

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh zapojení analyzátoru sítě

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Simona MAREŠOVÁ
Osobní číslo:	E18B0150P
Studijní program:	B2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor:	Komerční elektrotechnika
Téma práce:	Návrh zapojení analyzátoru sítě
Zadávací katedra:	Katedra materiálů a technologií

Zásady pro vypracování

1. Prostudujte návod na použití analyzátoru sítě DMG 800 od firmy Lovato.
2. Specifikujte přepínač pro volbu rozsahů 2-10-30-60A.
3. Specifikujte měřicí transformátory proudu a navrhnete jejich zapojení.
4. Navrhnete vnitřní elektrické zapojení. Zpracujte technickou dokumentaci.
5. Zařízení realizujete a provedte kalibrační měření. Shrňte dosažené výsledky.

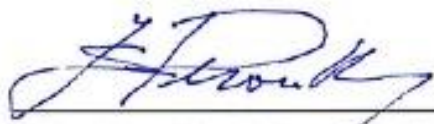
Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Řepa V.: Podnikové procesy, Procesní řízení a modelování
2. Baší J. a kol.: Modelování a optimalizace podnikových procesů
3. Svozilová A.: Zlepšování podnikových procesů
4. Elektronické informační zdroje

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.**
Katedra výkonové elektroniky a strojů

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2021**


Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

Dodatek k zadání Bakalářské práce

Fakulty elektrotechnické ZČU v Plzni v akademickém roce 2020/2021

V souvislosti s krizovým opatřením vyhlášeným dle krizového zákona a mimořádným opatřením vydaným podle zvláštního zákona, na základě kterých došlo k omezení osobní přítomnosti studentů v prostorách vysoké školy a s ohledem na nutnost využití infrastruktury FEL při vypracování kvalifikační práce v období tohoto omezení a v plné míře s přihlédnutím k realizovatelnosti práce po dobu trvání tohoto omezení se v intencích čl. 54 odst. 4 Studijního a zkušebního řádu Západočeské univerzity v Plzni upravuje zadání práce takto:

Body 1 - 4 zůstávají v plném rozsahu.

Bod 5. Zařízení realizujte a proveďte kalibrační měření. Shrňte dosažené výsledky.

je změněn na:

5. Shrňte dosažené výsledky.

V Plzni dne 31.03.2021



Vedoucí práce:

Beru na vědomí a souhlasím.

V Plzni dne 04.04.2021



Student: SIMONA MAREŠOVÁ

V Plzni dne

08.04.21



prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.

děkan Fakulty elektrotechnické
Západočeské univerzity v Plzni

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá použitím analyzátoru sítě DMG 800, specifikací vačkových spínačů pro rozsahy 2 A, 10 A, 30 A, 60 A a v neposlední řadě specifikací přístrojových transformátorů proudu. V práci je detailní popis instalace, aby tento rozvaděčový přístroj bylo možné použít pro laboratorní účely a běžná provozní měření.

Klíčová slova

Analyzátor sítě, činný výkon, digitální multimetr, jalový výkon, napětí, proud, proudový transformátor, vačkový přepínač.

Abstract

This bachelor thesis deals with the use of the DMG 800 industrial power analyzer, the specifications of cam switches for the ranges 2 A, 10 A, 30 A, 60 A and last but not least the specifications of instrument current transformers. There is a detailed description of the installation so that this switchboard device can be used for laboratory purposes and routine operational measurements.

Key words

Industrial power analyzer, active power, digital multimeter, reactive power, voltage, current, current transformer, cam switch.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....Marešová.....
podpis

V Plzni dne 25.5.2021

Simona Marešová

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 ANALYZÁTOR SÍTĚ LOVATO DMG 800	11
1.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY	12
1.1.1 Rozšiřující moduly řady EXP	12
1.2 PRINCIP MĚŘENÍ	14
1.2.1 Měření napětí	14
1.2.2 Měření proudu	15
1.2.3 Měření výkonů	17
2 VAČKOVÉ SPÍNAČE	19
2.1 PŘEPÍNAČ ROZSAHŮ	19
2.1.1 Vnitřní zapojení pater	20
2.1.2 Tabulka spínání kontaktů	21
2.2 VOLBA TYPU	22
2.3 VOLBA DODAVATELE	22
2.4 BY-PASS PŘEPÍNAČ	23
2.4.1 Vnitřní zapojení pater	24
2.4.2 Tabulka spínání kontaktů	26
2.4.3 Integrovaní by-passu do přepínače rozsahů	26
3 TRANSFORMÁTORY PROUDŮ	27
3.1 OBECNÝ PRINCIP	27
3.2 ZÁKLADNÍ PARAMETRY, VOLBA	28
3.2.1 Dimenzování proudových transformátorů	29
3.3 NÁVRH ZAPOJENÍ	30
3.3.1 Dimenzování vodičů	31
4 VNITŘNÍ ELEKTRICKÉ ZAPOJENÍ SKŘÍNĚ ROZVADĚČE	35
5 NÁVRH KALIBRACE	36
6 NÁVRH OTEPLOVACÍ ZKOUŠKY	37
ZÁVĚR	39
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	40
PŘÍLOHY	1

Úvod

Měření je proces zkoumání vlastností předmětů fyzikálními veličinami a jevy, který je zásadní pro veškeré vědy. Zasahuje do všech technických oborů a v dnešní době i do téměř všech každodenních činností. Stává se součástí našeho života a zcela bezproblémově se s ním můžeme setkat v každodenním životě, v obchodě, ve výrobě. Různorodost těchto potřeb odpovídá různorodosti měřicích přístrojů. Při měření jsme již v dnešní době schopni dosáhnout opravdu přesných hodnot měření, protože na měřicí přístroje jsou stále více kladeny nároky především na přesnost, rychlost a komfort při ovládání.

V současné době mají rozhodující význam v oblasti elektrického měření digitální multimetry. V závislosti na konstrukci a funkčnosti lze pomocí multimetru měřit stejnosměrné napětí a proudy, střídavé napětí a proudy, frekvence, kapacity, odpory nebo teploty. Pomocí zařízení lze také provést test činnosti tranzistorů, diod nebo elektrické kontinuity. Na rozdíl od mobilního multimetru je digitální multimetr navržen pro stacionární použití v laboratoři nebo průmyslu. Digitální multimetry proto už dávno nahradily ručkové analogové měřiče díky přesnějšímu a pestřejšímu poskytnutí mnohem více funkcí než jen měření proudu, napětí a odporu. Samozřejmostí je dnes i komunikace s počítačem nebo jiným nadřazeným systémem. První multimetr byl vynalezen British Post Office – inženýrem Donald Macadie. Ten byl totiž nespokojený, když s sebou musel nosit řadu samostatných přístrojů potřebných pro údržbu telekomunikačních okruhů [0].

V této bakalářské práci se budeme zabývat použitím analyzátoru sítě DMG 800, který jeho výrobce udává právě jako digitální multimetr, specifikací vačkových spínačů pro rozsahy 2 A, 10 A, 30 A, 60 A a v neposlední řadě specifikací přístrojových transformátorů proudu.

Seznam symbolů a zkratek

AC	Alternating Current – střídavý proud [V]
COM	Communication port – komunikační port
DC	Direct Current – stejnosměrný proud [V]
DIN	Deutsches Institut für Normung
L, L1, L2, L3	Označení fázových vodičů
LED	Light-emitting diode – Elektroluminiscenční dioda
LCD	Liquid Crystal Display – Displej z tekutých krystalů
MTP	Měřicí transformátor proudu
N	Označení středního pracovního vodiče
PE	Ochranný vodič
S1, S2	Proudové svorky
USB	Universal Serial Bus – Univerzální sériová sběrnice dat

1 Analyzátor sítě Lovato DMG 800

Analyzátor sítě DMG 800 od značky Lovato je navržen tak, aby kombinoval maximální možnou snadnost provozu společně s širokou škálou pokročilých funkcí. Kromě velmi přesného měření proudu, napětí a výkonů, nabízí také například měření kmitočtu naměřených napěťových hodnot, účinníku, asymetrie napětí a proudu, maximálního odběr výkonu a proudu, harmonické analýzy veličin včetně jejich zobrazení na displeji apod. Analyzátor zobrazuje spektrální složky až do 31. harmonické. Analyzátor je možné využít převážně v elektricky specializovaných laboratořích, ale i jinde. Je v pouzdru 96x96 mm [1,2] a díky jeho konstrukci ho můžeme snadno nainstalovat do jakýchkoliv panelů i bez použití různých nástrojů. Analyzátor má rozšířenou schopnost zadního panelu, kde je možné namontovat zásuvné moduly řady EXP. Díky jeho grafickému LCD displeji s 128 x 80 pixely [1,2] má toto zařízení uživatelsky velmi snadné a příjemné rozhraní. Analyzátor umí i komunikovat s počítačem přes USB rozhraní, čímž se jeho funkčnost opět posouvá výše. Další, co je důležité vyzdvihnout, jsou možnosti napájecího napětí, díky kterým můžeme napájet analyzátor přímo ze sítě.



Obr. 1.1 Analyzátor sítě DMG 800 (převzato z [3])

Tlačítko MENU slouží k otevření nebo ukončení nabídky vizualizace, tlačítka s šipkou nahoru nebo dolů se používají k posouvání stránek mezi různými možnostmi

a pro úpravu nastavení. Symbol šipek v kruhu se používá k potvrzení volby a přepínání mezi režimy vizualizace. Po zapnutí zařízení se jako první ukáže logo Lovato electric následované stránkou s napětím. Před samotným použitím je třeba multimetr konfigurovat, tzn. nastavit v nastavení hodnotu primárního proudu proudového transformátoru, sekundární proud (1 A nebo 5 A) a vybrat mezi 3f, 2f nebo 1f systémem. Zařízení se po této konfiguraci restartuje a následně je umožněno nastavovat další parametry, které budou potřeba.

