

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Digitální průmyslový analyzátor sítě DMG 800

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Luboš TŮMA**
Osobní číslo: **E16B0067P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Digitální průmyslový analyzátor sítě DMG 800**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište možnosti průmyslového analyzátoru sítě DMK 800.
2. Navrhněte vnitřní spínací diagram vačkového přepínače pro volbu rozsahů. Při přepínání nesmí dojít k přerušení procházejícího proudu.
3. Realizujte zapojení, odzkoušejte a uveďte do provozu.
4. Shrňte dosažené výsledky.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. <http://www.lovatoelectric.cz/>.

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 5. října 2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 13. června 2019


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




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce popisuje možnosti průmyslového analyzátoru sítě DMG 800. Dále se soustředí na návrh vnitřního spínacího diagramu vačkového přepínače pro volbu rozsahů, aby nedošlo při přepínání mezi rozsahy k přerušení procházejícího proudu. Zaměřuje se i na vlastní realizaci zapojení, odzkoušení a uvedení do provozu. Závěr obsahuje shrnutí dosažených výsledků.

Klíčová slova

Digitální analyzátor sítě, napětí, proud, činný výkon, jalový výkon, analogový multimetr, digitální multimetr, proudový transformátor, vačkový přepínač, schéma zapojení.

Abstract

The presented bachelor thesis describes the possibilities of industrial network analyzer DMG 800. Furthermore, the design of the internal switching diagram of the cam switch for selecting the ranges so that the current is not interrupted when switching between ranges. The thesis will also look at the actual implementation of wiring, testing and commissioning. Finally, there is the summary of the results.

Key words

Digital network analyzer, voltage, current, active power, idle power, analog multimeter, digital multimeter, current transformer, cam switch, switch diagram.

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 11. 6. 2019

Luboš Tůma

Poděkování

Tímto bych velice rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Bohumilu Skalovi, Ph.D., za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 PRŮMYSLOVÝ ANALYZÁTOR SÍTĚ DMG 800	11
1.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY DMG 800.....	11
1.2 ANALOGOVÝ MĚŘICÍ PŘÍSTROJ.....	13
1.3 DIGITÁLNÍ PŘÍSTROJ.....	13
1.4 MĚŘENÍ NAPĚTÍ.....	13
1.5 MĚŘENÍ PROUDU.....	14
1.6 MĚŘENÍ VÝKONU.....	14
1.7 MĚŘENÍ VÝKONU V 3F SOUSTAVĚ.....	14
1.8 ZÁKLADNÍ PARAMETRY PROUDOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ.....	18
2 NÁVRH VAČKOVÉHO PŘEPÍNAČE PRO VOLBU ROZSAHŮ	19
2.1 VAČKOVÝ PŘEPÍNAČ.....	19
2.1.1 Výběr vačkového přepínače.....	20
2.2 VNITŘNÍ ZAPOJENÍ VAČKOVÉHO PŘEPÍNAČE ROZSAHŮ.....	21
2.2.1 Provedení zapojení bez přerušení proudu.....	22
2.2.2 Zvolení přepínače.....	25
3 REALIZACE ZAPOJENÍ	25
3.1 VARIANTY ZAPOJENÍ PROUDOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ.....	27
3.2 DALŠÍ MOŽNÉ ROZŠÍŘENÍ.....	27
3.3 UVEDENÍ DO PROVOZU.....	28
4 ZÁVĚR	29
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	30
PŘÍLOHY	1

Úvod

Předkládaná práce se zaměřuje na digitální analyzátor sítě DMG 800.

Práce je rozdělena do čtyř základních částí. V části první jsou popsány možnosti průmyslového analyzátoru sítě DMG 800. Dále se práce zaměřuje na spínací diagram vačkového přepínače pro volbu rozsahů. Návrh přepínače musí být realizován tak, aby nedošlo při přepínání k přerušení procházejícího proudu. Ve třetí části práce je realizováno zapojení jak vačkového přepínače, tak celého analyzátoru sítě. Poté je zařízení odzkoušeno a následně uvedeno do provozu. V závěru jsou shrnuty výsledky průběhu práce a uvedení do provozu.

Seznam symbolů a zkratk

AC.....	Alternating Current – střídavý proud [V]
CYA.....	Měděný vodič flexibilní
DC.....	Direct Current – stejnosměrný proud [V]
Φ	Magnetický indukční tok [Wb]
I.....	Elektrický proud [A]
I_n	Proud pracovním vodičem [A]
L1, L2, L3.....	Fázové vodiče napájecí soustavy
MTP.....	Měřicí transformátor proudu
N.....	Střední pracovní vodič napájecí soustavy
P.....	Činný výkon [W]
PTP.....	Přístrojový transformátor proudu
Q.....	Jalový výkon [VAr]
U.....	Elektrické napětí [V]
USB.....	Universal Serial Bus – sériová datová sběrnice

1 Průmyslový analyzátor sítě DMG 800

Průmyslový analyzátor DMG 800 je kompaktní přístroj, který dokáže měřit napětí, proud, činný výkon, jalový výkon, zdánlivý výkon, účinník, fázové napětí, sdružené napětí, a mnoho dalších elektrických veličin.[4] Analyzátor je možné nainstalovat na DIN lištu rozvaděče nebo do panelu měřicího přístroje. Uplatní se zejména v průmyslu nebo ve specializovaných laboratořích elektrických pohonů nebo elektrických strojů, například k měření třífázových transformátorů, synchronních a asynchronních elektromotorů. K analyzátoru je možné připojit až 4 periferní rozšiřující moduly přes pomocné sběrnice na zadní straně přístroje.

1.1 Základní parametry DMG 800

- **Napájení analyzátoru**

Při napájení analyzátoru nehraje roli polarita, neboť samotný přístroj je na vstupu vybaven usměrňovačem napětí. Nezávisí na systému napájení, střídavém nebo stejnosměrném napětí, pouze na dodržení minimálního napájecího napětí, které se pohybuje kolem 100 V.

Tab.1. Napájení analyzátoru

Napájecí napětí	AC	100 – 440 V
	DC	110 – 250 V
Provozní napětí	AC	90 – 484 V
	DC	93,5 – 300 V
Frekvence		45 – 66 Hz
Vlastní spotřeba		3,9 VA; 3,4 W max.

- **Napěťové vstupy**

Maximální napětí, které je možné připojit na digitální analyzátor sítě DMG 800 je na jednu fázi 400V. Sdružené napětí může být až 690V.

