojování spočívá ve vzájemném propojení neživých částí, aby se zabránilo nebezpečným dotykovým napětím. Slouží tedy k vyrovnání potenciálu mezi částmi, které mohou být současně přístupné dotyku [13]. Dle normy ČSN EN 61140 ed. 3 je nezbytně nutné, aby soustava ochranného pospojování byla u vysokonapěťových instalací vždy spojena se zemí z důvodu zvláštních nebezpečí, jakými je například nebezpečí vysokého dotykového napětí na neživých částech, které se mohly stát z důvodu poruchy živými částmi [3]. Příčinou vzniku těchto poruch může být elektrický průraz, tedy selhání základní ochrany izolace živých částí, k němuž může dojít při poruchových proudech [14]. Z tohoto hlediska je nutné, aby na všech neživých částech konstrukce VN zdroje bylo provedeno ochranné pospojování.

Na jednotlivé části ochranného pospojování jsou kladeny větší nároky z hlediska tepelného a dynamického namáhání při poruše, ale také musí být odolné proti všem vnitřním a vnějším vlivům, které mohou v průběhu měření nastat [3].

Ochranné pospojování je ve spodní části konstrukce zajištěno vějířovými podložkami použitými u všech šroubů potřebných ke spojení plechů. Tyto vějířové podložky jsou vyrobeny z oceli a jejich povrch je ošetřen galvanickým pozinkováním, které chrání podložku před korozí ze vzdušné vlhkosti. Další důležitou vlastností je potřebné vějířové ozubení podložky, díky němuž dojde k pevnému propojení s měkkým hliníkovým

plechem, se kterým je spojena. Těmito vlastnostmi se zajistí požadavky na ochranné pospojování v předchozím odstavci [15].



Obrázek 5: Vějířová podložka [15]

Vodiče ochranného pospojování musí být snadno rozlišitelné tvarem, značením nebo barvou. V tomto případě jsou na izolaci opatřeny barevným značením kombinace zelené a žluté. Šrouby pro připojování ochranných vodičů nesmí sloužit k žádným jiným účelům a spojení nesmí být provedeno pájením [14].

U vrchního plechu je pak ochranné pospojování provedeno přemostěním vodiče o průřezu 6mm². Použité vodiče obsahují na svých koncích žluté zaizolované zakončovací očko o šroubovém otvoru M6. Tyto koncovky jsou určeny pro elektrickou montáž pomocí krimpovacích kleští. Touto montáží se zajistí mechanicky pevný spoj, u kterého již není možné nechtěné odstranění koncovky [16].

5.1.1 Hlavní uzemňovací svorka

Hlavní uzemňovací svorka je stěžejním prvkem každé soustavy ochranného pospojování. V místě této svorky se napětí uvažuje za nulové a vůči tomuto místu se vztahuje, jaké je při různých poruchách napětí na odlišných místech elektrické instalace. K této svorce musí být připojeny vodiče ochranného pospojování, ochranné vodiče a uzemňovací přívody. Při připojení s hlavní ochrannou svorkou není vždy nutné spojit každý jednotlivý ochranný vodič k této svorce v případě, že jsou tyto ochranné vodiče vzájemně spojeny prostřednictvím jiných ochranných vodičů. Pro všechny vodiče připojené k hlavní uzemňovací svorce platí pravidlo, že musí být možnost je samostatně odpojit, ale s podmínkou možnosti rozpojení pouze za použití nástroje [17].

Hlavní uzemňovací svorka je u konstrukce VN zdroje umístěna na zadním panelu u přívodu napájení. Na vnitřní straně konstrukce je oproti hlavní uzemňovací svorce umístěna svorkovnice, k níž jsou připojeny jednotlivé ochranné vodiče jak od ochranného pospojování, tak od prvků zdroje, které vyžadují připojení ochranného vodiče. Tato uzemňovací svorka je patřičně označena příslušným štítkem. Pro účely hlavní uzemňovací svorkovnice byla použita svorka SV99. Tato svorka je určena pro zemní použití a je vyrobena z kovového materiálu. Její výhodou je možnost připojení konektoru (banánek) 4 mm a zároveň se po vyšroubování naskýtá prostor pro připojení izolovaného lisovacího oka, kterým se zajistí zapojení vodiče ochranného pospojování na tuto svorku [18].



Obrázek 6: SV99 [18]

5.2 Automatické odpojení od zdroje

Automatické odpojení od zdroje je ochranný prostředek obsahující základní ochranu zajištěnou základní izolací mezi nebezpečnými živými a neživými částmi, ochrana při poruše je zajištěna automatickým odpojením od zdroje napájení [19]. Pro automatické odpojení od zdroje je dle normy ČSN EN 61140 ed. 3 nezbytné zavedení soustavy ochranného pospojování zařízení a ochranný přístroj, který je uvedený do činnosti poruchovým proudem a musí v případě poruchy základní izolace mezi vodičem vedení a neživou částí (potažmo ochranným vodičem) odpojit vodiče vedení napájení zařízení [3]. Důležitou podmínkou pak je vhodné navržení umístění tohoto ochranného přístroje. Ten by se měl instalovat do zařízení ve směru od poruchy ke zdroji, přednostně na začátku chráněného obvodu [19].

6 Návrh konstrukce

Konstrukce přístrojové skříně pro měření je sestavena ze čtveřice hliníkových plechů o odlišných tloušťkách, které jsou následně patřičně propojeny. Na celou přístrojovou skříň je nanesena silná vrstva laku, která zabezpečuje částečnou ochranu měkkého hliníkového materiálu konstrukce.

Stěžejním plechem pro konstrukci je spodní plech, který tvoří spodní a boční stěnu přístrojové skříně. Je tvořen hliníkovým plechem o tloušťce 1 mm. Tento plech obsahuje dva hlavní prostřední ohyby o 90° a dále šest krajních odsazených 20 mm ohybů o 90° . Díky krajním ohybům se zajistí snadnější propojení všech hliníkových plechů a zároveň se zlepší mechanické vlastnosti konstrukce tak, aby nedocházelo k vlnění nebo případnému deformování těchto plechů.

Další dva plechy konstrukce jsou téměř totožné a tvoří přední a zadní stěnu konstrukce. Tyto stěny jsou opět tvořeny pomocí hliníkových plechů. Na přední stěnu konstrukce ovšem bude kladena mnohem větší hmotnostní síla než na ostatní stěny. To je zapříčiněno autotransfornátorem, který je právě k této stěně připevněn (viz kapitola 7). Pro zlepšení pevnosti stěny je proto použit hliníkový plech o tloušťce 1,8 mm. Zadní stěna je pak opět tvořena hliníkovým plechem o tloušťce 1 mm. Přední i zadní plech obsahuje vždy jen jeden krajní odsazený ohyb o 90° , který slouží k uchopení vrchního plechu.

Posledním plechem, který je použit u konstrukce přístrojové skříně, je vrchní plech. Tento plech je opět z hliníkového materiálu o tloušťce 0,8 mm a je děrovaný, což by mělo zajistit proudění vzduchu dovnitř přístrojové skříně a tím i chlazení VN zdroje v průběhu měření. Další výhodou použitého děrování je možnost vizuální kontroly při měření.

Následné propojení všech jednotlivých částí je zajištěno ocelovými pozinkovanými šrouby s plochou hlavou o velikosti M4. Každý šroub je z vnitřní strany konstrukce opatřen maticí s výjimkou šroubů na uchycení vrchního děrovaného plechu, kde kvůli potřebě odklopení tohoto plechu nebyla možnost použít obvyklé matice. Pro tyto účely jsou použity nýtovací matice s rýhovaným tělem, které obsahují klasický metrický závit

a zápusťnou hlavu. Nýtovací matice jsou vhodné i z důvodu spojení dvou tenkých plechů, u nichž není možné vytvořit vnitřní závit. Díky rýhovanému tělu se zamezí protáčení matic a vytvoří se tak pevný a stabilní spoj. K aplikaci těchto matic je nutné použít nýtovací kleště [20].



Obrázek 7: Nýtovací matice [20]

Na spodním plechu je umístěn hliníkový plech s odsazenými 90° ohyby o 20 mm na všech jeho krajích. Tento plech je určen pro připevnění jednotlivých prvků zdroje jako distanční plech. Díky tomuto plechu nejsou z vnější části viditelné šrouby pro uchycení prvků zdroje a čtveřice šroubů určených pro úchyt distančního plechu je částečně zakryta za pomoci gumových nožiček.