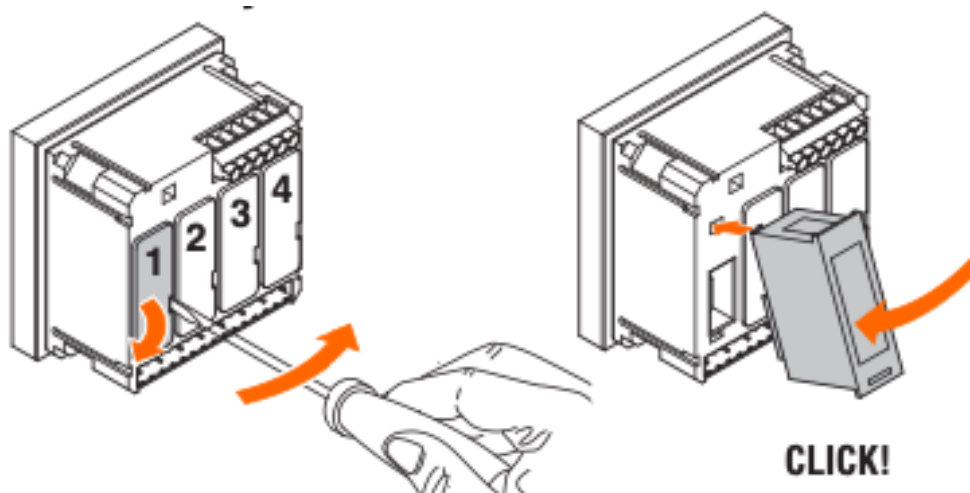
1.1 Základní parametry

Minimální hodnota napájecího napětí u analyzátoru sítě DMG 800 musí být pro AC 100 V a pro DC 110 V. Maximální napětí, které je možné připojit na tento analyzátor sítě je pro AC 440 V a pro DC 250 V. Díky těmto parametrům jej tedy lze, jak už bylo uvedeno v předchozí kapitole, napájet přímo ze sítě. Jmenovitý vstupní proud při použití externího proudového transformátoru je 5 A nebo 1 A. Měřicí rozsah kmitočtu by měl být od 45 Hz do 66 Hz. Přesnost měření napětí nebo proudu je $\pm 0,2$ % a pro výkon a účinník $\pm 0,5$ %. Pokud bychom se bavili o přesnosti měření kmitočtu, je to až $\pm 0,05$ % [1].

1.1.1 Rozšiřující moduly řady EXP

K našemu zařízení lze v zadní části připojit řadu rozšíření [4]. Pro ukázkou jsou zde představeny rozšiřující moduly řady EXP. Jsou navrženy a vyvinuty pro zlepšení funkcí konektivity, I/O, paměti a analýzy základního nástroje, ke kterému jsou připojeny – v tomto případě k analyzátoru sítě DMG 800. Do našeho zařízení bude nainstalován rozšiřující modul z této řady pro zprostředkování komunikace s počítačem – modul EXP10 10.

EXP10 10 implementuje opticky izolované sériové rozhraní USB a je připojen jednoduchým zasunutím do rozšiřujícího slotu analyzátoru (viz obrázek 1.2 níže).



Obr. 1.2 Připevnění rozšiřujících modulů (převzato z [4])

Při zapnutí přístroj automaticky rozpozná modul. Kompaktní velikost modulu je 64x38x22 mm [5]. Modul se napájí přímo z analyzátoru. Lze jej připojit i bez použití nářadí způsobem plug - in na jednom z rozšiřujících slotů zařízení. Na čelní panel skříně bude nainstalována redukce, která bude umožňovat přechod z rozhraní USB-B na rozhraní USB-A. Když se potom modul poprvé připojí k počítači, budou muset být nainstalovány jeho ovladače [5], aby bylo možné správně používat rozhraní USB jako virtuální port COM.



Obr. 1.3 Rozšiřující model EXP10 10 (převzato z [5])

1.2 Princip měření

Jak již bylo zmíněno, analyzátozem sítě můžeme samozřejmě měřit napětí, proud i výkony, a právě na tato měření se podrobněji podíváme v této kapitole.

1.2.1 Měření napětí

Elektrické napětí měříme voltmetrem připojeným paralelně ke spotřebiči nebo ke dvěma bodům A a B, mezi kterými měříme rozdíl potenciálů pomocí vztahu (1.1).

$$U_{AB} = \varphi_B - \varphi_A [\text{V}], \quad (1.1)$$

kde:

φ_A ... je elektrický potenciál v bodě A [V]

φ_B ... je elektrický potenciál v bodě B [V].

Elektrické napětí mezi těmito body A a B je dáno prací A. Při přenosu náboje Q z bodu A do bodu B vykoná elektrické pole tuto práci. Vypočítáme ho pomocí vztahu (1.2)

$$U = \frac{A}{Q} [\text{V}], \quad (1.1)$$

kde:

U ... je elektrické napětí [V]

A ... je práce elektrického poje [J]

Q ... je elektrický náboj [C].

1.2.2 Měření proudu

Přesná definice elektrického proudu zní: Jeden ampér je proud, který při stálém průtoku dvěma rovnoběžnými přímkovými velmi dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu, umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti 1 metr od sebe, vyvolá mezi vodiči sílu $2 \cdot 10^{-7}$ newtonů na 1 metr délky [6]. Elektrický proud je tedy zjednodušeně řečeno počet elektrických nábojů, které projdou vodičem za určitý čas.

Podle časového průběhu můžeme rozdělit proud na střídavý, stejnosměrný, průměrný, okamžitý, stacionární a nestacionární. Velikost a směr střídavého proudu (z anglického alternating current nebo také AC) se mění s určitou periodou a jeho střední hodnota je nulová. Tento střídavý proud má typicky harmonický průběh a vypočítá se pomocí vztahu (1.3) [6]

$$i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0 + \varphi), \quad (1.2)$$

kde:

I_m ... je amplituda střídavého proudu

ω ... je úhlová frekvence

φ_0 ... je počáteční fáze střídavého napětí

φ ... je fázový posun mezi proudem a napětím.

Stejnoseměrný proud (z anglického direct current nebo také DC), jak už z názvu vyplývá, protéká proud pořád stejným směrem. Domluvený směr tohoto proudu je od kladného pólu k zápornému. Jeho velikost se ale na rozdíl od směru změnit může.

Pokud průřezem vodiče prochází elektrický náboj rovnoměrně, vypočítáme jeho velikost pomocí rovnice (1.4)

$$I = \frac{Q}{t} [\text{A}], \quad (1.3)$$

kde:

Q ... je elektrický náboj [C]

t ... je doba, za kterou projde Q průřezem vodiče [s].

Okamžitý elektrický proud je definován jako množství náboje, které projde za nekonečně krátký čas průřezem vodiče a vypočítá se vztahem (1.5) [6]

$$i(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\partial Q}{\partial t}. \quad (1.4)$$

Pokud je elektrický proud konstantní, tzn. že má velikost i směr toku v čase se nemění, označujeme tento proud jako stacionární a je jím generováno stacionární magnetické pole. Opakem tohoto proudu je nestacionární proud, tzn. v čase mění svou velikost nebo směr proudu.

Analyzátor sítě DMG 800 měří efektivní hodnotu proudu ve vodičích fáze. Pomocí našeho analyzátoru lze nastavit jmenovitý proud na 1 A nebo 5 A [1].

1.2.3 Měření výkonů

Množství práce vykonané za jednotku času [7], tak zní definice výkonu. Můžeme ho podle této definice vypočítat jako vztah (1.6)

$$P = \frac{W}{t}, \quad (1.5)$$

kde:

W ... je celková práce [J]

t ... je doba, za kterou se vykoná práce [s].

Pokud by se jednalo o elektrický výkon, jde také o elektrickou práci, což znamená, že pokud se přenese za určitý čas náboj mezi 2 místy s napětím u, je tato vykonaná práce rovna $dW = u \, dq$ a okamžitá hodnota výkonu je tedy derivace práce podle času. Tuto rovnici derivace ale můžeme upravit podle výše zmíněného vztahu (1.7) na

$$p = \frac{dW}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = u \cdot i, \quad (1.6)$$

tzn. okamžitý výkon je roven součinu okamžitého napětí a proudu. Pokud výsledek bude kladný, jedná se o spotřebu energie ve spotřebiči. Pokud bude hodnota záporná, jedná se o dodávání energie ze zdroje.

U stejnosměrného proudu je napětí i proud konstantní, můžeme tedy napsat vztah (1.8)

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R. \quad (1.7)$$

Přístroj tedy vynásobí změřené napětí hodnotou změřeného protékajícího proudu, což znamená, že musí měřit obě veličiny naráz. V našem případě máme v obvodu ovšem střídavý proud, což znamená, že obě veličiny (proud i napětí) jsou závislé na

čase. Jejich průběhy jsou většinou periodické. U takovýchto průběhů můžeme definovat střední hodnotu výkonu jako vztah (1.9) [7]

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt, \quad (1.8)$$

kde je vyjadřován výkon přenášející se od zdroje ke spotřebiči, kde se mění na jiný druh energie. Proto ho i nazýváme výkonem činným. Pokud se jedná o sinusový průběh, můžeme střední hodnotu vypočítat pomocí vztahu (1.10)

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi, \quad (1.9)$$

kde:

U ... je elektrické napětí [V]

I ... je elektrický proud [A]

$\cos\varphi$... je účinník [-].