Tab. 2. Napěťové vstupy

Typy vstupů	3 fáze + pracovní vodič
Maximální napětí	690 V ~ L – L; 400 V ~ L – N
Měřitelný rozsah	20 – 830 V ~ L – L
	10 – 480 V ~ L – N
Frekvenční rozsah	45 – 66 Hz

- **Proudové vstupy**

Připojení proudových vstupů se realizuje pomocí proudových transformátorů s předem daným převodovým poměrem proudu. Pro každou fázi je jeden proudový transformátor. Transformátory lze použít různě podle průměru vnitřního jádra od hodnoty 28 mm² až do hodnoty 85,5 mm².

Tab. 3. Proudové vstupy

Měřený proud I_e	1 A ~ nebo 5 A ~
Měřicí rozsah	Pro 1 A: 0,01 – 1,2 A ~
	Pro 5 A: 0,01 – 6 A ~
Typ vstupu	Přes proudový transformátor max. 5 A
Přetížitelnost	+20 % I_e
Špičková přetížitelnost	50 A po dobu 1s

1.2 Analogový měřicí přístroj

Při měření je možné zvolit, zda měřit (staršími) analogovými (ručičkovými) přístroji nebo (novějšími) digitálními (číslicovými) přístroji. Nelze říci, že digitální přístroj je lepší. Jsou měření, kde se bez analogových přístrojů neobejdeme, jedná se například o měření různých spojitých změn napětí v obvodu. Na analogových přístrojích je krásně vidět, jak se zde postupně v závislosti na napětí zvedá ručička přístroje nebo klesá. Nevýhodou analogových přístrojů je, že jsou kalibrovány a provozovány v pevné pracovní poloze. Tuto polohu musíme dodržet, abychom měli zaručenou třídu přesnosti (TP). TP se pohybuje od (0,05 – 0,2) pro přístroje na cejchování měřicích přístrojů přes (0,2 – 2,5) pro laboratorní přístroje až po (2,5 – 5) pro provozní měřicí přístroje. Většinu analogových voltmetrů není potřeba napájet. Záznam z těchto měřicích přístrojů je obtížný a složitý.

1.3 Digitální přístroj

Digitální přístroje jsou o dost přesnější, rychlejší (to nám udává použitý AD převodník), odolnější a nemají pevně danou polohu měřicího přístroje při měření. Obsahují elektroniku, která se stará o zpracování měřené veličiny a výpis na LCD nebo LED displej, na kterém vidíme přímo přesný údaj měřené hodnoty. Některé přístroje nepotřebují ani přepínání rozsahů, mají tzv. Autorange.

1.4 Měření napětí

Elektrické napětí měříme jako rozdíl potenciálů ve dvou bodech elektrického obvodu. Vnitřní odpor voltmetru by měl být $>10 \text{ M}\Omega$ a to proto, aby přístrojem tekla ideálně nulový proud a nevznikaly tak chyby při měření. Pro měření malých hodnot napětí lze přiložit přímo měřicí přístroj na měřenou součástku či obvod. Pro měření vyšších napětí (řády kV a výše) je potřeba doplnit měřicí přístroj o předřadné odpory a spočítat nyní vytvořený nový dělič napětí. Napětí se měří vždy paralelně k měřené součástce.

1.5 Měření proudu

Elektrický proud měříme jako počet procházejících elektrických nábojů vodičem o daném průřezu za určitý čas. Vnitřní odpor ampérmetru by měl být co možná nejmenší, aby na něm nevznikaly úbytky napětí a abychom se nedopouštěli chyb při měření. Pro měření malých proudů (řádově stovky mA) lze měřit přímo zařazením ampérmetru do série s měřenou součástkou či celým obvodem. Pro měření vyšších proudů (jednotky až desítky ampér) použijeme bočník, což je vodič paralelně připojený k ampérmetru o daném poměru odporu vůči ampérmetru. Pro měření proudů od desítek ampér a výše se používá proudový transformátor, což je toroidní cívka navlečená na měřený vodič s určitým počtem závitů. Vývod cívky z transformátoru je zapojen přímo na měřicí přístroj.

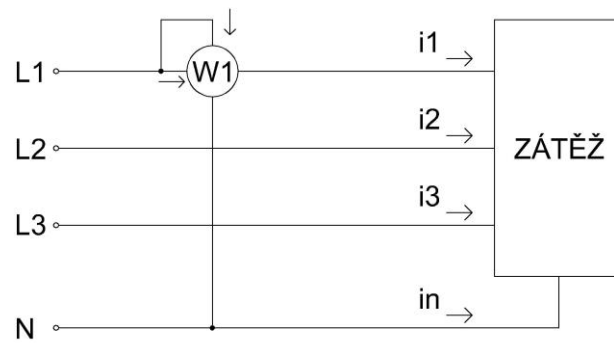
1.6 Měření výkonu

Výkon je definován jako práce provedená proudem za určitý čas. Pro měření výkonu se používá wattmetr. Tento přístroj má 4 svorky. Dvě svorky jsou proudové, poznáme je podle toho, že jsou větší než zbylé dvě, a to kvůli proudu, který přes ně teče. Dvě menší svorky mají za úkol přivést pouze napětí, tudíž přes ně neteče téměř žádný proud.

1.7 Měření výkonu v 3F soustavě

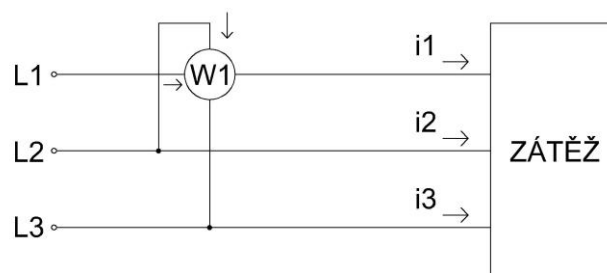
Pro měření činného výkonu v n -fázové soustavě je potřeba minimálně $n-1$ wattmetrů. Tak zní tzv. Blondelův teorém.

Při měření činného výkonu v 3F symetrické soustavě se souměrnou zátěží je výkon ve všech třech fázích stejný. Potom nám tedy stačí změřit pouze výkon na jedné fázi a tento výkon vynásobit počtem fází. V našem případě třemi, abychom dostali celkový činný výkon soustavy.