6.1 Čelní panel zdroje

Na čelním panelu konstrukce je vytvořen otvor o rozměrech 17 × 45 mm, který slouží k umístění jisticího prostředku. Volba jisticího prostředku a jeho připevnění bude podrobně popsáno v následující kapitole (viz kapitola 8). Na čelním panelu se pak dále vyskytuje otvor o průměru 7 mm, který je určen pro hřídel autotransformátoru. Ten slouží k napájení VN transformátoru, čímž se zajistí plynulá regulace výstupního napětí. Čelní panel dále obsahuje otvory pro dva BNC konektory, pro možnost připojení osciloskopu, který zajišťuje záznam dat z měření a zobrazení příslušných voltampérových charakteristik vybraných výkonových polovodičových prvků. Dalším prvkem umístěným na čelním panelu je kontrolní červená LED dioda, která je určena na 24 V. Tato dioda má již připájený odpor. Červená kontrolka je připojená do obvodu bezpečnostního relé na nové DPS a signalizuje přítomnost VN na výstupech ze zdroje.

Na čelním panelu je upevněn také konektor, ke kterému je přivedený dvou vodičový kabel. Tento kabel propojuje magnetické koncové spínače na bezpečnostním přípravku s DPS pro bezpečnostní relé.



Obrázek 8: Čelní panel zdroje

6.2 Zadní panel zdroje

Z důvodu zvýšení bezpečnosti jsou všechny vodiče pod nebezpečným dotykovým napětím vyvedeny ze zadního panelu zdroje včetně napájení samotného VN zdroje. Na zadním panelu je vytvořeno celkem devět otvorů o poloměru 6 mm, které jsou opatřeny bezpečnostními 4mm panelovými zdířkami, které tvoří výstup z VN transformátoru, jsou dimenzovány na maximální napětí 6 kV, aby nedošlo k proražení nebezpečného napětí na neživou část bezpečnostního krytu VN zdroje. U těchto bezpečnostních panelových zdířek pro vysoké napětí jsou vodivé části patřičně zakryté, aby nebyl v průběhu měření možný nahodilý dotyk živých částí [21].



Obrázek 9: Bezpečnostní panelová zdířka [21]

Pro účel napájení VN zdroje (síťové napětí) je použita běžná síťová zásuvka. Zadní panel zdroje obsahuje hlavní zemnicí svorku SV99. Před zahájením měření je potřeba zvolit vhodnou napěťovou hladinu propojením výstupu VN transformátoru se vstupem děliče. Toto propojení je zajištěno měřicími přívody, které mají vhodnou kompatibilitu s použitými panelovými zdírkami. Měřicí přívody jsou rovněž dimenzovány na napětí dosahující až 6 kV [22].

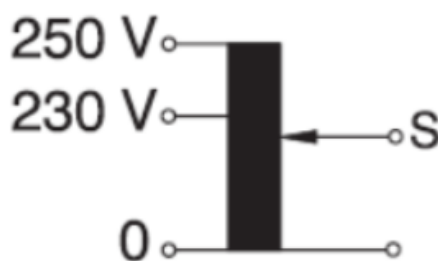


Obrázek 10: Zadní panel zdroje

7 Autotransformátor

Z důvodu zvýšení bezpečnosti byl stávající VN zdroj rozšířen o novou desku plošných spojů, která zajišťuje spínání napětí na primárním vinutí autotransformátoru (viz kapitola 11). Toto napětí je spínáno v závislosti na magnetických koncových snímačích umístěných na bezpečnostním přípravku, které kontrolují zavření tohoto přípravku. V případě otevřeného, nebo nedovřeného přípravku se tímto postupem zamezí přivedení napětí z VN zdroje do bezpečnostního přípravku. Výstupní napětí z autotransformátoru je pak přivedeno na primární vinutí VN transformátoru.

Autotransformátor slouží k plynulému nastavení výstupního střídavého napětí, což je velice výhodné jak pro účely měření (nastavení relativně přesné hodnoty sekundárního napětí z VN transformátoru), tak i z hlediska optimálního odběru elektrické energie bez zbytečných ztrát. Provedením snímacího jezdce s uhlíkovým kontaktem (obdoba u drátových potenciometrů) se zajistí bezpečný kontakt s jednotlivými závity vinutí autotransformátoru. Otáčením regulační hřídele se nastavuje výstupní napětí s rozlišením 1 až 3 V [23].



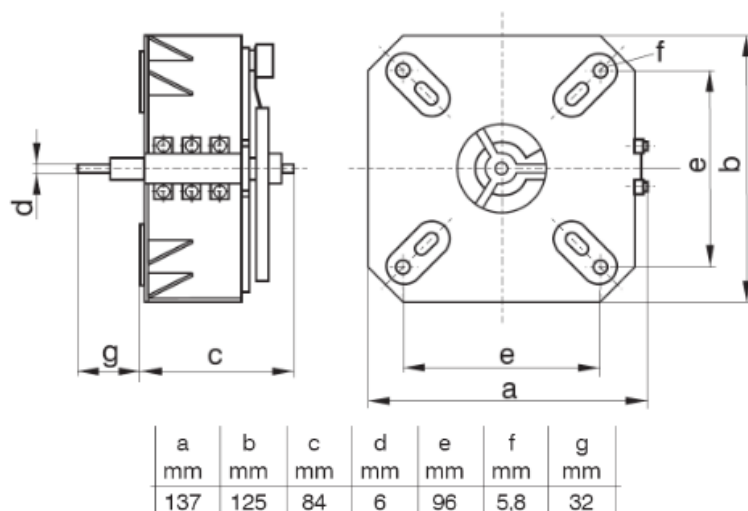
Obrázek 11 : Značka autotransformátoru [23]

7.1 Montáž autotransformátoru

Konstrukce VN zdroje musí být přizpůsobena poměrně vysoké hmotnosti (2,6 kg) autotransformátoru v porovnání s ostatními prvky zdroje a nutnosti upevnění autotransformátoru jako ovládacího prvku na čelní panel zdroje. Jak bylo již dříve zmíněno, právě z tohoto důvodu bylo nutné zvolit větší šířku plechu určenou na čelní panel, aby se zamezilo deformaci a vlnění tohoto plechu [23].

Dalším požadavkem na konstrukci je pak zajištění vhodné cirkulace okolního vzduchu jak pro samotný autotransformátor, tak i pro prvky umístěné v jeho okolí. Okolní teplota vzduchu by dle výrobce neměla být vyšší než +45 °C. I z tohoto důvodu byla vrchní stěna konstrukce vytvořena z děrovaného plechu, čímž by se mělo zajistit dostatečné proudění venkovního vzduchu dovnitř zdroje [23].

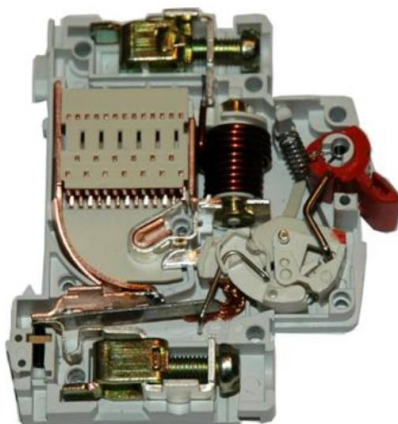
Vzhledem k délce hřídele je nutnost autotransformátor upevnit k čelnímu panelu s mírným odsazením. Toto odsazení se zajistí díky použití čtyř distančních sloupků o jednotlivé délce 18 mm a následnému použití osmi šroubů s plochou hlavou o závitě M5.



Obrázek 12: Rozměry autotransformátoru [23]

8 Jisticí prostředek

Jisticí prostředek (elektrický jistič) je elektrický přístroj pracující jako samočinný vypínač elektrického obvodu a zařízení v případě výskytu nadproudů. Ty jsou chápány jako proudy, jejichž hodnoty jsou vyšší než dovolený jmenovitý proud například při zkratu nebo přetížení. Hlavním účelem elektrického jističe je tedy zabránit poškození elektrického obvodu. Elektrický jistič pracuje na podobném principu jako pojistka. Jedním z hlavních rozdílů je však destrukce pojistky při ochraně obvodu, zatímco u jističe je možnost po následném opravení závady jeho opětovné zapnutí pomocí překlopení páčky. V případě potřeby je možnost i pomocí páčky vypínat obvod. Základem jističů jsou dvě hlavní funkce, tepelné vypínání a elektromagnetické vypínání [24].