V rovnici oproti stejnosměrnému proudu přibyl tzv. účinník. Ten vyjadřuje závislost činného výkonu na fázovém posuvu proudu oproti napětí. Pokud by fázový posuv byl nulový, znamenalo by to, že je zátěž čistě odporová a účinník by se rovnal 1, takže by byl výkon pouhým součinem efektivního napětí a proudu. Když tomu tak ale není a fázový posuv není nulový, znamená to, že v zátěži můžeme najít kapacitní nebo induktivní prvky a účinník by byl menší než 1. To by znamenalo, že samotný výkon by vycházel o něco nižší než v předchozím případě. Mohla by nastat ještě třetí varianta a to taková, že by se fázový posuv rovnal $\pm \frac{\pi}{2}$. V tomto případě by zátěž byla buď čistě induktivní ($+\frac{\pi}{2}$), nebo čistě kapacitní ($-\frac{\pi}{2}$) a účinník by se rovnal nule, a tudíž by se nule rovnal i celý výkon. Takže by se celý výkon přenášel mezi spotřebičem a zdrojem a žádná energie by se nespotřebovávala.

Část elektrického výkonu, která se vyměňuje mezi zdrojem a spotřebičem tam a zpět, se označuje jako jalový výkon. Tato energie vytváří v první části periody v kondenzátoru elektrické pole (v cívce magnetické pole), které v druhé části této periody zaniká a stejnou energii vrátí do obvodu. Tuhle velikost můžeme vypočítat jako vztah (1.11)

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi. \quad (1.10)$$

Činný výkon je tedy obecně řečeno mírou skutečné práce a jalový výkon je mírou výměnné energie mezi zdrojem a spotřebiči.

2 Vačkové spínače

Tato kapitola se zabývá problematikou vačkových spínačů. Výběrem správného dodavatele a vnitřním zapojením pater.

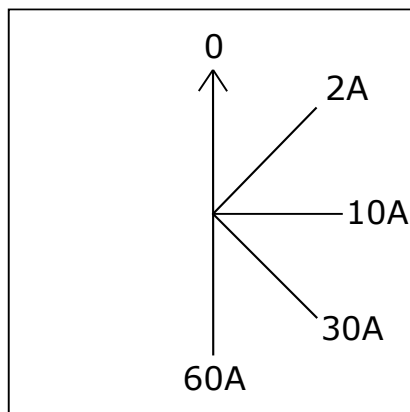


Obr. 2.1 Ilustrační obrázek vačkového spínače (převzato z [8]).

2.1 Přepínač rozsahů

Abychom mohli přepínat mezi jednotlivými rozsahy, budeme k tomu potřebovat vačkový přepínač rozsahů. Vačkové spínače slouží obecně jako spínače nebo přepínače silových obvodů a jsou konstruovány tak, že v každém patře jsou dva na sobě nezávislé spínací obvody [9]. Otáčením hřídele se kontakty otevírají nebo zavírají vačkami. Často na hřídeli najdeme usazeno více vaček, které současně spínají několik párů kontaktů.

Pro potřeby této práce byly vybrány dva vhodné spínače – jeden od firmy SEZ, druhý od firmy Obzor. Naším požadavkem bylo mít 5 funkčních poloh a aby tyto polohy byly označeny jako 0, 2 A, 10 A, 30 A a 60 A viz obrázek 2.1. Což splňují oba výrobci. Jak firma Obzor, tak firma SEZ nabízejí mnohem širší možnosti.

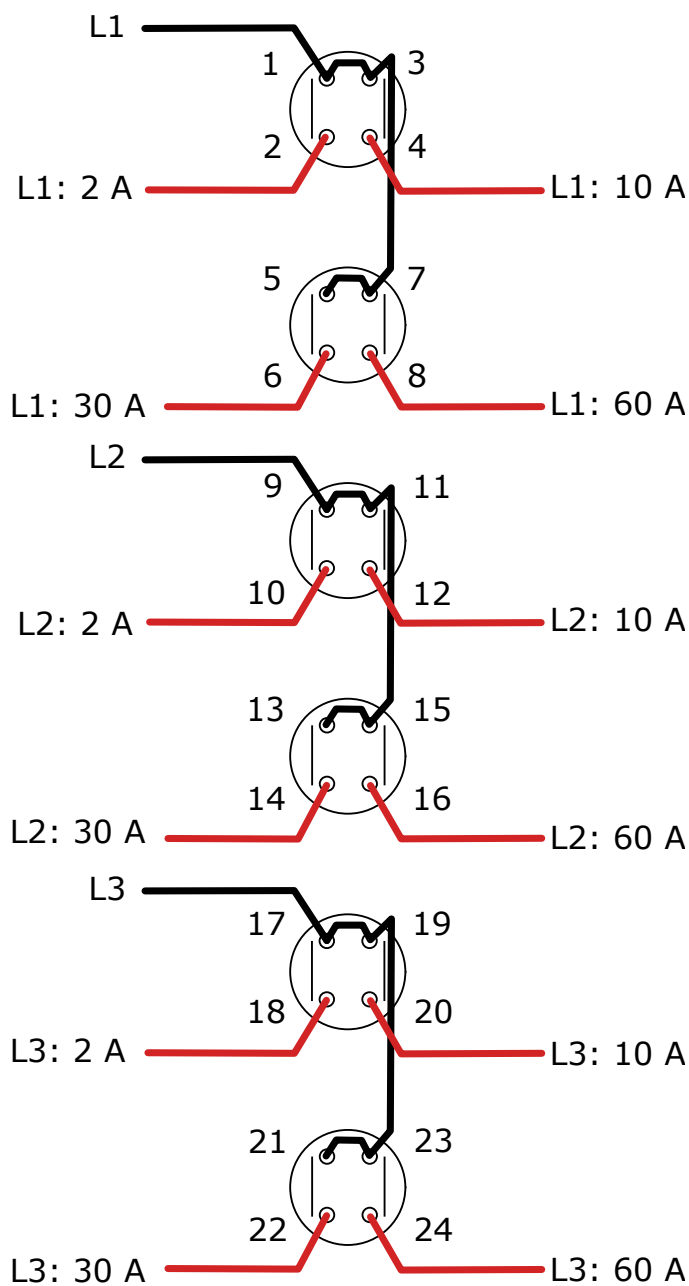


Obr. 2.1 Čelní strana vačkového přepínače

Na přepínači pak lze nalézt 24 připojovacích svorek, které tvoří celkem 6 pater přepínače a jejich zapojení je detailněji popsáno v následujících kapitolách.

2.1.1 Vnitřní zapojení pater

Červená barva značí výstupní vodiče rozsahů 2 A, 10 A, 30 A a 60 A, které jdou dále do transformátorů. Každý z těchto výstupů je označen i fází, která je tam přivedena. Černou barvou jsou znázorněny jednotlivé fáze L1, L2 a L3. Ve schématu jsou znázorněné měděné propojky, také černou barvou, které slouží jako propojovací část mezi jednotlivými kontakty i patry. Kdybychom tam tuto měděnou propojku nedali, museli bychom jednotlivé fáze vést jednotlivě ke kontaktům, například v první a druhém patře by to byly vstupní svorky 3,5,7.



Obr. 2.2 Vnitřní zapojení přepínače rozsahů

2.1.2 Tabulka spínání kontaktů

Otáčením přepínače se spínají vždy kontakty vedle sebe. Pokud jsou sepnuty kontakty 1-2, máme rozsah 2 A, pokud kontakty 3-4, máme rozsah 10 A, pro rozsah 30 A přepneme do další, čtvrté, polohy a sepnou se kontakty 5-6, obdobně je to i s posledními kontakty na tomto patře 7-8, kdy dostaneme rozsah 60 A. Zapojení pro jednu fázi zabírá vždy 2 patra přepínače. Pro naše použití tedy potřebujeme pater 6, protože máme 3 fáze. Následující tabulka (2.1) značí vnitřní zapojení přepínače rozsahů tak, jak jsme si navolili u výrobce.

Tab. 2.1 Spínání přepínače rozsahů

značení	0	2 A	10 A	30 A	60 A
1–2		X			
3–4			X		
5–6				X	
7–8					X
9–10		X			
11–12			X		
13–14				X	
15–16					X
17–18		X			
19–20			X		
21–22				X	
23–24					X

2.2 Volba typu

Pro naše účely byly zvolené vačkové spínače podle následujících požadavků:

Jmenovitý proud 63 A, černá středně velká čelní deska, černá ovládací šipka středně velké velikosti, spínací úhel 45°, šroubové uchycení a výchozí poloha šipky směřující na 12. hodinu.

2.3 Volba dodavatele

Podle našich požadavků uvedených v předchozí kapitole bylo vybráno ze dvou dodavatelů. Prvním z nich je česká firma Obzor ze Zlína, která nabízí vačkový přepínač s označením VSN63 – 2403 - A8 – V – PN – NSC [8]. Druhou firmou je SEZ Krompachy ze Slovenska se svým typem přepínače S – 63 – JD [11]. Oba dodavatelé nabízejí přepínače pro jmenovitý trvalý proud 63 A a maximální jmenovité napětí 400 V. Zároveň oba udávají izolační napětí 690 V. Jak u firmy Obzor, tak u firmy SEZ se dají na objednávku vytvořit přepínače o 24 kontaktech (šesti patrech) se spínacím úhlem 45° [10, 11]. Dá se říct, že proudově to bude téměř stejné. Co se ale týká rozměrů, nacházíme rozlišení, pro které byla vypracována schémata v příloze A (velikosti jsou uvedené v milimetrech).

Ze schémat je hned na první pohled vidět, že vačkový přepínač od firmy Obzor je menší, tudíž s ním bude i lepší manipulace, co se usazení do oceloplechové skříně týče. Podrobně byla zkoumána i o samotná montáž a volba příslušenství. Při porovnávání variability čelních desek to bylo víceméně stejné. Obě firmy nabízejí mnoho různých variant řešení.