Obr. 1.1 Zapojení jedním wattmetrem pro měření činného výkonu ve čtyřvodičovém rozvodu v symetrické soustavě a se souměrnou zátěží

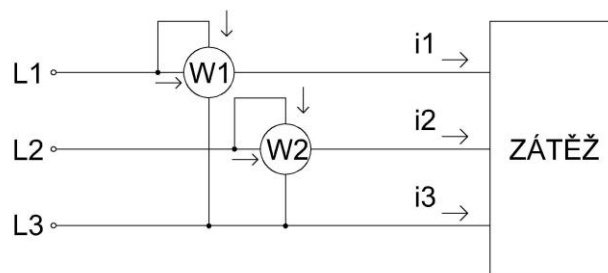
Pro měření jalového výkonu v 3F symetrické soustavě se souměrnou zátěží je jalový výkon ve všech třech fázích stejný. Stačí nám změřit jalový výkon na jedné fázi a vynásobit ho třemi. Pro zapojení wattmetru pro měření jalového výkonu bude platit: proudová cívka se zapojí do fáze, jejíž jalový výkon chceme měřit, svorku napěťové cívky označenou jako začátek cívky zapojíme na druhou fázi (podle sledu fází). Výstupní svorku z napěťové cívky zapojíme na třetí fázi.[1] Tímto zapojením docílíme fázového posunu na cívkách wattmetru.



Obr. 1.2 Zapojení jedním wattmetrem pro měření jalového výkonu v třívodičovém rozvodu v symetrické soustavě a se souměrnou zátěží

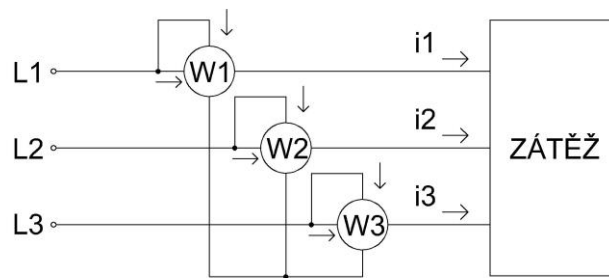
Pro měření činného a jalového výkonu v 3F soustavě lze použít i Aronovo zapojení. V tomto zapojení jsou použity dva wattmetry zapojené na dvou fázích. Proudové svorky jsou umístěny na měřených fázích. Vstupní napěťové svorky jsou také umístěny na daných měřených fázích, avšak obě výstupní svorky z napěťových cívek wattmetrů jsou svedeny na zbylou volnou fázi. Toto zapojení spolehlivě měří jak činný, tak i jalový výkon v souměrné soustavě se symetrickou zátěží.

Velkou výhodou Aronova zapojení je to, že při použití dvou wattmetrů lze také měřit nesouměrnou soustavu a nesymetrickou zátěž. Ale pouze pro činný výkon.



Obr. 1.3 Aronovo zapojení pro měření výkonů v třívodičovém rozvodu

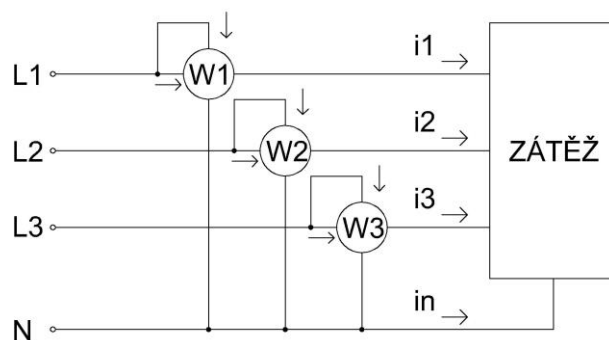
Měření v 3F soustavě s třívodičovým rozvodem (bez pracovního vodiče) je realizováno pomocí tří wattmetrů, kdy na každé měřené fázi je jeden měřicí přístroj. Začátek napěťové svorky je na vlastní měřené fázi. Výstup ze všech tří napěťových svorek je spojen dohromady. Tak vznikne tzv. volný uzel.



Obr. 1.4 Zapojení s třemi wattmetry pro měření činného výkonu v třívodičovém rozvodu v symetrické soustavě se souměrnou/nesouměrnou zátěží

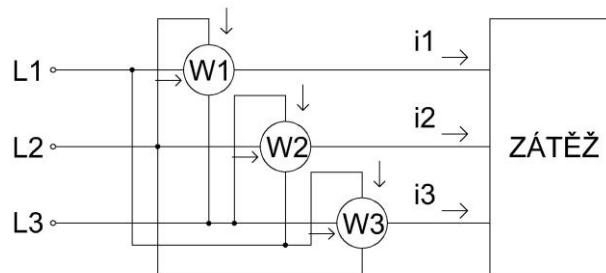
Budeme-li měřit nesouměrnou zátěž zapojenou do hvězdy, pak můžeme spojit volný uzel se středem této hvězdy a budeme tak měřit činný výkon v každé fázi zvlášť a celkový činný výkon soustavy bude součet těchto dílčích fázových činných výkonů.

Měření na 3F soustavě se čtyřvodičovým rozvodem je vhodné pro měření činného výkonu s nesymetrickou zátěží. Celkový výkon je tak součtem dílčích činných fázových výkonů.



Obr. 1.5 Zapojení s třemi wattmetry pro měření činného výkonu ve čtyřvodičovém rozvodu v symetrické soustavě se souměrnou/nesouměrnou zátěží

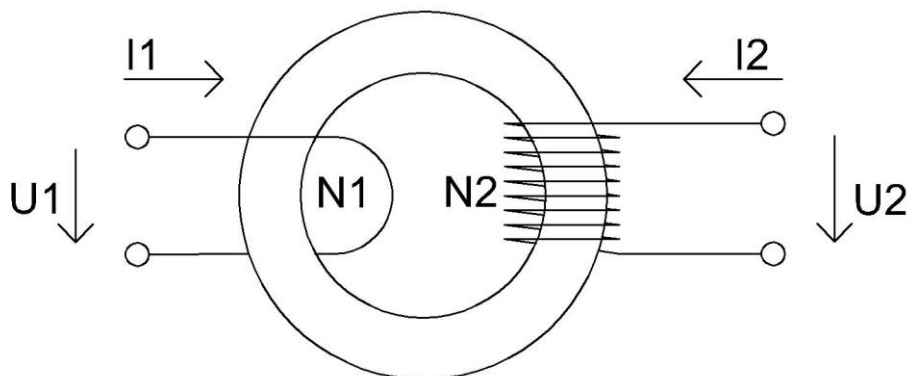
Pro měření jalového výkonu 3F sítě s nesymetrickou zátěží použijeme tři wattmetry. Na každé fázi použijeme jeden wattmetr.