Obrázek 13: Průřez elektrickým jističem [24]

8.1 Tepelné vypínání

Hlavním účelem tepelného vypínání je stav, kdy při poruše prochází elektrickým obvodem proud, který svou hodnotou lehce převyšuje dovolený jmenovitý proud. Tento proud může procházet obvodem po delší čas a tím způsobit přetížení jednotlivých prvků zdroje, což může vést až k jejich poškození. Při účincích tohoto proudu nemusí být uvedena v činnost funkce elektromagnetického vypnutí (viz kapitola 8.2) [24].

Tepelné vypínání pracuje na principu bimetalového pásku, jenž je vytvořen ze dvou kovů, přičemž každý má jinou tepelnou roztažnost. Při ohřívání průchodem proudem, který je vyšší než jmenovitý proud, dochází k deformaci bimetalového pásku (zakřivení), což způsobí rozeprnutí vypínacího mechanismu. Dojde tedy k samotnému vypnutí jističe. Rychlost odezvy je závislá na velikosti přetěžujícího proudu (viz Obrázek 14) [25].

Tepelné vypínání je také další výhodou použití elektrického jističe oproti pojistce. Ta odpojí elektrický obvod pouze v případě zkratového proudu, nikoliv při proudu přetěžujícím, který může taktéž vážně poškodit obvod [24].

8.2 Elektromagnetické vypínání

Další funkcí elektrického jističe je odpojení chráněného obvodu při výskytu zkratového proudu, jenž může dosahovat hodnot několikanásobně vyšších, než je dovolený jmenovitý proud. Z tohoto hlediska je nutné, aby elektromagnetické vypínání bylo schopno při tomto proudu co nejrychleji odpojit obvod [24].

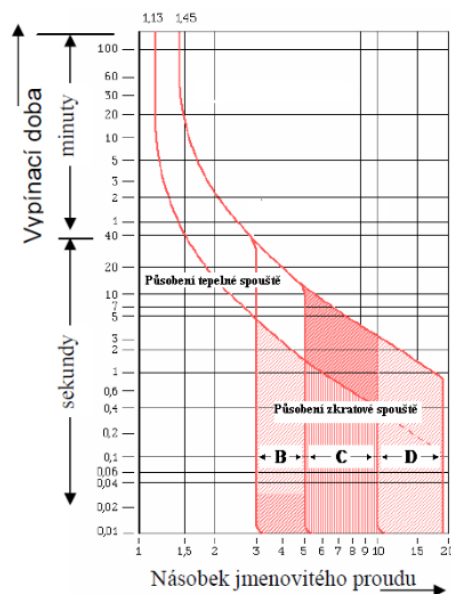
Principem elektromagnetického vypínání je vzniklé magnetické pole kolem vodiče procházejícím elektrickým proudem. Při výskytu zkratového proudu v chráněném obvodu, do jehož proudové dráhy je umístěna cívka, dojde ke vzniku silnějšího elektromagnetického pole, které přitáhne kotvu vypínající jistič [25].

8.3 Volba vhodného jisticího prostředku

Vzhledem k tomu, že elektrický jistič neodpojuje chráněný obvod okamžitě, ale s časovou prodlevou, je potřeba tuto prodlevu také zohlednit při jeho výběru. Hlavní rozdělení jističů je tedy dle jejich vypínací charakteristiky. Ta udává závislost doby vypnutí na velikosti nadproudu. Na Obrázek 14 jsou zobrazeny jednotlivé vypínací charakteristiky základních typů jističů [25].

Jističe typu B jsou určeny pro jištění vedení. Reagují nejrychleji na výskyt zkratového proudu a jsou zároveň vhodné pro elektrická zařízení, u nichž je nízký zapínací proud. Jističe typu B vypínají při zkratovém proudu o velikosti 3–5násobku jmenovitého za dobu 0,1 s. Vzhledem k rychlému vypínacímu času a nízkému zkratovému proudu je typ B použit pro jištění obvodu VN zdroje [24].

Jističe typu C jsou určeny pro jištění spotřebičů a motorů. Tyto typy vypínají při 5–10násobku jmenovitého proudu a při čase 0,1 s. Jističe typu D se používají k jištění motorů s těžkým rozběhem. Tyto jističe odpojují obvod při 10–20násobku jmenovitého proudu a také při čase 0,1 s [24].



Obrázek 14: Vypínací charakteristiky dle typu jističe [25]

8.4 Montáž jisticího prostředku

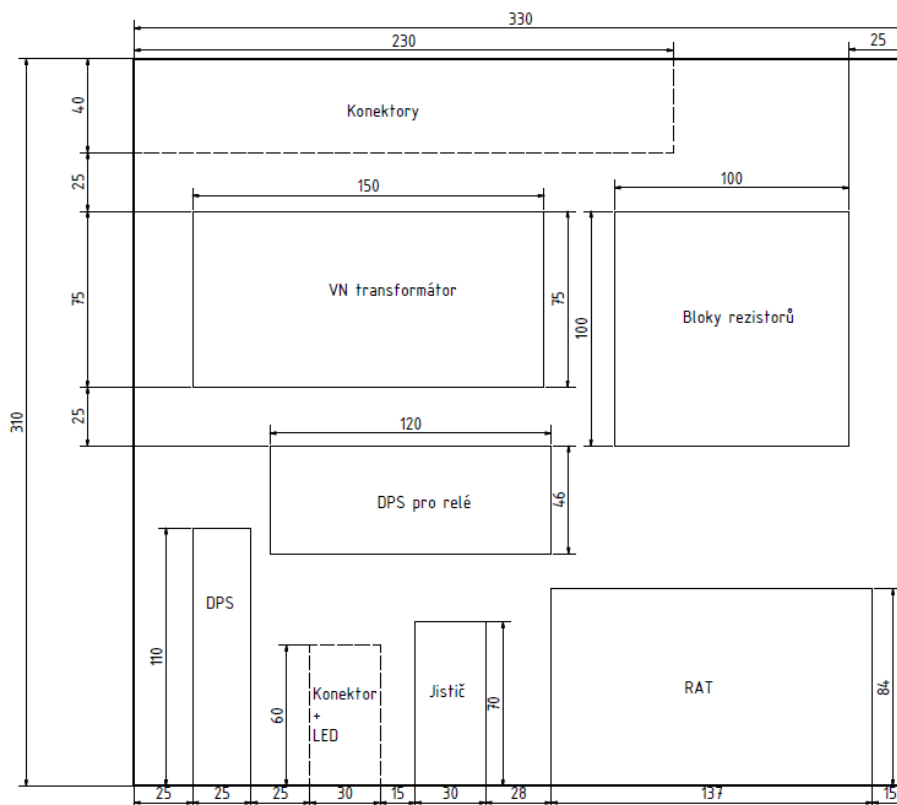
Jisticí prostředek se nejčastěji upevňuje na ocelovou lištu (DIN), která má tvar U. K této liště je možno připnout elektrický jistič pouze za pomoci zacvaknutí do drážky lišty. Pro účely VN zdroje je však toto řešení nevhodné z hlediska komplikovaného upevnění DIN lišty ve volném prostoru přístrojové skříně a také nutnosti umístění elektrického jističe jako ovládacího prvku na čelní panel zdroje. Nejvhodnějším řešením je umístění jističe do plastového jednofázového modulu, který je upevněn k čelnímu panelu. Díky tomuto modulu pak stačí jen následné zasunutí jističe k jeho umístění na čelní panel.

9 Rozmístění prvků zdroje

Stěžejním prvkem VN zdroje je VN transformátor, který zajišťuje potřebné napětí k měření polovodičových prvků, jakými jsou například tyristory. Tento transformátor obsahuje primární vinutí dimenzované na 230 V. Sekundární strana transformátoru zahrnuje dvě vinutí, každé po 1 800 V, které při sériové kombinaci vytvářejí 3 600 V na výstupu z transformátoru. Díky této konstrukci je možné na čelním panelu vhodným propojením volit mezi dvěma hladinami napětí. Z těchto údajů vyplývá transformační poměr tohoto transformátoru. Při zvolené napěťové hladině 1 800 V je transformační poměr roven hodnotě 7,826 a při napěťové hladině 3 600 V je poměr 15,652. Při přivedení napětí na primární stranu z předřadného autotransformátoru se zajistí dostatečná citlivost výstupního napětí pro měření, kdy 1 V na autotransformátoru odpovídá hodnotě 7,826 V při napěťové hladině 1 800 V nebo 15,652 V při 3 600 V [26]. Neživé části transformátoru mají vyvedený ochranný vodič, který je následně v rámci ochranného pospojování spojen s hlavní uzemňovací svorkou přes distanční plech, ke kterému je transformátor připevněn. Vstupy primární strany jsou v provedení běžné svorkovnice, zatímco sekundární strana (VN) je vyvedena vodiči dimenzovány na VN s dvojitou izolací.