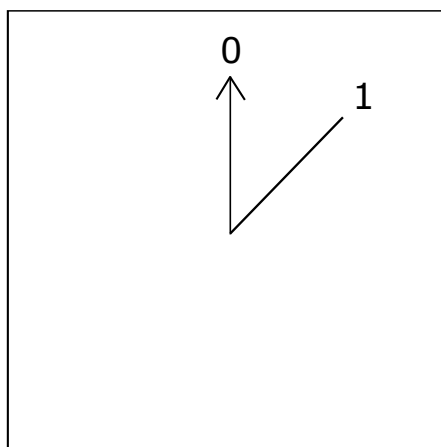
2.4 By-pass přepínač

Aby bylo možné přepínat rozsahy bez skokového přerušení měřeného obvodu a bez jiskření v přepínači, bylo třeba k obvodu připojit ještě jeden vačkový přepínač, tzv. by-pass přepínač. Ten slouží k přemostění transformátorů a přepínače rozsahů. Kdybychom to chtěli řešit bez přidaného by-pass přepínače, znamenalo by to odpojení měřeného obvodu pokaždé před změnou rozsahu, což není uživatelsky příliš vhodné.



Obr. 2.3 Vačkový přepínač "By-pass" (převzato z [8])

By-pass přepínač od firmy Obzor lze nastavit do 2 funkčních poloh označených jako 0 a 1 (viz obrázek 2.4). Nula je v našem případě výchozí pozice. Pokud chceme přepnout na vyšší rozsah, musíme by-pass přepínač otočit do druhé funkční polohy, do pozice 1. Při přepnutí je proud veden přes sepnutý by-pass. Když už máme by-pass v pozici 1 a přepnuto na vyšší rozsah, vrátíme ho zpět do pozice 0.

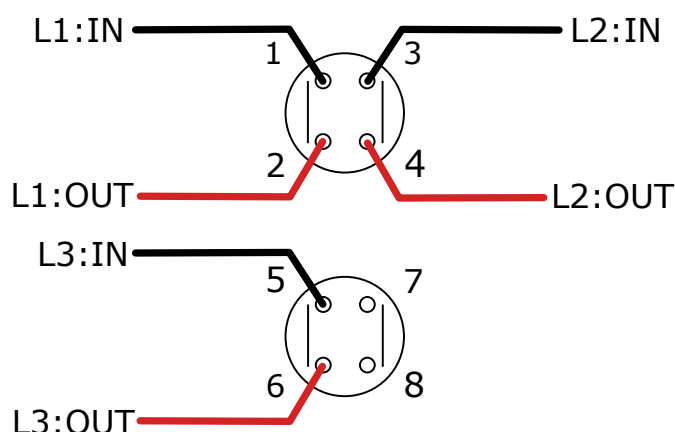


Obr. 2.4 Čelní strana By-pass přepínače

Budou se spínat 3 fáze, tudíž nám bude stačit 6 kontaktů. Bude použit dvoupatrový přepínač, protože jedna dvojice kontaktů stačí pro jednu fázi, a ještě nám dva kontakty budou přebývat. Vzhledem k tomu, že naše požadavky opět čítaly jmenovitý proud 63 A, spínací úhel 45°, šroubové uchycení i výchozí polohu šipky směřující na 12. hodinu a jediným rozdílem byla žlutá středně velká čelní deska a ovládací šipka střední velikosti v rudé barvě, bude v tomto zapojení vybrán vačkový přepínač od stejné firmy. Firma Obzor pro tyto konkrétní požadavky nabízí přepínač s označením VSN63 – 1103 - A8 - V - PNZ - NSR [8].

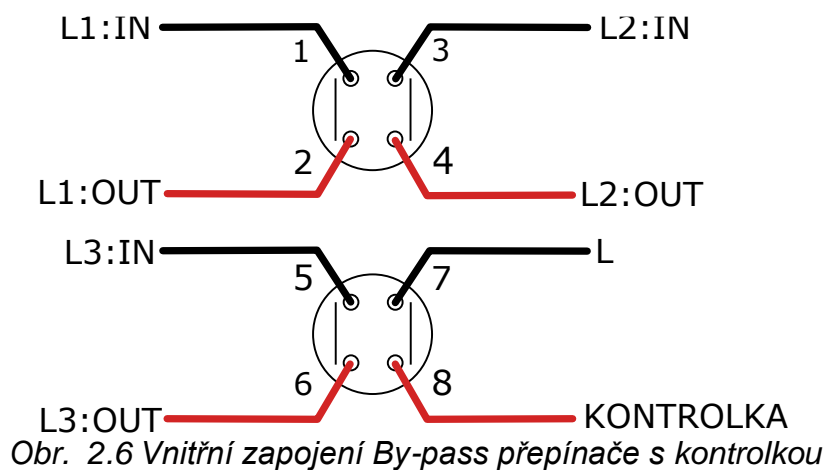
2.4.1 Vnitřní zapojení pater

By-pass přepínače bude připojen k již stávajícímu přepínači paralelně. Na následujícím obrázku (Obr. 2.5) je vnitřní schéma zapojení by-passu.



Obr. 2.5 Vnitřní zapojení By-pass přepínače

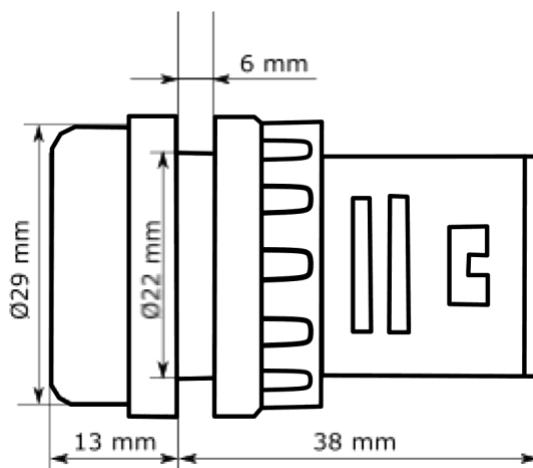
Pro lepší přehlednost, zda máme opravdu by-pass sepnutý, bylo navrženo následující zapojení. Kontrolka se rozsvítí pouze v případě, máme-li by-pass v poloze 1 (sepnuto), tudíž by to mohlo být zase o krok blíže k lepší uživatelnosti.



Do vstupní svorky 7 bude přivedena fáze L přímo ze sítě a na výstupní svorku 8 připojíme samotnou kontrolku, kterou uzemníme. Na zapojení kontrolky použijeme LED kontrolku zelené barvy 29 mm AD16-22DS s napětím 230 V. Maximální proud, který tato kontrolka zvládne je 20 mA [12]. Na kontrolku budeme muset vyříznout do čelního panelu další speciální otvor, a to o velikosti 22 mm [12], do kterého se kontrolka vejde.



Obr. 2.7 Signalizační LED kontrolka 230 V (převzato z [12])



Obr. 2.8 Rozměrové schéma signalizační LED kontrolky 230 V

2.4.2 Tabulka spínání kontaktů

V této podkapitole je tabulka, která značí vnitřní zapojení přepínače rozsahů tak, jak jsme si jej potom i navolili u výrobce.

Tab. 2.II Schéma By-pass přepínače pro rozsahy

značení	0	1
1–2		X
3–4		X
5–6		X
7–8		X

2.4.3 Integrovaní by-passu do přepínače rozsahů

V této části je navržen pouze jeden vačkový přepínač, který bude mít bys-pass integrován v sobě. Tento přepínač bude mít speciální 3 kontakty, které budou spínat hned při počátečním pohybu vačky, než se rozpojí kontakty vedoucí na MTP, a opět se rozeznou před dokončením pohybu vačky, kdy jsou již spojeny další kontakty následujícího rozsahu. Bude tím zamezeno přerušení proudového obvodu a ušetřeno místo v oceloplechové skříni díky zjednodušení zapojení. Vnitřní zapojení samotného přepínače znázorňuje následující tabulka (2.III). Například u firmy Obzor lze takto speciální přepínač rozsahů objednat.

Tab. 2.III Spínání přepínače rozsahů

značení	0	2 A	10 A	30 A	60 A
1-2		X—X			
3-4			X—X—X		
5-6				X—X—X	
7-8					X—X
9-10		X—X			
11-12			X—X—X		
13-14				X—X—X	
15-16					X—X
17-18		X—X			
19-20			X—X—X		
21-22				X—X—X	
23-24					X—X

3 Transformátory proudů

3.1 Obecný princip

Proudový transformátor je elektrický netočivý měřicí přístroj, který mění velkou hodnotu vstupního proudu na malou hodnotu sekundárního proudu. Používáme ho převážně ke zjištění nebo převodu velkých proudů. Primární vinutí N_1 je obvykle vytvořeno jedním závitem vodiče a přivádí proud i_1 . Sekundární vinutí N_2 , které je navinuté na feromagnetickém jádře je tvořeno více závity a je připojeno na proudové vstupy měřicího přístroje, které vyhodnocuje velikost proudu. Princip je takový, že po připojení napětí k N_1 začne procházet proud i_1 , který vybudí proměnné magnetické pole a uzavře magnetický tok ϕ . Protože jde o proměnný magnetický tok, začne se na N_2 indukovat proud i_2 .

Při použití proudového transformátoru k měření je třeba zajistit, aby výstupní svorky nebyly odpojeny od přístroje, protože by vlivem magnetické indukce B došlo ke vzniku vysokonapěťových špiček, které nejenom že by zničily toto vinutí, ale mohou být i životu nebezpečné. Takže před výměnou měřicích přístrojů musíme zkratovat výstupní svorky nebo je připojit.

3.2 Základní parametry, volba

Do našeho zařízení byly zvoleny 3 přístrojové transformátory proudu nízkého napětí ASK 41.4 od firmy MBS Sulzbach Messwandler GmbH. Tyto transformátory jsou v pouzdře, které je z vysoce nehořlavého a kvalitního plastu [13]. Činnost proudových transformátorů MBS je založena na principu elektromagnetické indukce. Kvůli jejich způsobu měření jsou použitelné pouze v sítích s AC. Byly umístěny do zadní části oceloplechové skříně na DIN lištu. Do tohoto typu transformátoru lze podle výrobce provléknout kabel až do průměru 32 mm [13]. Další rozměrové vlastnosti lze najít v příloze B.