Obr. 1.6 Zapojení s třemi wattmetry pro měření jalového výkonu v třívodičovém rozvodu v symetrické/nesymetrické soustavě se souměrnou/nesouměrnou zátěží

1.8 Základní parametry proudových transformátorů

Proudový transformátor se používá při měření velkých proudů. Galvanicky odděluje měřený obvod od obvodu měřicího. Abychom nezatěžovali měřicí přístroj zbytečně velkým proudem, použijeme proudový transformátor. Ten nám proud sníží v daném poměru vhodnému pro měření. Transformátor obsahuje toroidní cívku s předem daným počtem závitů, skrze kterou prochází měřený vodič. Počet závitů na cívce nám udává výsledný převodový poměr měřicího transformátoru.



Obr. 1.7 Vnitřní schéma proudového transformátoru

Vinutím N_1 prochází proud I_1 a ten vytváří elektromagnetický tok Φ , jenž je veden pomocí magnetického obvodu, který může být z feritu nebo z tenkých vzájemně izolovaných plechů. Tento elektromagnetický obvod má za úkol usměrnit tok siločar z první cívky tak, aby jich co nejvíce zasáhlo cívku druhou.

2 Návrh vačkového přepínače pro volbu rozsahů

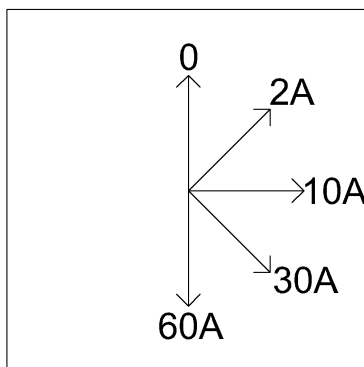
2.1 Vačkový přepínač

Vačkový přepínač je spínač, který lze použít ke spínání silových obvodů. Je tvořen hlavní otočnou hřídelí, na které jsou umístěny vačky. V každém patře spínače je jedna. Při otočení ovládací šipky, jež je na konci hlavní hřídele, se otáčí všechny vačky na hřídeli a spínají podle druhu sestavení přepínače silové kontakty. Na jednom patře jsou vždy dva páry. Vačkové přepínače lze používat v mnoha silových zapojeních. Nejčastěji se používají ke spínání 3F silových obvodů. Dále se vačkový přepínač uplatňuje jako jednoduchý přepínač hvězda trojúhelník, časté zapojení je vidět i u brzdění protiproudem, reverzace proudu a mnoha dalších použití.

2.1.1 Výběr vačkového přepínače

Výběru vačkového přepínače byla věnována velká pozornost, protože není ve standardní nabídce žádného výrobce. Nakonec jsem si nechal vačkový přepínač vyrobit ve firmě Obzor Zlín. Na jejich internetových stránkách mají konfigurátor, kde si lze navolit i nestandardní speciální přepínače, které nemají ve své obvyklé nabídce. Moje požadavky byly, aby přepínač uměl spínat proud až do 60 A. Zvolil jsem řadu VSN63. Dále byla potřeba spínat 3 fáze. Na každé fázi spínat 4 rozsahy + poloha vypnuto. A celý přepínač musí být umístěn v panelu. Dále jsem si volil úhel mezi jednotlivými polohami přepínače. Jako optimální řešení se jevil úhel 45°. V nabídce byl i úhel 30°, který se zdál jemný z důvodu toho, že přepínač bude mít 6 pater a nebude úplně nejjednodušší ho přepnout mezi jednotlivými patry. Mohlo by se stát, že by nedopatřením obsluha mohla přejet při snižování rozsahů o více než jeden rozsah a došlo by k nadproudu. Dále bylo na výběr 60°, v tom případě by se přepínač otáčel kolem své osy, což by mohlo být uživatelsky nepohodlné.

Zároveň s výběrem konfigurace přepínače bylo potřeba nadefinovat i štítek vačkového přepínače. Byl zvolen základní štítek, který je srozumitelný a jasně čitelný.



Obr. 2.1 Čelní strana vačkového přepínače

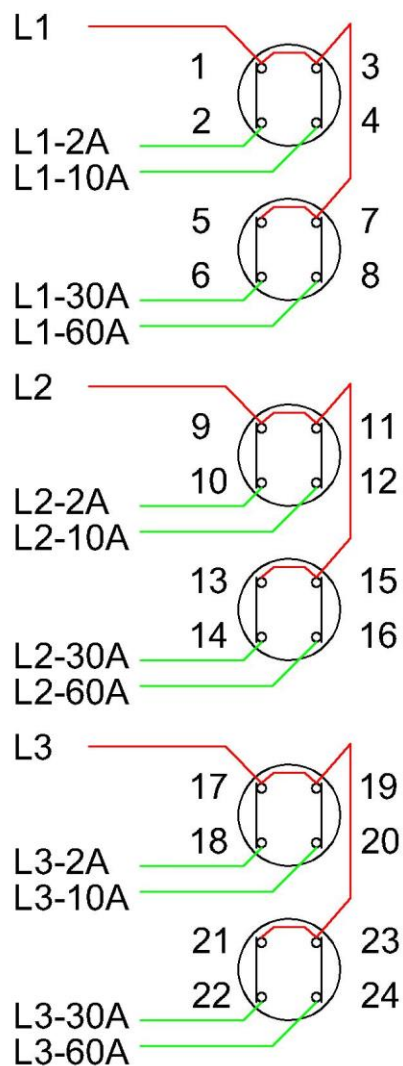
2.2 Vnitřní zapojení vačkového přepínače rozsahů

Vnitřní zapojení přepínače je pevně dané, jak bylo nadefinováno u výrobce, nelze jej později upravit. Pro postupné spínání čtyř rozsahů na jedné fázi je potřeba propojit 4 vstupní svorky na horní straně (1, 3, 5, 7) měděnými propojkami, na kterých je neustále napětí. Při otáčení vačkového přepínače se spíná horní strana přepínače s jednotlivými kontakty na straně spodní. Každá jednotlivá propojka na spodní straně má svůj jmenovitý proudový rozsah. Toto zapojení zabere dvě patra přepínače. Proto pro spínání tří fází je potřeba přepínač, který má 6 pater. Stále je tu problém, že při otáčení vačkovým přepínačem s připojenou zátěží budou jiskřit kontakty a opalovat se. Snížila by se jejich životnost nebo by mohlo dojít až ke zničení přepínače.