Vzhledem k tomu, že při sériovém spojení vinutí na sekundární straně je na výstupu z transformátoru efektivní hodnota napětí 3 600 V. Teoretická maximální hodnota tohoto napětí pak může dosahovat až 5 091 V. Pro zvýšení bezpečnosti je u rozmístění prvků zdroje počítáno s hodnotou napětí až 6 kV. Při návrhu rozmístění jednotlivých prvků zdroje je zapotřebí věnovat pozornost přeskokovým vzdálenostem napětí. Tyto vzdálenosti se odvíjejí od mnoha aspektů, mezi které patří hlavně velikost napětí, vzdušná vlhkost a teplota.

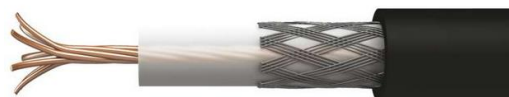
V kapitole 3.1 bylo zmíněno, že VN zdroj je navržen pro laboratorní prostředí, kde jsou klimatické podmínky téměř ideální pro práci s elektrickým proudem. Z toho vyplývá, že i přeskoková vzdálenost je větší. Tato vzdálenost se udává pro klimatické podmínky laboratoře, tedy 20 °C a relativní vzdušné vlhkosti 40 % na 3 kV/mm [27]. Minimální vzdušná vzdálenost byla tedy stanovena na 15 mm mezi všemi prvky zdroje. Pro snížení bezpečnostních rizik byla vzdálenost kolem prvků, na kterých se předpokládá VN, zvolena na 25 mm.



Obrázek 15: Rozmístění prvků zdroje

10 Bezpečnostní přípravek

Pro zvýšení bezpečnosti obsluhy při práci na měření je VN vytvořené zdrojem přivedeno za pomoci dvou koaxiálních kabelů do bezpečnostního přípravku. Výhodou použití těchto vodičů je možnost propojení jejich stínění se zemí bezpečnostního přípravku a VN zdroje (viz Obrázek 16). Tyto vodiče jsou do přípravku zavedeny díky čtveřici otvorů po stranách. Otvory jsou následně opatřeny gumovými průchodkami. V případě nepřesného uložení vodičů do otvorů by mohlo při případném zaklopení vrchní části přípravku dojít k jejich poškození. Díky těmto gumovým průchodkám by se mělo zabránit nechtěné deformaci.



Obrázek 16: Průřez koaxiálním kabelem [28]

V bezpečnostním přípravku je v průběhu měření umístěna termostatická plotna. Na ní je položena měřená polovodičová součástka, na které se v průběhu měření nastavuje určitá teplota [29]. Aby nebylo potřeba při přítomnosti VN měnit ručním řízením teplotu, je termostatická plotna opatřena PID regulátorem teploty. Ten pak zajišťuje pomocí spínání relé regulaci na požadovanou a předem nastavenou teplotu [30].

Do přípravku byly rovněž implementovány určité bezpečnostní prvky, kterými je potřeba zajistit bezpečnost obsluhy měření. Mezi tyto prvky patří dodržení bezpečné vzdušné vzdálenosti krytu od živých částí, ošetření vniknutí do přípravku v přítomnosti VN, ochranného pospojování a použití děrovaného plechu pro výrobu skeletu sloužícímu k vizuální kontrole průběhu měření, případně k odečítání dat z displeje PID regulátoru [29].

Bezpečnostní přípravek musí dále splňovat ustanovení pro ochranný kryt (viz kapitola 4.2). Přípravek vzhledem k děrovanému plechu o průměru děr 2 mm dosahuje obdobně jako vrchní strana VN zdroje stupeň krytí IP3X, tedy ochrana před vniknutím těles o průměru 2,5 mm a větší. Tento bezpečnostní přípravek byl již realizován v rámci mého ročníkového projektu [10].

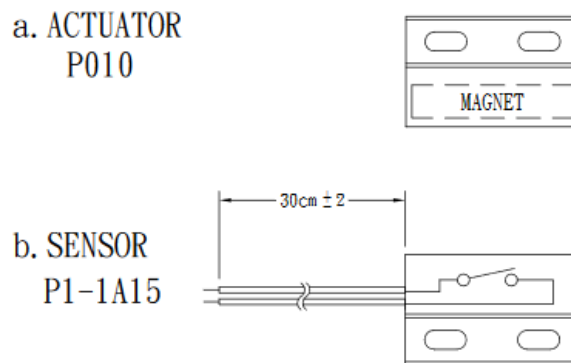


Obrázek 17: Bezpečnostní přípravek

10.1 Magnetické koncové spínače

Jako ošetření před vniknutím do přípravku jsou použity dva magnetické koncové kontakty typu KUAN HSI P1-1A15. Umístěny jsou po obou bočních stranách přípravku, tím se zajistí nutnost kompletního uzavření přípravku při přivedeném napětí ze zdroje. Zároveň jsou magnetické kontakty umístěny na vnější struktuře přípravku. Toto připevnění je použito z důvodu zabránit jejich rušení kvůli účinkům VN.

Magnetické spínače obsahují jazýčkové spínací kontakty, které jsou ovládány magnetickým polem permanentního magnetu. Jazýčkové kontakty jsou uloženy v hermeticky utěsněné skleněné trubici s inertním plynem tak, aby nebyly ovlivňovány okolním atmosférickým prostředím. Tímto řešením uložení se zajistí odolnost vůči korozi a prodlouží se jejich životnost. Tyto magnetické spínače se vyznačují vlastnostmi, jakými jsou rychlá odezva a stabilní spínací provoz, které jsou důležité pro rychlé a spolehlivé odpojení napětí v přípravku [31].



Obrázek 18: Magnetický kontakt P1-1A15 [31]

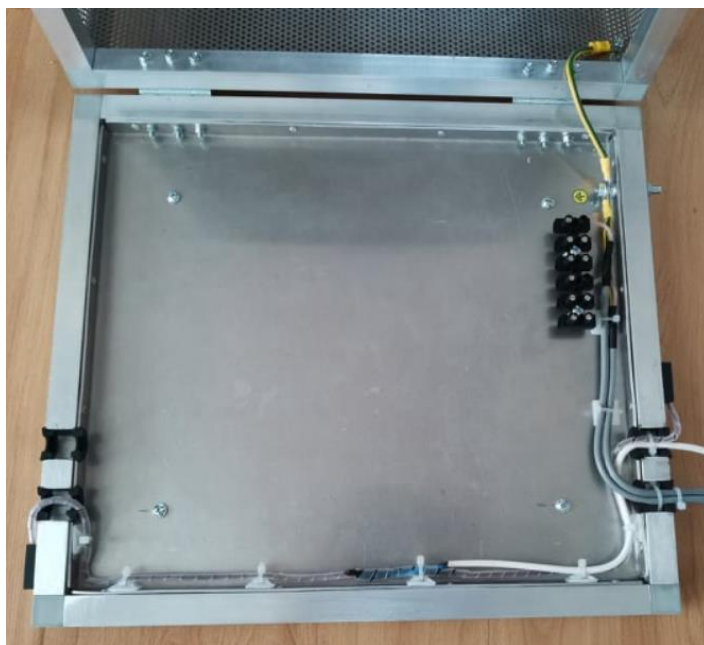
Výrobce stanovuje maximální stejnosměrné spínané napětí na 200 V a maximální hodnotu spínaného proudu na 0,5 A. Pro účely bezpečnostního přípravku dosahují magnetické kontakty spínaného napětí 24 V. Výrobce dále udává rozsah teplot $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro správnou funkci magnetických kontaktů [31].

Magnetické kontakty lze dle své funkce rozdělit na dva základní druhy NO (normally open) a NC (normally close). Tyto druhy je potřeba zohlednit při jejich použití a následném zapojení. Magnetickými kontakty NO v klidovém stavu neprochází elektrický proud. Klidovým stavem je chápáno přiložené magnetické pole od permanentního magnetu P010. Pro účely bezpečné funkce přípravku byly použity vhodnější magnetické kontakty typu NC. Tento typ je u magnetických kontaktů častější a značí průchod elektrického proudu v klidovém stavu. Při otevření bezpečnostního přípravku dojde k oddálení permanentního magnetu od jazýčkového spínacího kontaktu a tím k přerušení průchodu elektrického proudu [32].