Použité měřicí proudové transformátory spadají do třídy 1 [13]. Proudové transformátory neobsahují primární vinutí, protože se v podstatě primární vinutí vytvoří průchodem primárního vodiče skrz proudové transformátory. Mezi provozní a technické parametry patří například provozní kmitočet od 50 do 60 Hz, primární proud 60 A, výkon 1,5 VA, sekundární výstupní proud 5 A, odolnost proti přetížení 120 % jmenovitého primárního proudu, jmenovité izolační napětí 720 V, stupeň krytí IP20 nebo provozní teplota od -5 do +50 °C. Transformátory splňují požadavky ČSN EN 61869-1, ČSN EN 61869-2, zahraničních norem a mezinárodních doporučení IEC 61869-1, IEC 61869-2. [13].



Obr. 3.1 Proudový transformátor (převzato z [13])

Proudové transformátory ASK jsou násuvné transformátory s otvorem na pásovinu, popř. na kruhové vodiče. Na obrázku, který je v příloze C, je vyobrazen štítek i s popisy, který se nachází na transformátoru a na první pohled určuje jeho vlastnosti.

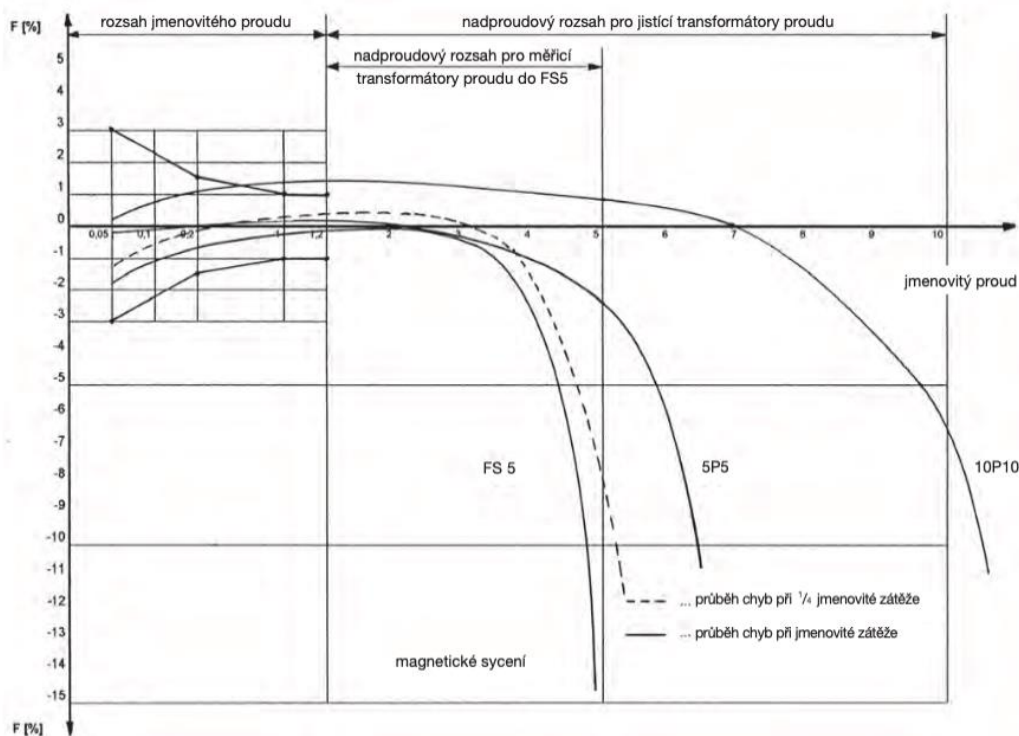
3.2.1 Dimenzování proudových transformátorů

Používáme ASK násuvný transformátor s vhodně zvoleným vyšším primárním jmenovitým proudem. Jednou nebo vícekrát se jednozávitovým transformátorem proudu provleče primární vodič. Následující tabulka (3.I) znázorňuje výpočet průvleků na základě primárního jmenovitého proudu.

Tab. 3.I Počet průvleků na základě proudů

Primární jmenovitý proud [A]	Počet průvleků	Pro měření prim. jm. proudu [A]
60	30	2
	6	10
	2	30
	1	60

Obrázek 3.2 znázorňuje křivky chyb, přičemž transformátory ASK 41.4 mají nadproudové číslo FS 5.



Obr. 3.2 Křivky chyb nízkonapěťových transformátorů proudu (převzato z [13])

U našeho zařízení byly zvolené menší počty průvleků, které jsou rozepsány v následující kapitole, především kvůli ušetření místa a materiálu. A podle obrázku (obr. 3.2) je poznat, že tím dojde i ke snížení chybovosti. Je třeba brát ohled i na to, že je nutno při měření přepočítávat naměřené hodnoty proudu konstantami, abychom získali skutečné hodnoty. Tyto konstanty se vypočítají pomocí vztahu (3.1).

$$k = \frac{I_p}{\frac{N}{I_s}}, \quad (3.1)$$

kde:

I_p ... je primární proud transformátoru (A)

N ... je počet průvleků vodiče (-)

I_s ... je sekundární proud transformátoru (A).

Pro příklad jsou do vztahu (3.1) dosazeny hodnoty pro rozsah 60 A

$$k = \frac{60}{\frac{1}{5}}, \quad (3.2)$$

kde dostaneme konstantu $k = 12$. Obdobným způsobem dostaneme konstanty i pro další rozsahy. Pro 30 A je $k = 12$, pro 10 A se konstanta $k = 3$ a pro poslední rozsah 2 A je konstanta $k = 0,5$.

Těmito konstantami potom násobíme hodnoty, které naměříme a získáme tím skutečné hodnoty proudu.

3.3 Návrh zapojení

Maximální proudový rozsah primárního proudu transformátoru je 60 A, což nám určuje i maximální proudový rozsah všech ostatních komponentů. Další zvolené rozsahy jsou 30 A, 10 A a 2 A. Ty vytvoříme tak, že jádrem proudového transformátoru

vedeme vodič o určitém počtu závitů a s našimi úpravami, které byly již vysvětleny v předchozí kapitole.

Tab. 3.II Tabulka rozsahů, průvleků a průřezů vodičů zařízení

Rozsah [A]	Průřez vodiče [mm ²]	Počet závitů
60	10	1
30	4	1
10	1,5	4
2	0,75	24

Tabulka ukazuje, že při rozsahu 60 A musí být pouze jeden závit vodičem s průřezem 10 mm². Při 30 A je sériově připojen pouze jeden závit, tentokrát ale vodičem s průřezem 4 mm². Při rozsahu 10 A jsou sériově připojeny další 4 závitů vodičem o průměru 1,5 mm². Nejmenší – 2A rozsah má sériově připojeno dalších 24 závitů s vodičem o průřezu 0,75 mm². Takovýmto způsobem navineme všechny tři fáze. Kvůli zachování přehlednosti je zde uvedena pouze jedna fáze.

3.3.1 Dimenzování vodičů

Vodiče a komponenty, které byly použity do návrhu zařízení bylo nutné nejdříve dimenzovat. Pro dimenzování vodičů a případnou izolaci je hned několik požadavků – hledisek, které budou detailněji rozepsány v následujících podkapitolách. Většina požadavků je technického charakteru, které jsou dány normami, vycházejícími z teoretických výpočtů.

3.3.1.1 Kontrola přípustného oteplení

Kontrola přípustného oteplení probíhá tak, že se stanoví maximální provozní teplota a na základě ní i maximální dovolený proud [14], kterým lze vodiče zatěžovat, aniž by u zařízení docházelo ke zhoršení mechanických vlastností. Provozní teplotu ale ovlivňuje řada faktorů. Jedním z těchto faktorů je například okolí vodiče. Tento maximální dovolený proud se následně porovnává s přípustnou hodnotou, kterou zjistíme vynásobením výrobcem udávané jmenovité proudové zatíženosti a součinu koeficientů uvedených v normě [15].

3.3.1.2 Kontrola Jouleových ztrát

Pokud prochází vodičem proud, dochází ke vzniku Jouleových ztrát, které se projevují zahříváním vodiče. Každý vodič musí proto být dimenzován tak, aby při neustálém proudění jmenovitého proudu nedocházelo k velkému přehřívání vodiče nebo jeho izolace.

3.3.1.3 Kontrola tepelných účinků zkratových proudů

Kontrola tepelných účinků zkratových proudů se provádí, protože se uvažuje, že na zařízení může dojít ke zkratu. V případě zkratu může totiž dojít k velmi vážné poruše. Při zkratu je skokový nárůst proudu a díky tomu i velmi prudký nárůst teploty v místě zkratu. Dimenzováním dostaneme pro jádro vodiče jeho minimální průřez, který se nebude zahřívat nad přípustnou teplotu. Tuto hodnotu vypočítáme podle definice ekvivalentního oteplovacího proudu z normy ČSN 33 3020 jako vztah (3.3) [15]

$$S_{\min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0(\vartheta + 20)}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{\vartheta + \vartheta_2}{\vartheta + \vartheta_1}}} \quad (\text{mm}^2), \quad (3.3)$$

kde:

I_{ke} ... je ekvivalentní oteplovací proud [A]

t_k ... je doba zkratu [s]

c_0 ... je specifické teplo vodiče při 0 °C [$\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}$]

ϑ_1 ... je hodnota odpovídající maximální provozní teplotě vodiče [°C]

ϑ_2 ... je hodnota odpovídající maximální teplotě vodiče při zkratu [°C]

ρ_{20} ... je specifický odpor při 20 °C [Ωm]

ϑ ... je fiktivní teplota vodiče [°C].

Fiktivní teplota vodiče závisí i na jeho materiálu a vypočítáme ji jako vztah (3.4) [15].

$$\vartheta = \frac{1}{a_0}, \quad (3.4)$$

kde:

a_0 ... je součinitel odporu.