Tab. 4. Schéma varianty 1 přepínače pro rozsahy

Značení	VYP	2A	10A	30A	60A
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

Na přiloženém obrázku jsou znázorněny červenou barvou měděné propojky na vstupních svorkách vačkového přepínače. Zelenou barvou jsou vyznačeny výstupní vodiče jednotlivých rozsahů. Tyto vodiče dále pokračují skrze proudové transformátory, kde má každý rozsah navinut určitý počet závitů, dále pak vodič pokračuje až na výstupní svorky jednotlivých fází.



Obr. 2.2 Vnitřní zapojení přepínače rozsahů

2.2.1 Provedení zapojení bez přerušení proudu

Pro provedení zapojení bez přerušení proudu byly na výběr dvě možnosti. Varianta 1 s dvěma přepínači nebo varianta 2 jen s jedním přepínačem.

- ***Varianta 1 se dvěma přepínači***

V této variantě jsou použity dva přepínače. První je vačkový přepínač rozsahů a druhý je obyčejný vačkový přepínač. Tento přepínač má jen dvě patra (4 kontakty) a to proto, aby jen sepnul a rozeplul 3 fáze. Oba přepínače jsou k sobě zapojeny paralelně. Když chceme přepnout rozsah z nižšího proudového rozsahu na vyšší, musíme nejdříve přepnout obyčejný vačkový spínač (tzv. „bypass“) do polohy 1 (sepnuto). Tím překleneme vačkový přepínač rozsahů. Nyní můžeme přepnout o rozsah výše, neboť při přepnutí a následném přerušení při přepínání je proud veden přes sepnutý bypass. Máme-li na vačkovém přepínači přepnuto na požadovaný proudový rozsah, můžeme bypass přepnout zpět do polohy 0 (vypnuto).

Obr. Zapojení – viz příloha A

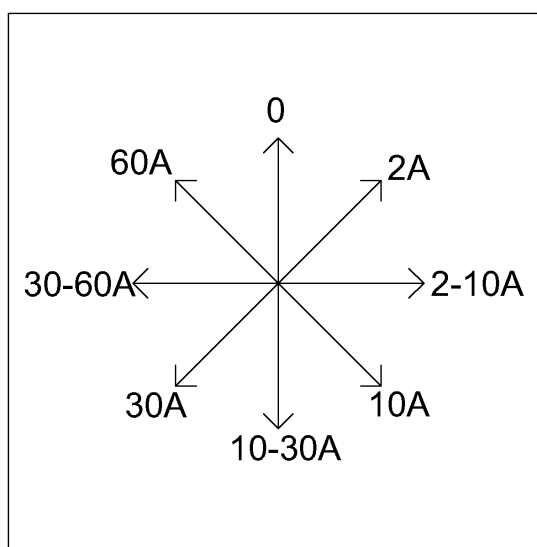
- ***Varianta 2 s jedním přepínačem rozsahů***

Ve variantě 2 je použit jen jeden vačkový spínač. Tento spínač má složitější vnitřní zapojení. Tímto vnitřním zapojením dosáhneme toho, že lze použít jen jeden spínač. Avšak tento vačkový přepínač je potřeba doplnit o mezistupně mezi jednotlivými proudovými rozsahy. Tyto mezistupně zajišťují krátké sepnutí obou rozsahů najednou při přepínání z nižšího na vyšší rozsah, aniž by došlo k přerušení proudu.

Tab. 5. Schéma varianty 2 přepínače pro rozsahy

Značení	VYP	2A	2-10A	10A	10-30A	30A	30-60A	60A
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	

Na následujícím obrázku můžeme vidět, jak by vypadal přední panel vačkového přepínače pro tuto variantu. Rozsahy 2-10 A, 10-30 A, 30-60 A jsou jen mezistupně, na kterých by se neměřilo. Slouží k propojení obvodu, aby nedošlo k přerušení procházejícího proudu. Při pohledu na čelní panel tohoto přepínače je patrné, že obsluha bude muset být seznámena s vnitřním zapojením, neboť by se mohla dopustit chybného měření.



Obr. 2.3 Čelní panel přepínače rozsahů varianta 2

2.2.2 Zvolení přepínače

Nakonec jsem zvolil variantu 1 jako vhodnější. Měl jsem k tomu několik důvodů. Jedno takové starší funkční zařízení již ve školní laboratoři je. Pro obsluhu nebude složité naučit se zacházet s tímto novým modelem. Bude fungovat na stejném principu jako již používané zařízení v laboratoři. Zapojení v plechové skříni bude vyžadovat o trochu více silových vodičů, ale bude to stále přehledné.

3 Realizace zapojení

K realizaci zapojení třífázového digitálního analyzátoru sítě DMG 800 bylo potřeba všechny komponenty umístit do plechové skříně. Při rozmísťování bylo počítáno s dostatečnými mezerami pro silové vodiče. A to z důvodu, aby se vodiče o průřezu 16 mm^2 nelámaly v ohybech mezi jednotlivými komponenty. Začátek vodičů se nachází na zadní straně plechové skříně ve svorkách. Vodiče jsou ke svorkám přimontovány pomocí lisovacích hliníkových kabelových ok, dále šroubu a matky M8. Jeden měděný kabel o průřezu 16 mm^2 je ukončen na horní straně vačkového přepínače rozsahů a druhý kabel byl přiveden na přepínač bypass. Z přepínače bypass je kabel spojen s výstupními svorkami na zadní straně skříně. Pro výstupní vodiče z vačkového přepínače rozsahů bylo potřeba dopočítat jejich průřez podle proudových rozsahů. Pro maximální rozsah 60 A byl použit vodič CYA16. Tento vodič jsem provlékl jádrem proudového transformátoru pouze jednou a ukončil na výstupních svorkách na zadní straně skříně. Pro rozsah 30 A jsme použil vodič CYA10 o průřezu 10 mm^2 . Tento vodič je protažen jádrem proudového transformátoru dvakrát. Na proudový transformátor byly navinuty dva závity tohoto vodiče. Pro 10A rozsah byl použit lakovaný drát o průřezu 2 mm^2 z důvodu úspory místa izolace vodiče v jádře proudového transformátoru. Lakovaný drát má 6 závitů. A na nejmenší rozsah 2 A jsme navinul cívku o 30 závitěch lakovaným drátem průřezu $0,8 \text{ mm}^2$. Toto vinutí je opatřeno rychlou tavnou pojistkou (5x20mm) o hodnotě 10 A. Výstup z pojistkového pouzdra, které je na DIN liště, je opět připojen na výstupní svorky na zadní straně konstrukční skříně. Tento popis je pro jednu fázi z důvodu přehlednosti, avšak v reálné situaci je vše aplikované na všechny tři fáze.