10.2 Propojení bezpečnostního přípravku se zdrojem

Jak je znázorněno na obrázku níže (viz Obrázek 19), jsou vodiče z magnetických koncových spínačů přivedeny přes gumové průchodky do vnitřního prostoru bezpečnostního přípravku. Oba magnetické kontakty P1-1A15 typu NC jsou pak následně vzájemně zapojeny uvnitř přípravku do série. Vzhledem k úzkému průřezu vodičů těchto spínačů jsou opatřeny spirálovou svazovací chráničkou. Ta pak zajišťuje dostatečnou ochranu kabelů před prodřením a zároveň udržuje jednotlivé vodiče spolu při krajích přípravku. Takto spojené vodiče jsou napojeny na dvouvodičový kabel, který slouží k přivedení signálu ze snímačů do VN zdroje. Tento kabel je následně pomocí příslušného konektoru zapojen do obvodu bezpečnostního relé pro sepnutí, případně rozepnutí napájení VN transformátoru (viz kapitolu 11).

Koaxiální kabely nesoucí VN pro měření jsou připojeny do svorkovnice, z níž se pak napájí samotný měřený polovodičový prvek. Stínění je vyvedeno na uzemňovací svorku přípravku, ke které je opět připojeno zaizolovanými zakončovacími očky.



Obrázek 19: Zapojení bezpečnostního přípravku

11 Návrh DPS pro bezpečnostní relé

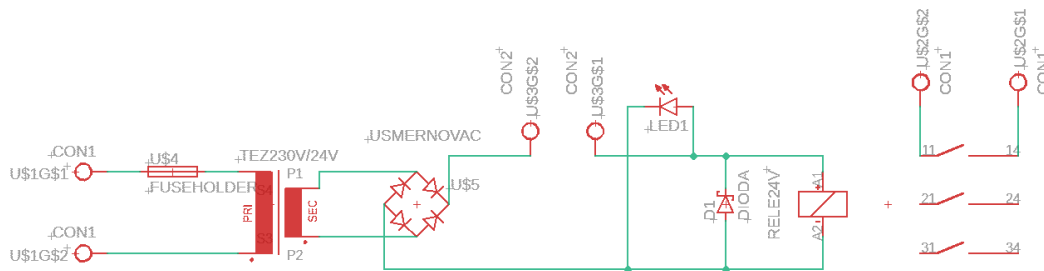
Pro zvýšení bezpečnostní funkce zdroje je použito bezpečnostní relé, které zajišťuje spínání napětí na autotransformátoru, respektive napětí na primárním vinutí VN transformátoru. Vzhledem k použitému relé, které je určeno pro montáž na desku pájením, je potřeba vytvořit novou DPS. Součástí této desky je svorkovnice pro připojení sériového spojení magnetických koncových spínačů z bezpečnostního přípravku.

11.1 Schéma zapojení

Pro bezpečnostní relé je potřeba vytvořit vhodné napájecí napětí. V tomto případě se jedná o stejnosměrné napětí 24 V. Napájecí napětí přivedené do VN zdroje (síťové napětí 230 V) je redukováno transformátorem TEZ4/D/24V na požadovaných 24 V [33]. Na primární straně transformátoru je umístěna tavná pojistka, která chrání obvod před poškozením zvýšeným elektrickým proudem. Při výskytu tohoto nadproudu dojde k zahřívání vodiče pojistky až do chvíle, kdy nadproud přetaví vodič pojistky a dojde k přerušení elektrického obvodu [34]. Z důvodu potřeby stejnosměrného napětí pro napájení relé je zapotřebí napětí z výstupu transformátoru usměrnit. K tomuto účelu je použit usměrňovač W005M.

Při zavření bezpečnostním přípravku se napájecím napětím sepne relé. V případě vypínání relé (indukční zátěže) vznikají v jeho obvodu tlumené, výkyvy napětí a proudu. Vzhledem k použití relé napájeného stejnosměrným napětím je jako omezovač přepětí použita dioda [35].

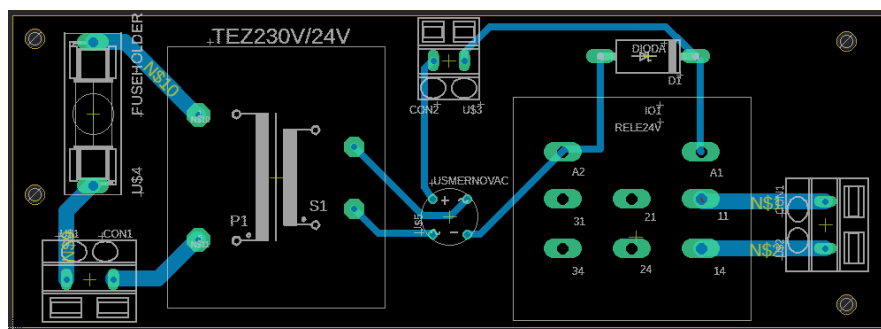
V obvodu bezpečnostního relé je dále zapojena červená LED. Tato LED je vzhledem k vytvoření napájecího napětí relé určena na 24 V. Její součástí je již od výroby sériově zapojený rezistor. Tato kontrolka signalizuje sepnutí bezpečnostního relé, tudíž možnosti výskytu VN na výstupu ze zdroje. LED je umístěna na čelním panelu.



Obrázek 20: Schéma zapojení

11.2 Návrh DPS

Vzhledem k rozdílným hodnotám napětí ve schématu zapojení (viz kapitola 11.1) je potřeba vhodně zvolit šířky drah. Šířka síťových drah, které se vyskytují na primární straně transformátoru a následně na spínacím kontaktu relé, je vzhledem k proudové zatížitelnosti zvolena na 2,54 mm. Šířka zbývajících drah byla zvolena na 1,016 mm [36]. Minimální vzdálenost pro DPS dle pracovního napětí byla zvolena na 5 mm [37]. Vytvořená DPS je připevněna pomocí čtveřice šroubů a distančních sloupků ke spodnímu plechu přístrojové skříňe.



Obrázek 21: Návrh DPS

12 Propojení jednotlivých prvků zdroje

Na obrázku níže (viz Obrázek 22) lze vidět zapojení jednotlivých prvků zdroje dle propojovacího schéma (viz Příloha E). Pro samotné propojení byly použity dva druhy kabelů. Místa obvodu, ve kterých se při měření bude vyskytovat VN, jsou propojeny příslušným VN silikonovým kabelem. Naopak místa se síťovým napětím jsou propojena běžnými kabely o průřezu 1 mm². Při zapojování zdroje byla snaha omezit vedení různých napěťových hladin blízko sebe.



Obrázek 22: Zapojení zdroje

Závěr

V této bakalářské práci se mi úspěšně podařilo realizovat novou přístrojovou skříň pro dosavadní zdroj vysokého testovacího napětí. Při návrhu bylo na zdroj nahlíženo jako na elektrické zařízení. Vzhledem k tomuto faktu bylo nezbytně nutné zajištění základního pravidla ochrany před úrazem elektrickým proudem. Pro zabezpečení tohoto pravidla byly použity jak prostředky základní ochrany, tak také prostředky ochrany při poruše, které byly následně implementovány do zdroje. Ve snaze o snížení bezpečnostních rizik obsluhy pracující na měření bylo přísněji nahlíženo na tyto prostředky ochrany. Konstrukce zdroje byla navržena tak, aby odolala současně všem vnitřním vlivům i okolním vlivům prostředí. Výkresová dokumentace byla dle návrhu vyhotovena v softwaru AutoCAD. Součástí návrhu je i propojovací schéma stávajících prvků zdroje včetně nových prvků pro usnadnění měření a zároveň zvýšení bezpečnosti.

Vytvořená výkresová dokumentace byla následně předána firmě Izolace Beran, která zajistila stříh a ohyb jednotlivých hliníkových plechů pro konstrukci.

V práci se dále podařilo zrealizovat propojení vysokonapětového zdroje s bezpečnostním přípravkem, ve kterém se v průběhu měření vyskytuje měřená součástka. Bezpečnostní přípravek byl opatřen magnetickými koncovými snímači, které zajišťují bezpečné uzavření přípravku při měření. Aby se zabezpečilo odpojení nebezpečného napětí v případě otevření přípravku, byl stávající zdroj rozšířen o desku plošného spoje, na níž se vyskytuje bezpečnostní relé. Návrh desky plošného spoje byl vytvořen softwarem EAGLE. Toto relé pak zajišťuje spínání napájecího napětí vysokonapětového transformátoru přes autotransformátor.