Při dimenzování vodičů uvažujeme nejdelší možnou dobu zkratu, přestože zkrat trvá velmi krátkou dobu, a proto se veškeré teplo, které vznikne při zkratu akumuluje v jádru vodiče. K určení oteplení, které způsobí zkrat, jsou předpoklady stanoveny normou:

- Neuvažujeme vliv magnetického pole vlastního vodiče ani blízkých paralelních vodičů
- Měřené teplo vodiče je konstantní
- Závislost elektrického odporu na teplotě je lineární
- Neuvažuje se odvod tepla [16].

Maximální dovolená teplota, na kterou se může vodič ohřát, je stanovena především podle podmínek způsobujících stárnutí izolace a podmínek, při kterých dojde ke snížení mechanické pevnosti.

3.3.1.4 Kontrola úbytku napětí

Při dimenzování vodičů a kabelů se měří napětí na svorkách spotřebiče a zjišťuje se rozdíl napětí na vstupních a výstupních svorkách. Tyto vodiče a kabely musí při daném zatížení vyhovět dovoleným odchylkám napětí.

Dovolené maximální odchylky podle normy TN-25 jsou:

- pro napětí 400 V a 50 Hz je tolerance $\pm 5 \%$ na svorkách spotřebiče
- pro napětí 230 V je tolerance $+5 \%$, -10% na svorkách spotřebiče [16].

3.3.1.5 Kontrola mechanických účinků

U kabelů a vodičů se zohledňuje především zátěž, které je kabel vystaven při samotné instalaci zařízení, kdy umísťujeme vodiče do skříně. I v tomto případě by tedy měly být vodiče dimenzovány, a to z hlediska mechanických účinků namáhání.

3.3.1.6 Kontrola hospodárnosti provozu

Hospodárnost provozu vodičů už není technické kritérium, ale spíše ekonomické kritérium. Rozumí se tím minimalizace ročních nákladů na provoz přístroje. Stálými náklady jsou například náklady na údržbu či opravu. Vodiče by neměly být zatěžovány větším než hospodárným proudem. Pokud je doba plných ztrát větší než 1000 hodin/rok, vypočítáme průřez vodiče podle rovnice (3.5) [16].

$$S = k \cdot I_z \cdot \sqrt{T} \quad (\text{mm}^2), \quad (3.5)$$

kde:

k ... je součinitel závislý na druhu vodiče [-] (viz tabulka 3.III),

I_z ... je vypočítaný proud [A],

T ... je doba plných ztrát [s], která se vypočítá podle vztahu (3.6) [16]

$$T = t \cdot \left(0,2 \cdot \frac{A}{P_p \cdot t} + 0,8 \cdot \frac{A^2}{P_p^2 \cdot t^2} \right) (s), \quad (3.6)$$

kde:

t ... je počet provozních hodin,

A ... je přenesená elektrická energie zařízením / rok [Wh],

P_p ... je vypočítané zatížení [W].

Tab. 3.III Součinitele k pro určení hospodárného průřezu [16]

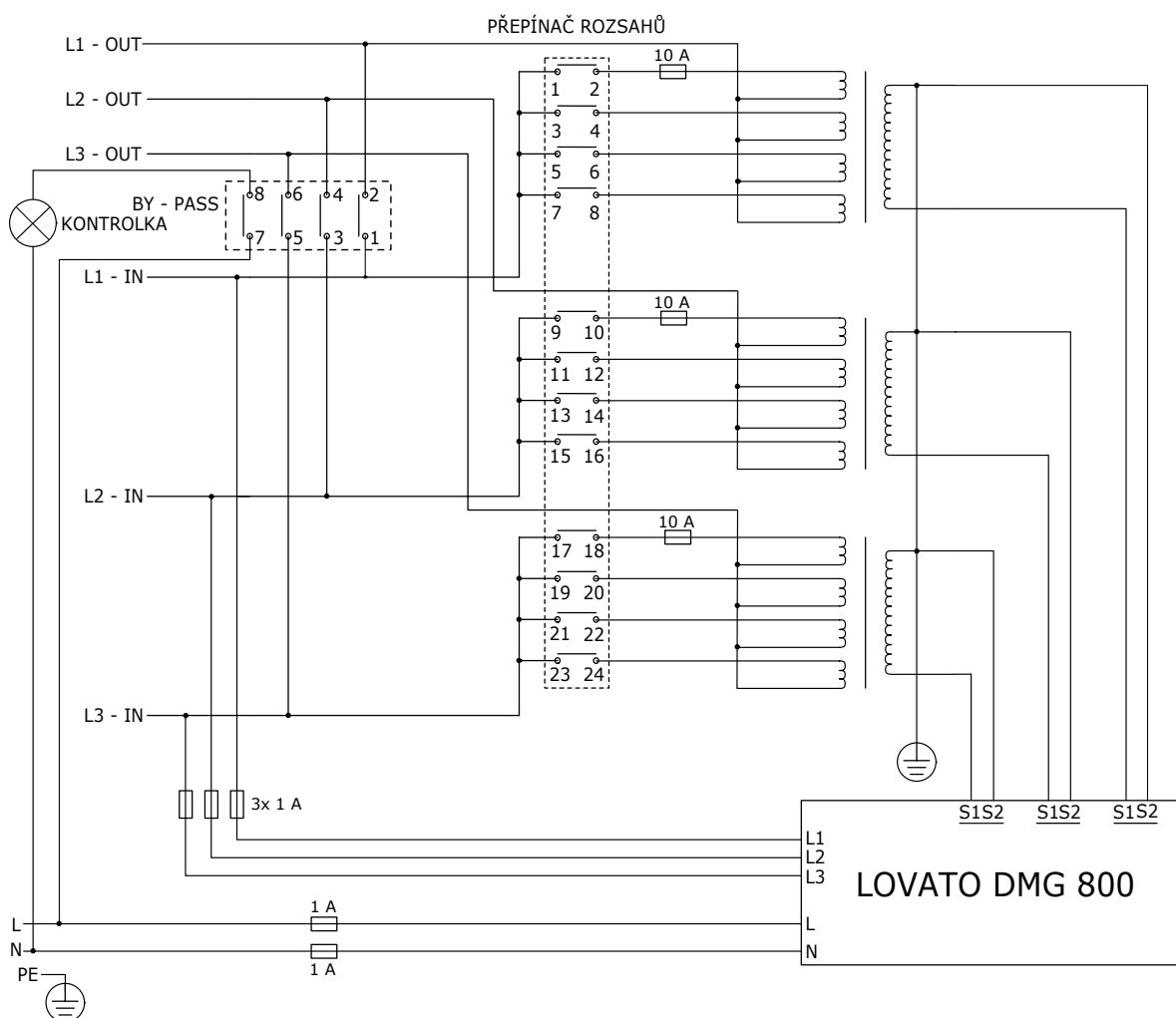
Druh vedení	Součinitel k	
	Cu vodiče	Al vodiče
Holé přípojnice	0,006	0,014
Kabely do 25 mm ² výše do 10 kV	0,007	0,0168
Chráněné vodiče a kabely do 1 kV o průřezu do 16 mm ²	0,006	0,0129
Chráněné vodiče a kabely do 10 mm ² , 1 kV nebo vodiče v instalačních trubkách	0,0053	0,009

4 Vnitřní elektrické zapojení skříně rozvaděče

Pro sestavení zařízení bylo nutné rozvrhnout vnitřek oceloplechové skříně, která má vnitřní objem přibližně 20 dm³ tak, aby byl dostatečný prostor mezi všemi komponenty. Velkou nevýhodou bude, že celé zařízení bude dost objemné. Takže bude potřeba dost volného prostoru na jeho uskladnění a samozřejmě i dostatek místa na pracovním místě při samotném používání.

Ze zadní stěny skříně bude veden vstupní i výstupní vodič do sběrnice, která je na DIN liště, o průřezu 10 mm². Z této sběrnice bude pokračovat vstupní vodič všech tří fází do vačkového spínače, odkud budou namotány na přístrojové transformátory proudu závity o určitém počtu, v závislosti na rozsahu, a následně se vracet zpět do sběrnice na DIN liště. Ze sběrnice také povedou fázové vodiče směřující do by-passu.

Z horních svorek přístrojových transformátorů proudu povedou kabely přímo do srdce našeho zařízení – do Lovata DMG 800. Do tohoto DMG 800 povede i fáze a zem ze sítě.



Obr. 4.1 Vnitřní schéma zapojení oceloplechové skříně

5 Návrh kalibrace

Před uvedením do provozu bude provedeno kontrolní měření, aby byla ověřena správnost navinutí proudových transformátorů a celkové zapojení zařízení. Pro toto měření – kalibraci bylo navrženo použít analyzátor DMK 32 od firmy Lovato. Princip kalibrace proudu je takový, že zapojíme tento analyzátor sériově do obvodu. Všemi třemi přístrojovými transformátory proudu bude v ideálním případě protékat stejný proud, pokud by tomu tak nebylo, znamenalo by to, že některý z nich není navinut správně, nebo je někde chyba. Musí se současně shodovat i údaje na kontrolním analyzátoru.

6 Návrh oteplovací zkoušky

Aby vodič správně fungoval, je nutno při navrhování zohlednit i hlediska, jako například dovolená provozní teplota vodiče, mechanické účinky zkratového proudu, tepelné účinky zkratového proudu, velikost úbytku napětí na vodiči a velikost Joulových ztrát. Bude-li procházet vodičem stále stejná hodnota elektrického proudu, smí se vodič ohřát pouze na takovou teplotu, kterou udává dovolená provozní teplota vodiče, jinak by došlo k jeho mechanickému poškození. K ohřátí okolí vodiče dochází díky teplu, které vzniká v jádru vodiče při průchodu proudu. Vodič se zahřeje tím více, čím větší proud jím prochází a čím méně izolační látky je mezi okolím vodiče a samotným vodičem. Čím dál je vodič od okolního prostředí, tím menší vliv na toto okolní prostředí má.