Obr. 3.1 Rozmístění jednotlivých komponentů v konstrukční skříni

Umístění proudových transformátorů je na DIN liště, která je přišroubovaná ke spodní straně skříně a zvolena tak, aby bylo možno na každý transformátor bez problémů navinout všechna vinutí rozsahů. Transformátor má na své vrchní straně dvě výstupní svorky. Jednu svorku jsem připojil na ochranný vodič a druhou na vstup do panelového multimetru DMG 800. Totéž jsem udělal pro všechny tři fáze (resp. proudové transformátory). Dále je potřeba do panelového měřidla přivést napětí jednotlivých fází. To jsem provedl pomocí vodiče CYA2 přímo z výstupních svorek skříně. Tyto napěťové přívody jsem vybavil tavnou pojistkou (5x20mm) 1A. Multimetr požaduje i zapojení pracovního vodiče, které jsem přivedl opět vodičem CYA2 z napájecího eurokonektoru. Napájení samotného multimetru je dle údajů výrobce možné realizovat pomocí stejnosměrného i střídavého zdroje. Pro jednoduchost zapojení bylo v tomto případě použito k napájení přímo síťové napětí 230V. Dle katalogového listu od výrobce jsem doplnil fázi a pracovní vodič

napájení DMG 800 o tavné pojistky 1A. Ještě před pojistkami se nachází hlavní vypínač celého zařízení. O stavu, zda je zařízení zapnuté nebo vypnuté, nás informuje indikační LED dioda, která je pomocí usměrňovacího můstku a jednoduchého RC členu připojena na síťové napětí hlavního vypínače. Dále je pomocí stíněného USB kabelu propojen externí rozšiřovací modul digitálního analyzátoru sítě s USB konektorem na čelní straně zařízení. Tento USB port slouží k exportu naměřených hodnot, například na USB flash disk.

3.1 Varianty zapojení proudových transformátorů

Mnou zvolené zapojení proudových transformátorů je třemi proudovými transformátory pro měření tří fází. Zapojení se může lišit podle počtu fází dostupných k měření. V přiloženém technickém listu u proudových transformátorů jsou i jiné možnosti zapojení.[5] Lze měřit jednu fázi jedním proudovým transformátorem. Schéma obsahuje varianty i s připojeným nulovým vodičem nebo bez připojeného nulového vodiče. V technickém listě je i zapojení pro měření pouze dvou fází. Dále je možné doplnit zapojení o napěťové transformátory a měřit sdružené napětí vyšší než 690V.

3.2 Další možné rozšíření

Další rozšíření je možné, ale bylo by potřeba zasáhnout do konstrukce a upravit vnitřní schéma zapojení digitálního analyzátoru sítě a doplnit jej o potřebné prvky pro měření. Zde už by záleželo na tom, pro jaké účely by se mělo zařízení používat, abychom provedli správné dimenzování proudových transformátorů. Takovéto zapojení lze uplatnit například v provozování sítí v takzvaném „ostrovním režimu“, kde bychom chtěli mít přesný přehled o spotřebě a výrobě elektrické energie.

Analyzátor sítě by bylo možné použít i pro měření na napět'ové hladině 22 kV, avšak zde by se z důvodu vysokého napětí a proudu vyplatilo použití externích napět'ových a proudových transformátorů. Schéma zapojení by bylo potřeba doplnit ještě o jeden vačkový přepínač, který by přepínal mezi externími vstupy napětí a proudu nebo vnitřními napět'ovými a proudovými vstupy, které jsou připojeny na jednotlivé vstupní svorky do zařízení.

3.3 Uvedení do provozu

Po sestavení zařízení následovalo důkladné zkontrolování zapojení vodičů, dotažení všech vodivých spojů, jak na vačkových přepínačích, tak na svorkách a překontrolování sledu fází. Nyní jsem již mohl zařízení připojit do zásuvky, ale ještě bez zapojení měřeného obvodu, a zapnout hlavním vypínačem. Digitální analyzátor se ihned nastartoval a bylo možné na něm nastavit základní parametry. Nyní bylo vše připraveno a mohlo se začít měřit.

4 Závěr

Na začátku této práce jsem se zabýval základními parametry digitálního analyzátoru sítě DMG 800. Jako například napájecí napětí a možná zapojení analyzátoru. Dále jsem se zaměřil na rozsah měřených hodnot napětí a proudu a možnou přetížitelnost stanovenou výrobcem, aniž by byl přístroj poškozen. Následuje teorie digitálních a analogových přístrojů, měření v třífázové soustavě několika způsoby, ať už jedním přístrojem nebo třemi přístroji v třívodičové či čtyřvodičové souměrné nebo nesouměrné soustavě a jejich výhodami a nevýhodami při měření. Druhá část je zaměřena na výběr přepínače. Jako nejlepší řešení byl zvolen vačkový přepínač. Byl vytvořen návrh vlastního vnitřního zapojení pro spínání tří fází přes čtyři rozsahy. Byl vybrán výrobce přepínače včetně vrchních štítků, konfigurace a konečné zapojení přepínače. V poslední části práce je shrnutí realizace zapojení, úvaha nad možnými rozšířeními, překontrolování zapojení a spuštění síťového analyzátoru DMG 800. První zkušební zátěž a oteplovací zkouška byla provedena za použití termokamery.