Na zrealizovaném vysokonapětovém zdroji bylo provedeno zkušební měření pro ověření bezpečné funkce. Vzhledem k nutné kvalifikaci bylo zkušební měření zprostředkováno vedoucím mé bakalářské práce panem Ing. Martinem Černíkem, Ph.D. Jeho výsledkem bylo splnění správné bezpečné funkce zdroje včetně propojeného bezpečnostního přípravku, ovšem pro samotné měření konkrétních polovodičových prvků jsou nezbytné drobné úpravy.

Seznam použité literatury

- [1] HAŠKOVEC, Jiří, František LSTIBŮREK a Josef ZÍKA. *Tyristory: Polovodičová technika*. 2. Praha: SNTL, 1972, 420 s.
- [2] JACKMANN, Daniel. *VN zdroj pro zobrazení závěrné VA charakteristiky bipolární diody a tyristoku osciloskopu*. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, 2016, 22 s.. Vedoucí ročníkového projektu Ing. Martin Černík, Ph.D.
- [3] ČSN EN 6114. *Ochrana před úrazem elektrickým proudem - Společná hlediska pro instalaci a zařízení*. Ed.3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [4] FIALA, Petr. Normální podmínky – základní ochrana. *Elektrotechnika: BOZP při práci na elektrickém zařízení* [online]. 1. Olomouc: SŠ technická a obchodní Olomouc, 2015, s. 1 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/362>
- [5] ČSN EN 60721-3-1. *Klasifikace podmínek prostředí – Část 3: Klasifikace skupin parametrů prostředí a jejich stupňů přísnosti – Oddíl 1: Skladován*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [6] FIALA, Petr. *Podmínky jedné poruchy – ochrana při poruše: BOZP při práci na elektrickém zařízení* [online]. 1. Olomouc: SŠ technická a obchodní Olomouc, 2015 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/363>
- [7] FIALA, Petr. Požadavky na prostředky základní ochrany. *Elektrotechnika: BOZP při práci na elektrickém zařízení* [online]. 1. Olomouc: SŠ technická a obchodní Olomouc, 2015, s. 1 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/370>
- [8] WATSON, Dave. ALPHAWIRE. 39X2205 [Online katalogový list]. 1. Lingerwood Avenue, Elizabeth: AlphaWire, 2019, 3 s. [cit. 12.04.2020]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/ea5e78a231d1323d2196d1b3fe4a7c96/39X2205-WH005.pdf>
- [9] Silikonový zapalovací kabel. In: *Würth* [online]. Würth, spol. s r.o., 2018 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://eshop.wuerth.cz/Kategorie-produktu/Silikonovy-zapalovaci-kabel/31466501180601.cyid/3146.cgid/cs/CZ/CZK/>

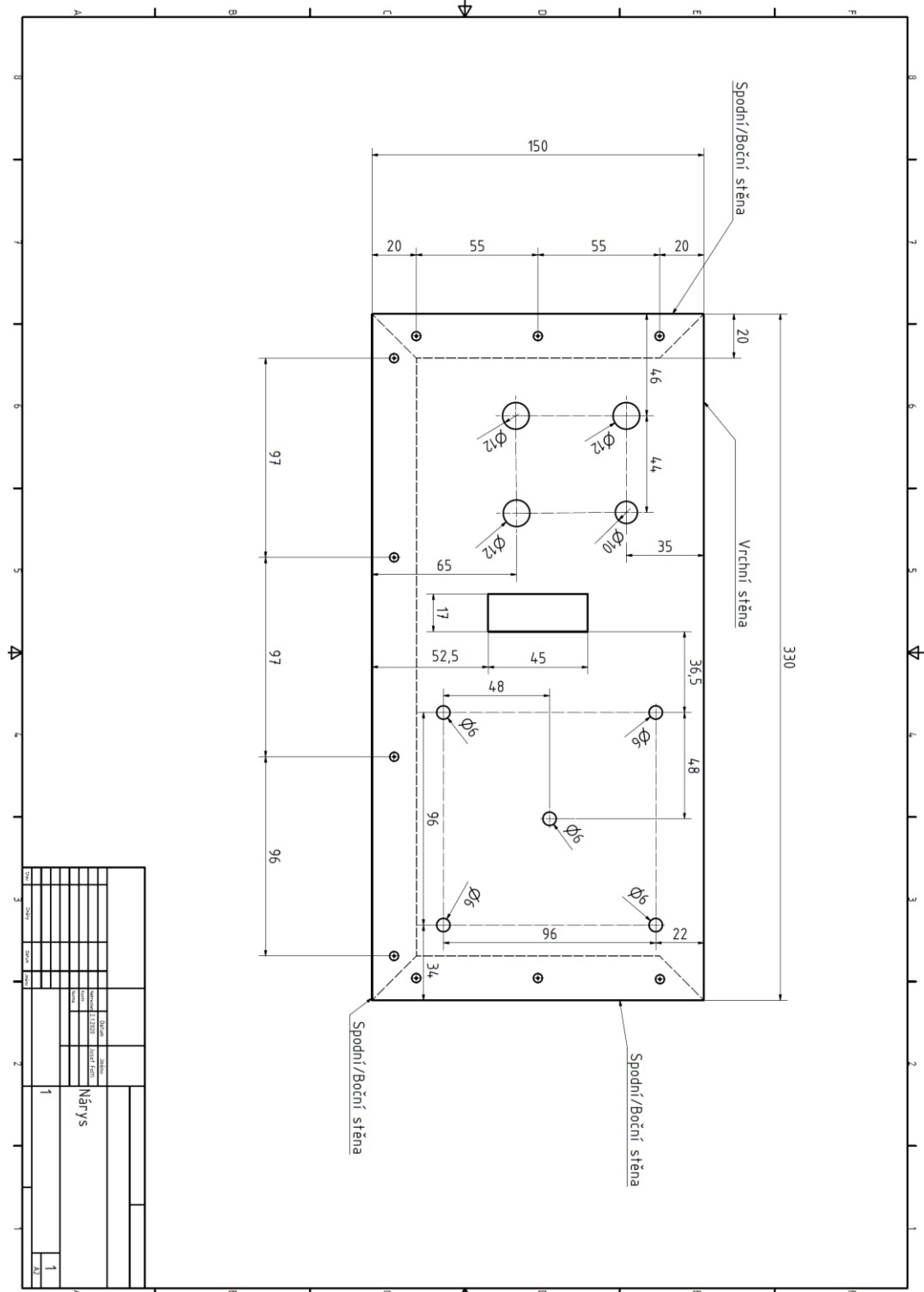
- [10] ČSN EN 60529. *STUPNĚ OCHRANY KRYTEM (KRYTÍ - IP KÓD)*. 2. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1989.
- [11] ČERNÍK, Martin. *Povolené napětí na rezistoru* [Ústní sdělení vedoucího]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatronika, informatiky a mezioborových studií [cit. 4-3-2020].
- [12] PVC - Polyvinylchlorid, Medur, Novodur. In: *VM plast* [online]. Svopa, 2020 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.vmplast.cz/sortiment/novodur>
- [13] FIALA, Petr. Přídavná izolace, ochranné pospojování. *Elektrotechnika: BOZP při práci na elektrickém zařízení* [online]. 1. Olomouc: SŠ technická a obchodní Olomouc, 2015, s. 1 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/372>
- [14] KŘÍŽ, Michal. *Zásady uzemňování a pospojování* [online]. , 1 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/zasady-uzemnovani-a-pospojovani>
- [15] OBO 3404064 Vějířová podložka DIN 6798 A M6 G. In: *Emas.cz* [online]. JANČA & EMAS group s.r.o., 2020 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.emas.cz/obo-3404064-vejirova-podlozka-din-6798-a-m6-g>
- [16] Krimpovací kleště pro zakončovací dutinky: PROSKIT CP-462G (CP-462G). In: *Emerx* [online]. Albrechtice: EMERX team s.r.o., c2006-2020 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.emerx.cz/krimповaci-kleste-pro-zakoncovaci-dutinky-proskit-cp-462g.html?utm_source=heureka.cz&utm_medium=cpc&utm_campaign=emgm731-511
- [17] *Uspořádání uzemnění podle ČSN 33 2000-5-54 ed. 3* [online]. , 1 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/elektroinstalace/usporadani-uzemneni-podle-csn-33-2000-5-54-ed-3>
- [18] Svorky, zdirky. In: *EZK - Elektronika Zdeněk Krčmář* [online]. Rožnov pod Radhoštěm: web4u, 2020 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: http://www.ezk.cz/svorky_zdirky.htm
- [19] FIALA, Petr. Automatické odpojení od zdroje, ochranné přístroje. *Elektrotechnika: BOZP při práci na elektrickém zařízení* [online]. 1. Olomouc: SŠ technická a obchodní Olomouc, 2015, s. 1 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/374>
- [20] Matice nýtovací se zápusťnou hlavou, rýhované tělo, pozinkovaná. In: *ObchodProDílnu* [online]. INIZIO Internet Media, 2020 [cit. 2020-04-28].