Teplu, které přechází do okolí vodiče zjistíme podle následujícího vztahu (6.1) [15]

$$P = \frac{\Delta\vartheta}{T} \text{ [W]}, \quad (6.1)$$

kde:

$\Delta\vartheta$... je teplotní rozdíl mezi jádrem vodiče a okolním prostředím [K, popř. °C]

T ... je tepelný odpor [K/W, popř. °C/W].

Tento vztah můžeme díky znalosti výpočtu výkonu z Ohmova zákona upravit na vztah (6.2) [15]

$$I = \left(\frac{\Delta\theta}{R \cdot T} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (6.2)$$

kde:

I ... je proud vodičem [A]

$\Delta\theta$... je teplotní rozdíl mezi jádrem vodiče a okolním prostředím [K, popř. °C]

R ... je odpor vodiče [Ω]

T ... je tepelný odpor [K/W, popř. °C/W].

Pro odhad velikosti oteplení víme, že ztrátový výkon se rovná $R \cdot I^2$, takže oteplení vodiče roste přibližně s druhou mocninou [15] proudu. Tato závislost se dá v praxi použít ale jen na holé vodiče. Pro izolované vodiče a kabely platí, že oteplení roste s téměř 2 a půltou mocninou [15] proudu. Oteplení neroste pouze s druhou mocninou proudu, protože i odpor vodiče roste s teplotou a tato závislost bohužel není zanedbatelná.

Ani naše zařízení se při běžném provozu nesmí příliš ohřát, proto byla navržena v této práci oteplovací zkouška. Měření teplot by se mělo provádět při největším možném zatížení a při nejméně příznivých podmínkách pro naše zařízení. Zařízení bude zapojeno do obvodu stejně jako při kalibraci, která byla popsána v předchozí kapitole a nechá se delší dobu měřit. Pomocí například infračerveného bezdotykového teploměru budou změřeny teploty kabelů, teploty přepínačů i teploty svorek.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo specifikovat přepínače pro volbu rozsahů 2 A, 10 A, 30 A, 60 A, specifikovat transformátory proudu a navrhnout vnitřní zapojení celé oceloplechové skříně.

Díky vlastnostem a technickým parametrům analyzátoru sítě DMG 800 od firmy Lovato bylo možné připojit jej přímo do měřeného obvodu, který má proudový rozsah až 60 A. Vzhledem k tomu, že analyzátor nabízí rozšiřující moduly, bylo také možné s ním komunikovat pomocí USB rozhraní přes počítač. Detailněji byl popsán i princip měření napětí, proudu a výkonů, což jsou jedny z nejdůležitějších fyzikálních veličin, které umí tento analyzátor měřit.

Aby bylo možné přepínat mezi jednotlivými rozsahy 2 A, 10 A, 30 A, 60 A, byla značná část práce věnována výběru vačkového přepínače a návržení jeho vnitřního zapojení. Při porovnávání 2 různých dodavatelů vačkových přepínačů se kladl důraz na základní parametry a rozměrové vlastnosti. Návrh vnitřního zapojení byl proveden jak pro obvod s „by-pass“ přepínačem přidaným k již vybranému přepínači, tak pro obvod pouze s jedním vačkovým přepínačem, který měl v sobě „by-pass“ přepínač integrován. Bylo navrženo i zapojení se signalizační LED kontrolkou, díky níž bylo jasné vidět, kdy je „by-pass“ sepnutý nebo vypnutý.

Před výběrem přístrojových transformátorů proudu byl popsán jejich obecný princip. Následně byly detailně popsány základní vlastnosti a technické parametry již námi zvolených přístrojových transformátorů proudu a vhodně zvoleny počty průvleků spolu s průřezy vodičů.

Všechny komponenty byly následně osazeny do oceloplechové skříně a zapojeny. Bylo vypracováno schéma vnitřního zapojení a v poslední části práce byly popsány návrhy kalibrace a oteplovací zkoušky, které by byly jistě třeba provést před uvedením do provozu.