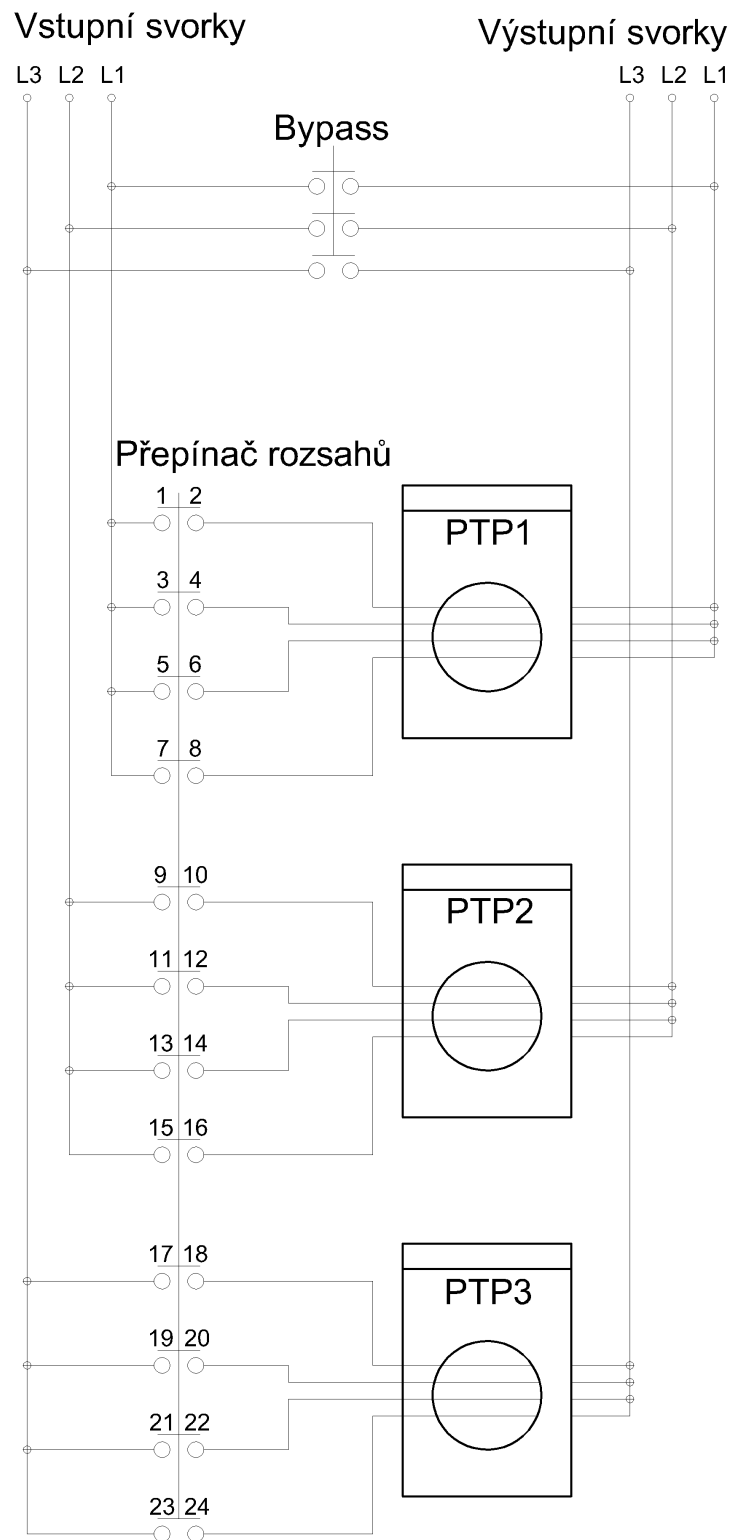
Touto prací jsem získal mnoho zkušeností ze svého oboru. Prakticky jsem si vyzkoušel zapojení přístrojových transformátorů proudu. Nyní tento laboratorní přístroj může sloužit účelům, pro které byl navržen a sestrojen.

Seznam literatury a informačních zdrojů

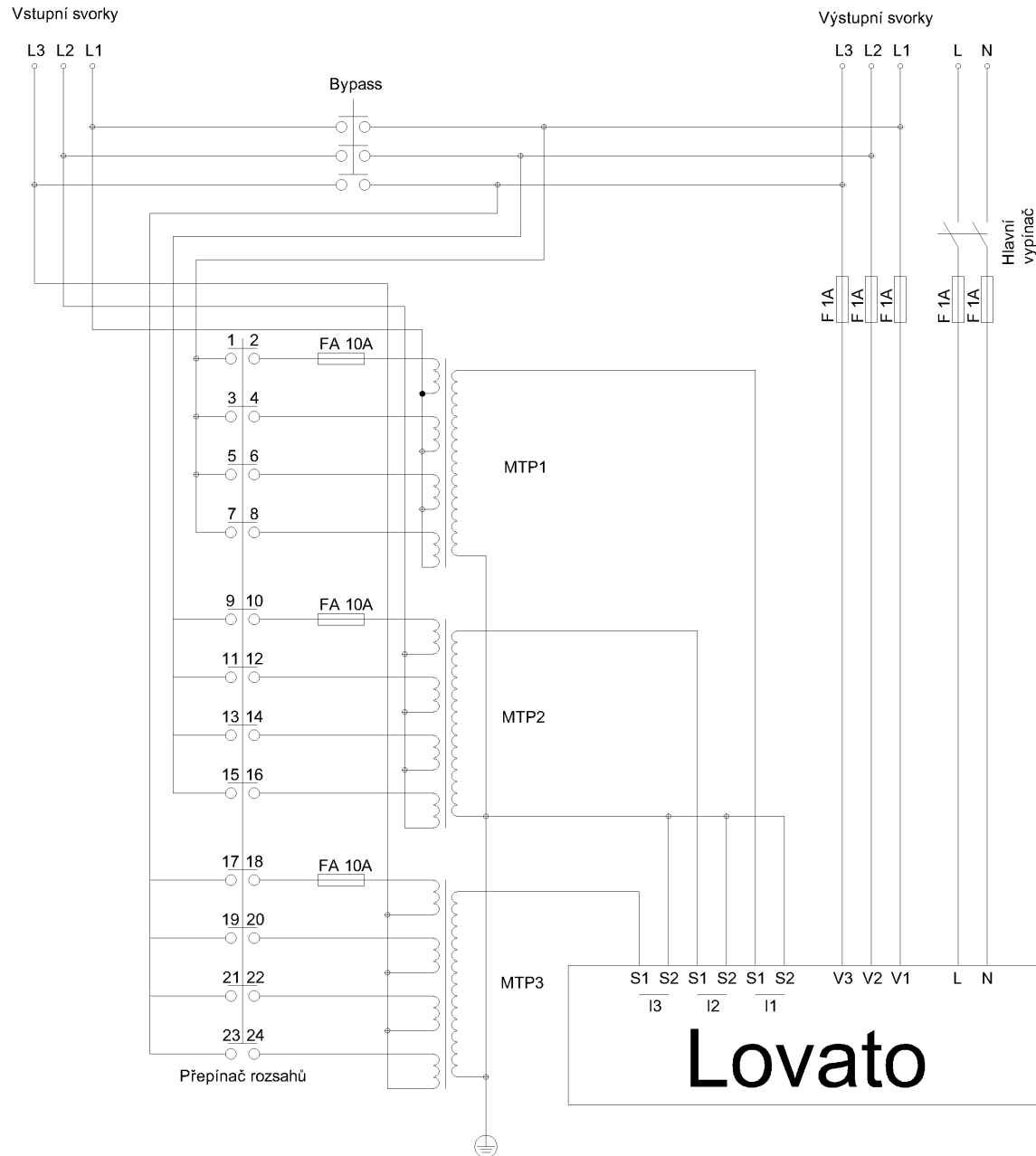
- [1] FAJT, Václav, HAASZ Vladimír a SEDLÁČEK Miloš. *Elektrická měření*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. ISBN 80-01-00751-0.
- [2] HAASZ, Vladimír a SEDLÁČEK Miloš. *Elektrická měření: přístroje a metody*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02731-7.
- [3] TŮMOVÁ, Olga. *Elektrická měření: měřicí metody*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. ISBN 80-7043-412-0.
- [4] FLUSH-MOUNT LCD MULTIMETER EXPANDABLE, GRAPHIC 128X80 PIXEL LCD, HARMONIC ANALYSIS, AUXILIARY SUPPLY 100-440VAC/110-250VDC. MULTILANGUAGE: ITALIAN, ENGLISH, FRENCH, SPANISH AND PORTUGUESE | Lovato electric. *Lovato Electric | Energy and Automation* [online]. Dostupné z: <http://www.lovatoelectric.cz/-FLUSH-MOUNT-LCD-MULTIMETER,-EXPANDABLE,-GRAPHIC-128X80-PIXEL-LCD,-HARMONIC-ANALYSIS,-AUXILIARY-SUPP/DMG800/snp>
- [5] CURRENT TRANSFORMER, ACCURACY SOLID-CORE, FOR 28MM CABLE. FOR 30X10MM, 25X15MM, 20X20MM, BUSBARS, 60A | Lovato Electric. *Lovato Electric | Energy and Automation* [online]. Dostupné z: <http://www.lovatoelectric.cz/-CURRENT-TRANSFORMER,-ACCURACY-SOLID-CORE,-FOR-%C3%9828MM-CABLE.-FOR-30X10MM,-25X15MM,-20X20MM-BUSBARS,-6/DM1TP0060/snp>