Dostupné z: https://www.obchodprodilnu.cz/matrice-nytovaci-se-zapustnou-hlavou-ryhovane-telo-pozinkovana-9443.html?heubar=256897&gclid=CjwKCAjw2a32BRBXEiwAUcugiCmqtPwQf10tf5MWiqA4Uh_UgftfFHzyEzp9V_eck7axGzSzR9wzxoChgcQAvD_BwE

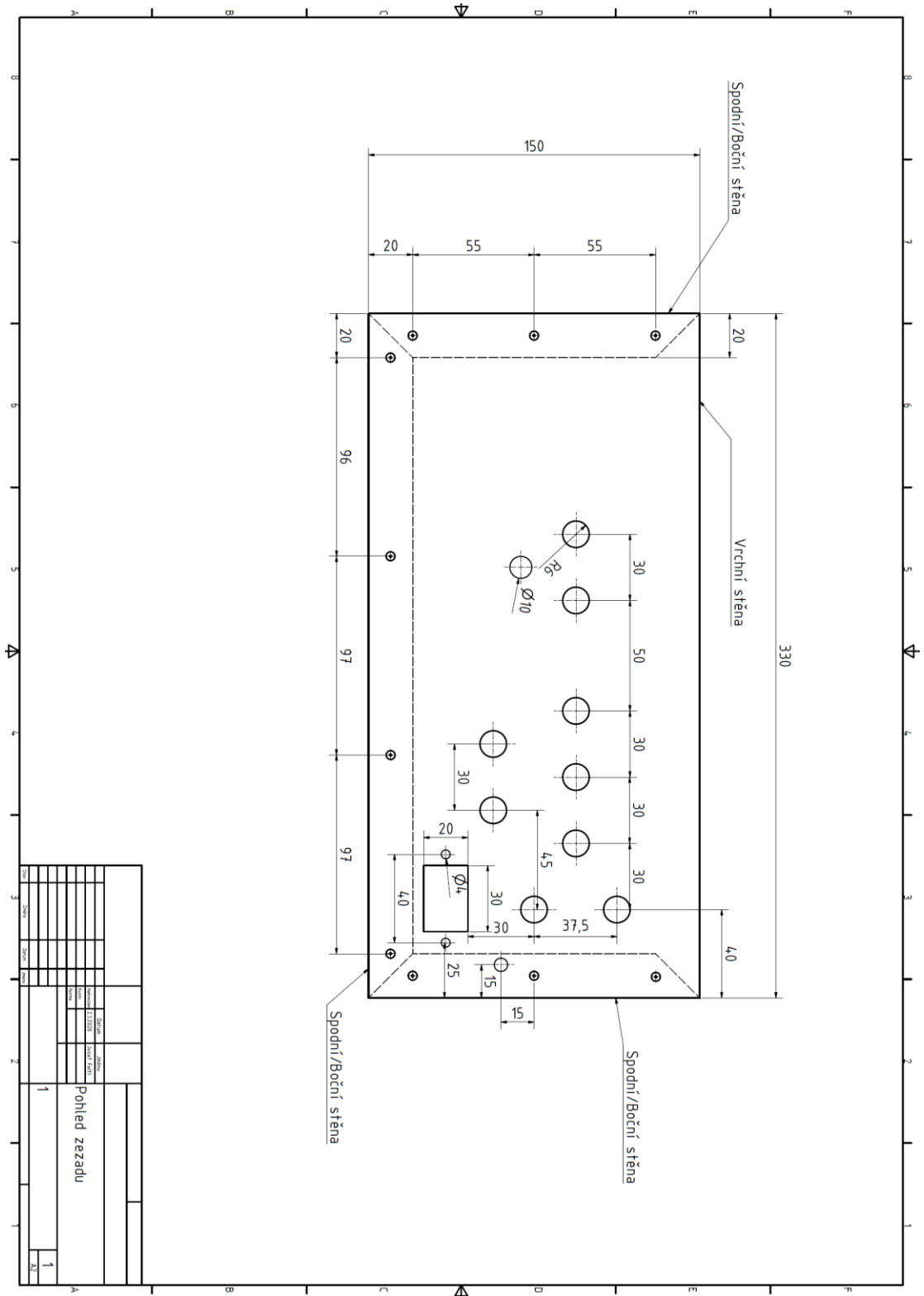
- [21] SCHUETZINGER. *Ø 4 mm Safety Programme: Safety threaded sockets* [Online katalogový list]. Schuetzinger, 2020, 1 s. [cit. 17.04.2020]. Dostupné z: https://www.tme.eu/Document/b8b558eccec6d3c6da221de9af1fea91/hseb_3125_1_ni_030418.pdf
- [22] SCHUETZINGER. *Ø 4 mm Safety Programme: High voltage safety test lead* [Online katalogový list]. Stuttgart: Schuetzinger, 2020 [cit. 15.05.2020]. Dostupné z: https://www.tme.eu/Document/f67f8ecf79b1b4aa1712b639e255aeb2/hspl_8568_030418.pdf
- [23] CONRAD ELECTRONIC ČESKÁ REPUBLIKA, S. R. *Regulovatelný autotransformátor s prstencovým jádrem: ESS 102 (1-fázový)* [Online katalogový list]. Conrad Electronic Česká republika, s. r. o., 2014, 2 s. [cit. 20.4.2020]. Dostupné z: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/cs/000516503ML01/000516503ML01.pdf>
- [24] REICHL, Jaroslav. Jističe. *Encyklopedie fyziky* [online]. 1. WebArchiv.cz, 2020, s. 1 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/329-jistice>
- [25] BEŠTA, M. Jističe. In: *Studijní materiály elektro: Pro učební obor elektrikář - slaboproud* [online]. Teplice: SŠ Stavební, 2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <http://www.mbest.cz/wp-content/uploads/2013/01/T1.4-JISTI%C4%8CE.pdf>
- [26] PALLA, Miloš. Jednofázový transformátor. *Elektrotechnika: Elektrické stroje* [online]. 1. Mohelnice: SPŠE Mohelnice, 2015, s. 1 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/754>
- [27] SANKAR, Paraselli Bheema. *Measurement of air breakdown voltage and electric field using standad sphere gap method* [online]. 1. Rourkela -769008, Indie: Department of Electrical Engineering National Institute of Technology, 2011 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/reader/53188100>
- [28] MTM ŽELEZÁŽSTVÍ S.R.O. Koaxiální kabel RG174U. In: MTM ŽELEZÁŽSTVÍ S.R.O. *MTM* [online]. BINARGON.cz [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.mtmshop.cz/koaxialni-kabel-rg174u-200m-2/>

- [29] FELTL, Josef. *Bezpečnostní přípravek pro vn. měření výkonových polovodičových prvků*. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, 2019, 18 s.. Vedoucí ročníkového projektu Ing. Martin Černík, Ph.D.
- [30] SELEC. *PID 528* [Online katalogový list]. Mumbai: 25.04.2020, 2019, 2 s. [cit. 21.4.2020]. Dostupné z: <http://www.selectautomation.net/downloads/PID528-temperature-controllers.pdf>
- [31] COSMO ELECTRONICS CORPORATION. *P1-1A15 P010* [Online katalogový list]. COSMO, c2005-2006, 1 s. [cit. 27.04.2020]. Dostupné z: <http://www.cosmo-ic.com>
- [32] BORTEL, Lukáš. *Poplachový zabezpečovací systém napájený akumulátorem*. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, 2017, 49 s. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/40967/bortel_2017_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Dolinay, Ph.D.
- [33] BREVE. *Transformátory pro PCB* [Online katalogový list]. Wrocław, Polsko: brevetrafo.cz, 2 s. [cit. 17.05.2020]. Dostupné z: https://www.tme.eu/Document/e827e8d2ba995cae7294f910a8c5d489/TEZ_cz.pdf
- [34] Pojistky. In: *Kvelektro* [online]. Praha: kvelektro [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.kvelektro.cz/sortiment/pojistky/>
- [35] GLEC, Zdeněk. Vypínání relé a stykačů jako zdroj přepětí. *Elektro* [online]. c2014-2020, (5), 2 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/vypinani-rele-a-stykacu-jako-zdroj-prepeti--11907>
- [36] Proudová zatížitelnost vodiče: Dovolené proudové zatížení vodiče jako funkce teplotního nárůstu. In: *Prago Board* [online]. Praha: PragoBoard s.r.o., 2012 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: http://pragoboard.cz/proudova_zatizitelnost
- [37] ČSN EN 60950-1. *Zařízení informační technologie - Bezpečnost - Část 1: Všeobecné požadavky*. Ed.2. Český normalizační institut, 2006.