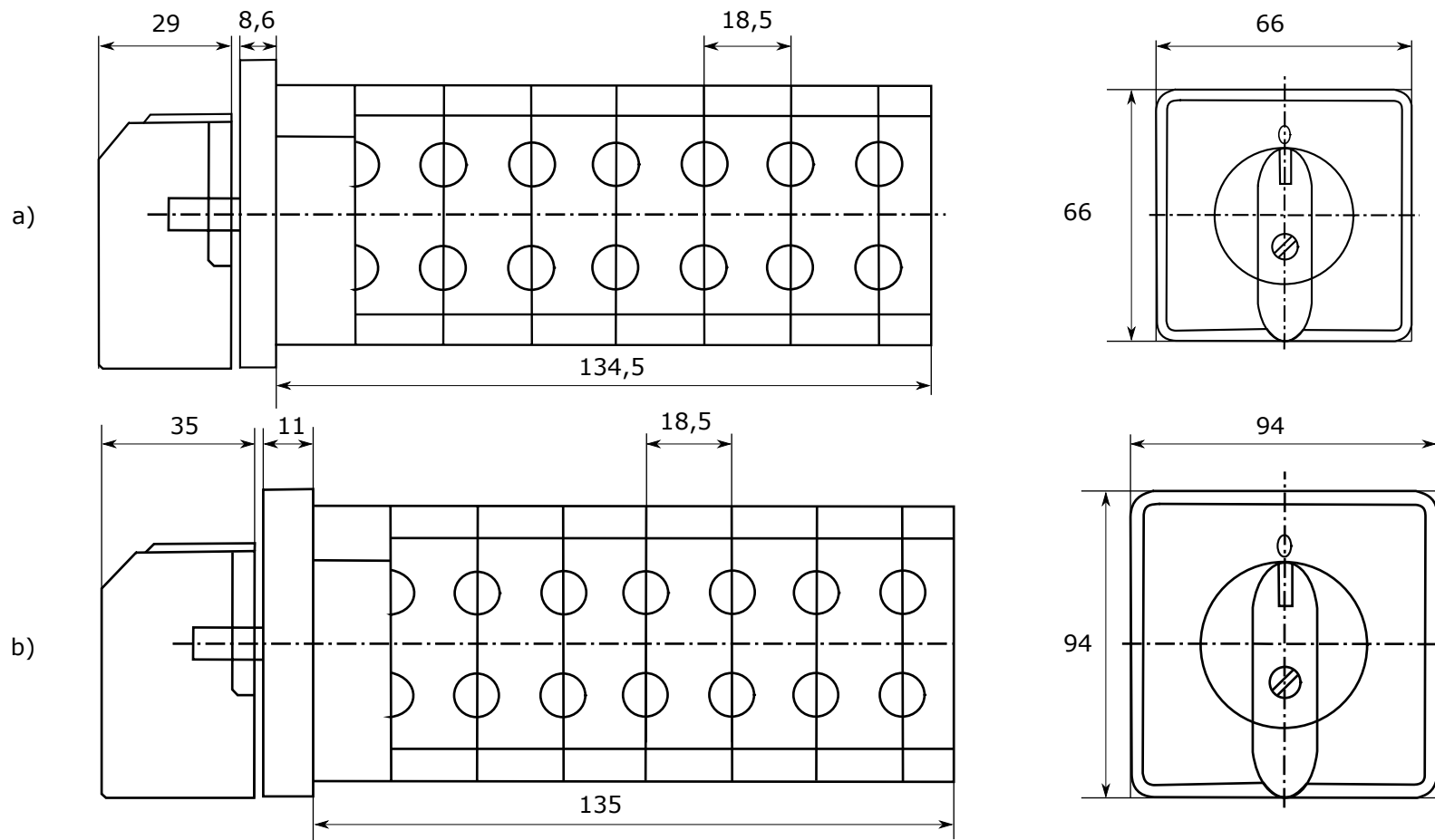
Seznam literatury a informačních zdrojů

- [0] About Donald Macadie: Inventor | Biography, Facts, Career, Wiki, Life. PeoplePill: Movers and Shakers from around the globe, past and present. [online]. [cit. 10.04.2021]. Dostupné z: <https://peoplepill.com/people/donald-macadie-1>
- [1] Multimetr, panelový, grafický displej, harmonická analýza do 31, řádu, rozšiřitelný, pomocné napájení 100 - 440VAC/110 - 250VDC | Lovato Electric. Lovato Electric | Energy and Automation [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.lovatoelectric.cz/-FLUSH-MOUNT-LCD-MULTIMETER,-EXPANDABLE,-GRAPHIC-128X80-PIXEL-LCD,-HARMONIC-ANALYSIS,-AUXILIARY-SUPP/DMG800/snp>
- [2] LOVATO Electric – DMG800 presentation and initial setup - YouTube. YouTube [online]. Copyright © 2021 Google LLC [cit. 22.05.2021]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=KK4nALJqqRc>
- [3] DMG 800 L01 LOVATO ELECTRIC - Měřič parametrů sítě | na panel; číslicový, instalační; 3-fázová; DMG800L01 | TME Czech Republic s.r.o. - Elektronické součástky. Redirecting to /cz/ [online]. [cit. 02.05.2021]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/dmg800l01/merice-a-analyzatory-parametru-siti/lovato-electric/dmg-800-l01/>
- [4] Lovato Electric | Energy and Automation [online]. Copyright © [cit. 02.05.2021]. Dostupné z: https://www.lovato.ca/HandlerDoc.ashx?s=30+-+Rozsiruj%C3%ADc%C3%AD+moduly+a+pr%C3%ADslušenstv%C3%AD_01_18.pdf&ic=371
- [5] Lovato Electric | Energy and Automation [online]. Copyright © [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: https://lovatoelectric.cz/HandlerDoc.ashx?s=I293IGBFE09_18.pdf&ic=113
- [6] Elektrický proud – Wikipedie. [online]. [cit. 21.05.2021]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrický_proud
- [7] Definice výkonu a točivého momentu – kW/Nm | BSR. BSR | tuning & performance, chiptuning, optimalizace výkonu, tuning bezpečně, brzdy, podvozek, výfuky, kola = hračkářství pro chlapy [online]. Copyright © 2006 [cit. 22.05.2021]. Dostupné z: <https://www.bsrczech.cz/vice-informaci/kw-nm-definice>
- [8] Vačkové spínače VSN 63 na našem eshopu. Nakupujte české vypínače a zásuvky v moderním i retro designu! [online]. Copyright © 2020 [cit. 27.04.2021]. Dostupné z: <https://eshop.obzor.cz/vackove-spinace-vsn-63>
- [9] Vačkové spínače VSN | OBZOR Zlín. Domovní vypínače a zásuvky, vačkové spínače | OBZOR Zlín [online]. Copyright © 2015, All Rights Reserved OBZOR, výrobní družstvo Zlín, TEL. [cit. 25.04.2021]. Dostupné z: <https://www.obzor.cz/vyrobky/prumyslova-elektroinstalace/vackove-spinace-vsn>
- [10] Vačkové spínače z Obzoru = bezpečný odpínač! - ElektroPrůmysl.cz. informace ze světa průmyslu a elektrotechniky - ElektroPrůmysl.cz [online]. Copyright © 2011 [cit. 25.04.2021]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/elektronicke-prvky-a-systemy/vackove-spinace-z-obzoru-bezpecny-odpinac>
- [11] SEZ-CZ s.r.o. - elektroinstalační materiál pro elektrotechnický průmysl a stavebnictví [online]. Copyright © [cit. 26.04.2021]. Dostupné z: <http://www.sez-cz.cz/soubory/353-sezcz-katalog-vs2018-nahledpdf.pdf>
- [12] LED kontrolka zelená 230 V ~ | UNISHOP. UNISHOP [online], [cit. 26.04.2021]. Dostupné z: <https://www.prudel.cz/unishop/LED-kontrolka-zelena-230V-d1325.htm?tab=description>
- [13] ASK 41.4 - Měřicí transformátor proudu násuvný | GHV Trading. Měřicí technika a komponenty pro rozváděče | GHV Trading [online]. Copyright © 1991 [cit.

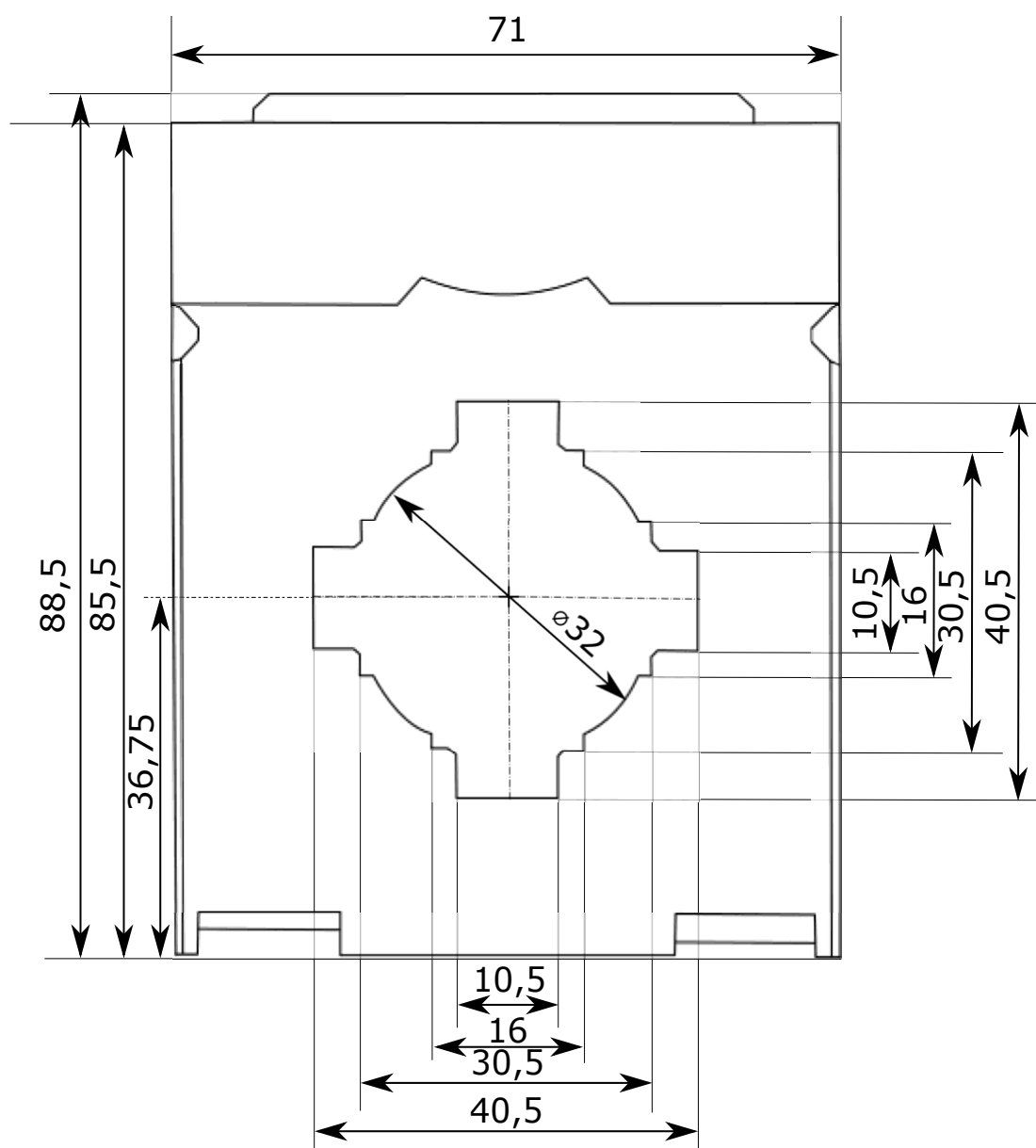
- 03.05.2021]. Dostupné z: https://www.ghvtrading.cz/rozvadecove-pristroje/transformatory-proudu/merici-nasuvne/ask41_4.html
- [14] Kříž, M. Dimenzování a jištění elektrických zařízení – tabulky a příklady, 4th ed.; IN-EL, spol. s. r. o.: Lohenická 111,190 17 Praha 9 - Vinoř, 2015.
- [15] VUT DSpace [online]. Copyright ©C [cit. 07.05.2021]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/24958/F3-DP-2014-Sladek-Vaclav-prace.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Přílohy

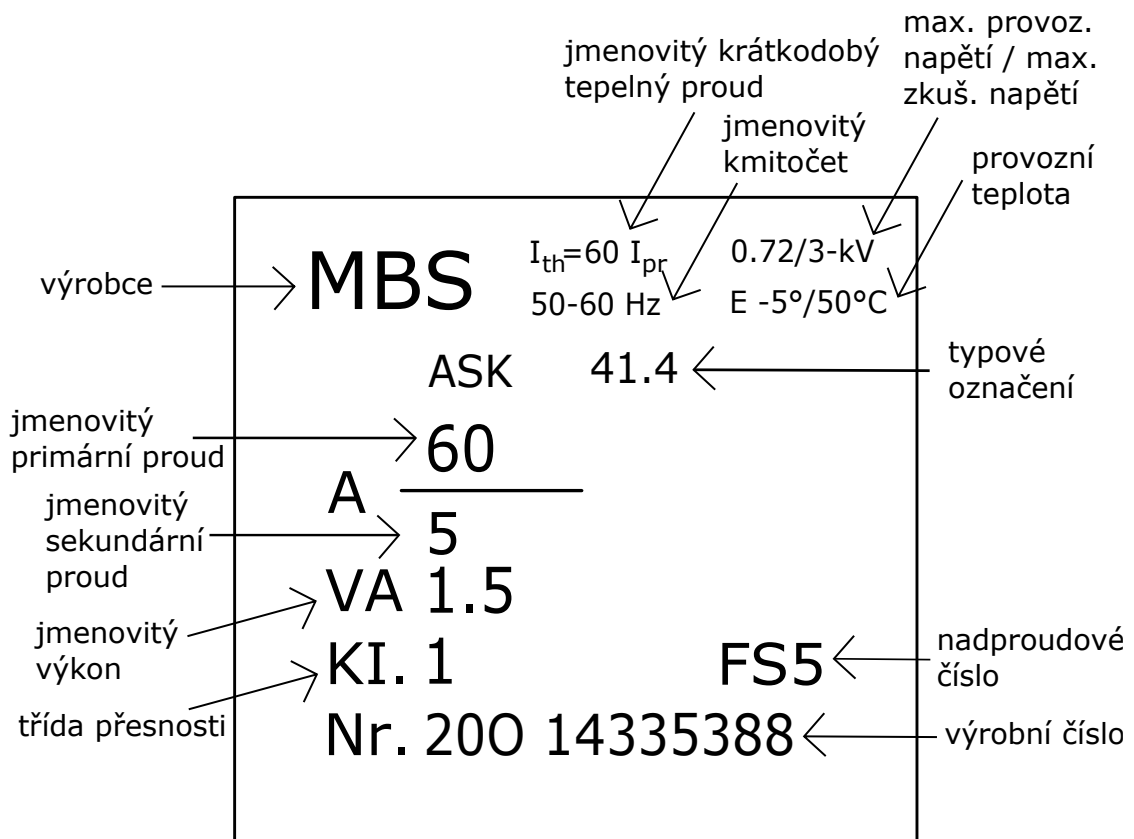
Příloha A – Rozměrový výkres (v mm) vačkového spínače a) od firmy Obzor, b) od firmy SEZ



Příloha B – Zjednodušený rozměrový výkres proudového transformátoru (v mm)



Příloha C – Štítek přístrojového proudového transformátoru



Příloha D – Fotografie zařízení před dokončením