Přílohy

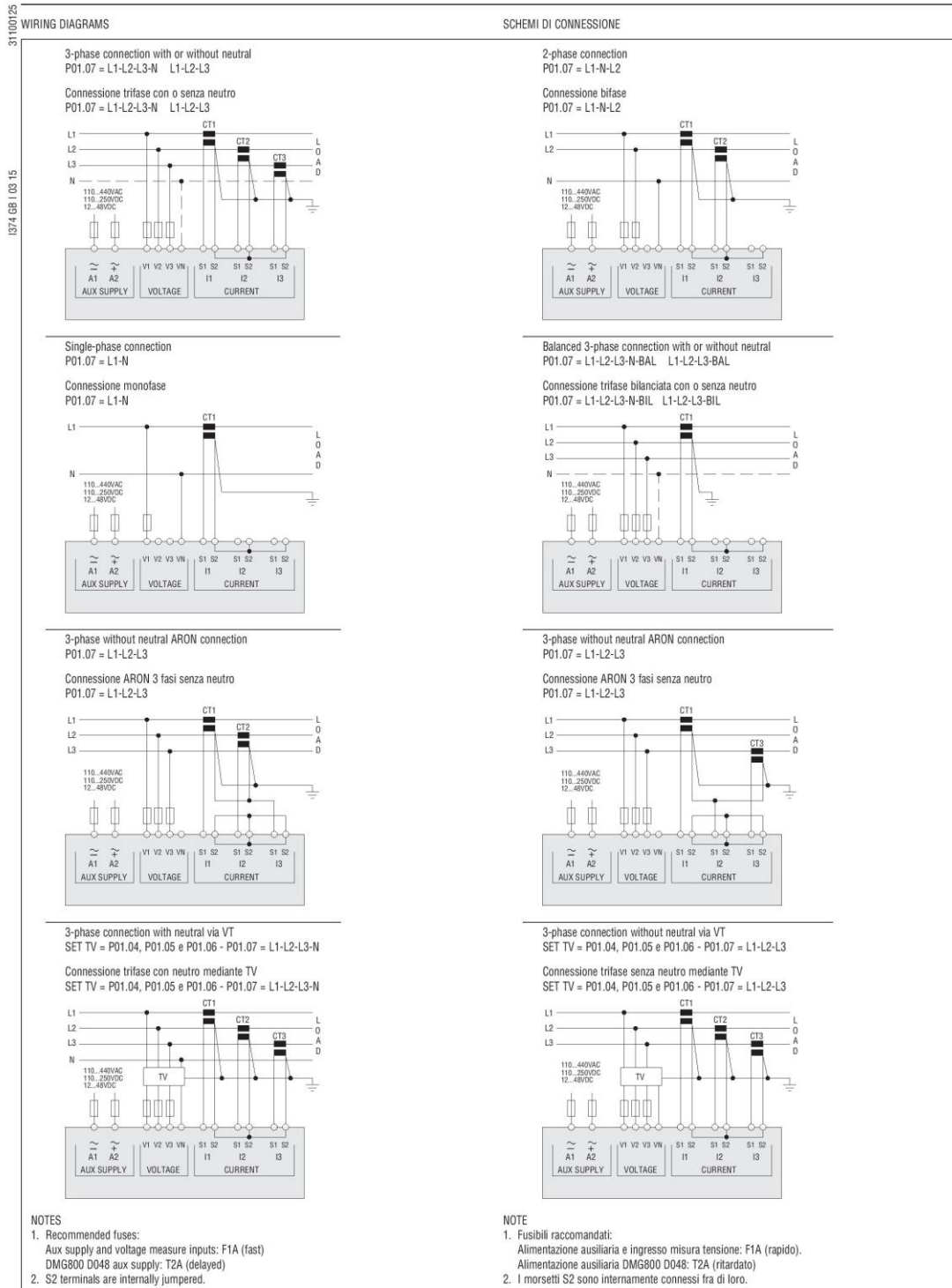
Příloha A – Schéma zapojení přepínačů



Příloha B - Schéma zapojení s DMG 800



Příloha C – Technický list, zapojení transformátorů proudu



Příloha D – Fotografie konstrukce zařízení