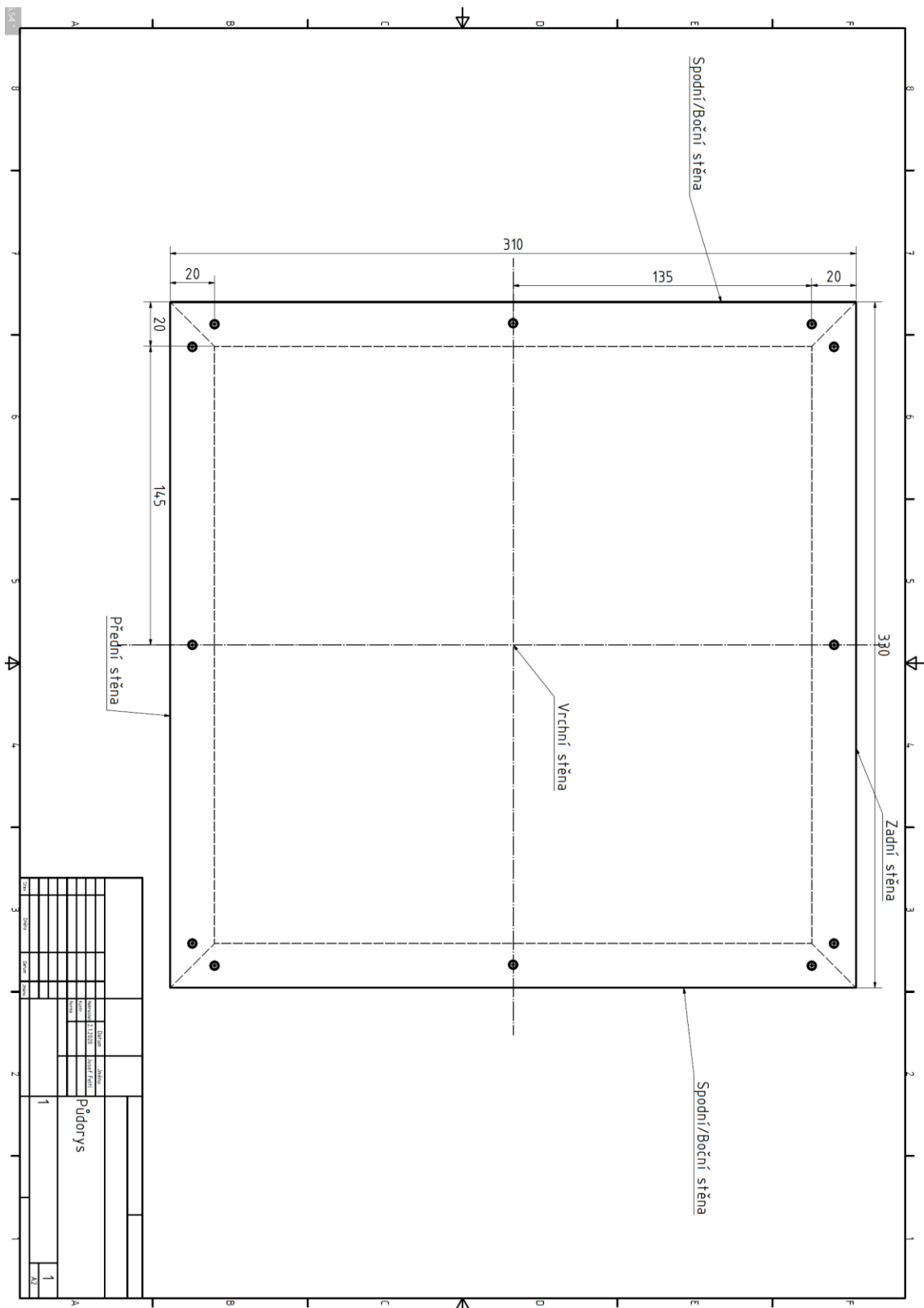
A Nárys



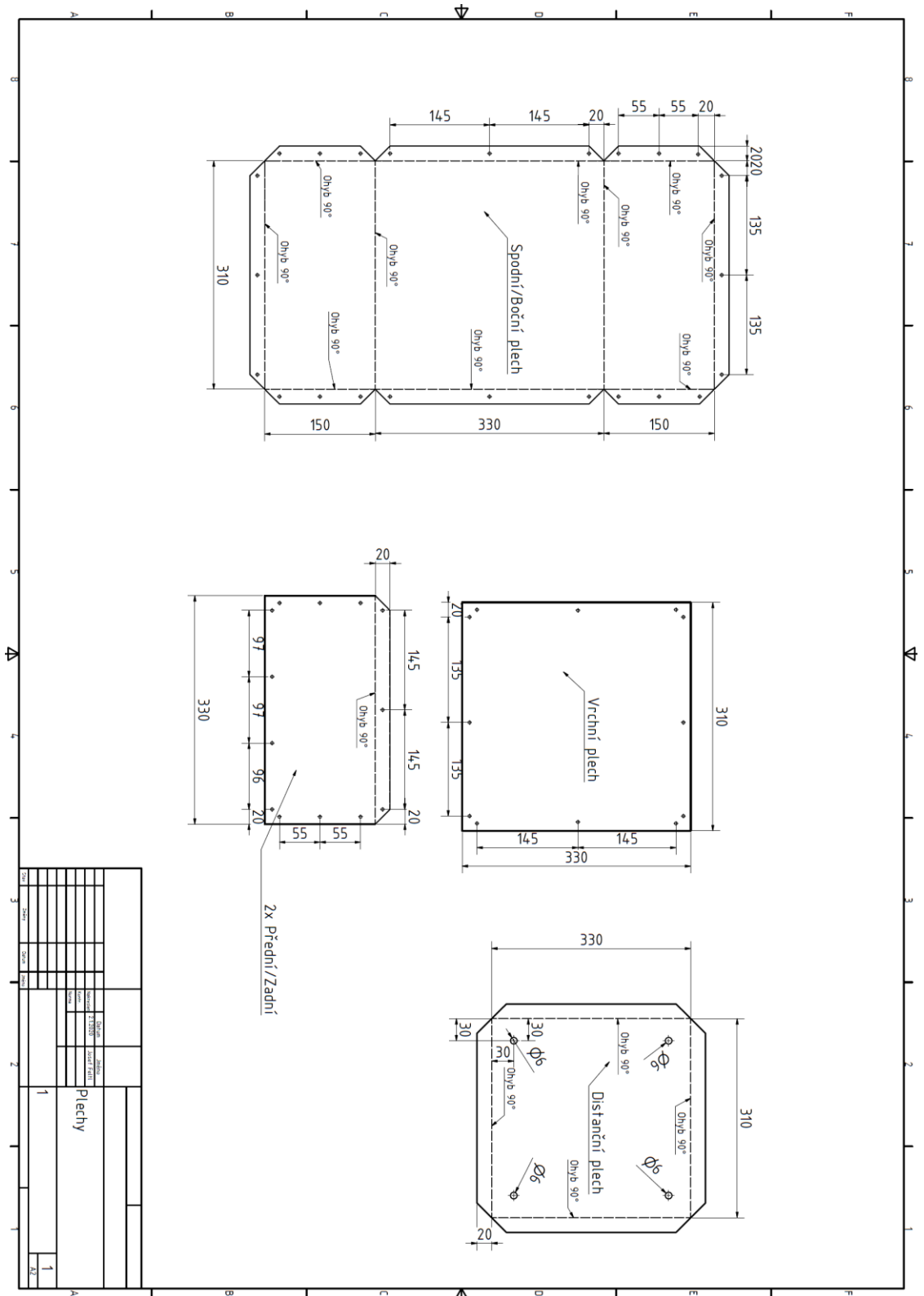
B Pohled zezadu



C Půdorys



D Plechy



E Propojovací schéma

