



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

DIAGNOSTIKA VYPÍNAČŮ VN A VVN

DIAGNOSTICS OF MEDIUM VOLTAGE AND HIGH VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Alexej Kapalla

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Dostál, Ph.D.

BRNO 2019



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Alexej Kapalla

ID: 186435

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Diagnostika vypínačů VN a VVN

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s diagnostikou VN a VVN vypínačů včetně příslušných norem.
2. Seznamte se a provedte diagnostiku vypínače VN.
3. Seznamte se a provedte diagnostiku vypínače VVN.
4. Vyhodnoťte získané poznatky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Havelka, O. a kol.: Elektrické přístroje, SNTL, 1985

[2] JAROSLAVA, Orságová. Rozvodná zařízení. [s.l.] : [s.n.], 2004. 148 s. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky.

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 20.8.2019

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Dostál, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Táto bakalárska práca je zameraná na problematiku VN a VVN vypínačov a ich diagnostiku. V práci je uvedená história VN vypínačov a ich základné delenie. Následne sú v práci uvedené príslušné normy a je vykonaná diagnostika VN vypínača VD4 a VVN vypínača S1-245 od spoločnosti AEG. V prípade vypínača VD4 bola vykonaná diagnostika nového a používaného vypínača. Namerané hodnoty sú následne porovnané a je uvedený vplyv opotrebenia vypínača VN a jeho parametre. Práca opisuje meranie prechodových odporov, izolačných stavov, zapínacích a vypínacích časov, kvality vaku.

Kľúčové slová

vypínač, vysoké napätie, veľmi vysoké napätie, VD4, diagnostika vypínača, profylaktika

Abstract

This bachelor work is focused on medium-voltage and high-voltage circuit breakers and their diagnostics. The thesis presents the history of HV circuit breakers and their main division. Subsequently, the relevant standards are listed in the work and diagnostics of the MV circuit breaker VD4 and the HV circuit breaker S1-245 from AEG is performed. In case of the VD4 circuit breaker, a new and used circuit breaker was diagnosed. The measured values are then compared and the impact of usage is shown. The work describes the measurement of main contact resistance, insulation resistance, closing and opening times and vacuum quality.

Keywords

Circuit breaker, medium voltage, high voltage, VD4, diagnostic of circuit breaker, prevention

Bibliografická citácia:

KAPALLA, Alexej. Diagnostika vypínačů VN a VVN [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-08-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/121388>.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Lukáš Dostál.

Prehlásenie

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Diagnostika vypínačů VN a VVN jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne: **19.8.2019**

.....

podpis autora

Obsah

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Úvod..... | 12 |
| 2 | História VN vypínačov | 13 |
| 3 | Základné typy VN a VVN vypínačov..... | 15 |
| 3.1 | Maloolejové vypínače | 15 |
| 3.2 | Tlakovzdušné vypínače..... | 16 |
| 3.3 | Plynové vypínače | 17 |
| 3.3.1 | Fyzikálne a chemické vlastnosti plynu SF ₆ | 17 |
| 3.3.2 | Elektrické vlastnosti plynu SF ₆ | 17 |
| 3.4 | Vákuové vypínače | 18 |
| 3.4.1 | Izolačné vlastnosti vákua | 18 |
| 3.4.2 | Horenie oblúka vo vákuu | 19 |
| 3.4.3 | Technológie používané pri vákuových vypínačoch..... | 19 |
| 3.5 | Magnetické vypínače | 20 |
| 4 | Vypínač VD4 | 21 |
| 4.1 | Vákuová komora | 21 |
| 4.2 | Princíp funkcie vypínača VD4 | 22 |
| 4.3 | Konštrukcia vypínača..... | 23 |
| 5 | Vypínač AEG S1-245 | 24 |
| 5.1 | Konštrukcia vypínača..... | 24 |
| 6 | Normy pre dané vypínače | 27 |
| 6.1 | Normy definujúce kusové skúšky | 27 |
| 6.2 | Skúška elektrickej pevnosti izolácie hlavného obvodu..... | 27 |
| 6.3 | Meranie elektrického odporu hlavného obvodu..... | 28 |
| 6.4 | Mechanické funkčné skúšky | 28 |
| 6.5 | Elektrické vlastnosti a parametre vypínača VD4 24 | 29 |
| 6.6 | Elektrické vlastnosti a parametre vypínača AEG S1-245 | 29 |
| 7 | Diagnostika VN vypínačov | 30 |
| 7.1 | Metodika diagnostiky..... | 30 |
| 7.2 | Meranie prechodových odporov | 31 |
| 7.3 | Meranie zapínacích a vypínacích časov vypínača | 32 |
| 7.4 | Meranie kvality vákua..... | 32 |

| | | |
|-------|---|----|
| 7.5 | Meranie izolačných stavov..... | 33 |
| 8 | Diagnostika vypínača VD4 | 35 |
| 8.1 | Meranie nového vypínača VD4 | 35 |
| 8.1.1 | Meranie izolačných stavov na novom vypínači VD4..... | 36 |
| 8.1.2 | Meranie prechodových odporov na novom vypínači VD4..... | 37 |
| 8.1.3 | Meranie zapínacích a vypínacích časov nového vypínača VD4..... | 40 |
| 8.1.4 | Meranie integrity vákuua na novom vypínači VD4..... | 43 |
| 8.1.5 | Mechanické funkčné skúšky nového vypínača VD4..... | 45 |
| 8.2 | Meranie použitého vypínača VD4 | 45 |
| 8.2.1 | Meranie izolačných stavov na používanom vypínači VD4 | 46 |
| 8.2.2 | Prechodové odpory používaného vypínača VD4..... | 46 |
| 8.2.3 | Meranie zapínacích a vypínacích časov používaného vypínača VD4..... | 47 |
| 8.2.4 | Meranie integrity vákuua na používanom vypínači VD4..... | 48 |
| 8.2.5 | Mechanické funkčné skúšky použitého vypínača VD4..... | 49 |
| 8.3 | Údaje o okolitých podmienkach a kalibrácii prístrojov | 49 |
| 8.4 | Zhodnotenie výsledkov merania nového a použitého vypínača VD4..... | 51 |
| 9 | Diagnostika vypínača VVN | 53 |
| 9.1 | Meranie zapínacích a vypínacích časov S1-245 | 53 |
| 9.2 | Meranie prechodových odporov na vypínači S1-245 | 56 |
| 9.3 | Porovnanie nameraných hodnôt s hodnotami uvedenými výrobcom | 57 |
| 9.4 | Podmienky okolia a prehľad použitých meracích prístrojov | 58 |
| 9.5 | Zhodnotenie merania na vypínači S1-245..... | 59 |
| 10 | Záver | 60 |
| 11 | Literatúra | 61 |

Zoznam obrázkov

| | |
|--|----|
| Obr. 3.1 Maloolejový vypínač [6]. | 15 |
| Obr. 3.2 Tlakovzdušný VVN vypínač [6]. | 16 |
| Obr. 3.3 Vypínač VF ABB plnený plynom SF ₆ . | 18 |
| Obr. 3.4 Vypínač 3AV1FG 72.5 kV od spoločnosti Siemens [4]. | 20 |
| Obr. 4.1 Detail vákuovej komory vypínača VD4 [3]. | 21 |
| Obr. 4.2 Detail mechaniky vypínača VD4. | 23 |
| Obr. 4.3 Vypínač VD4 [5]. | 23 |
| Obr. 5.1 Vypínač AEG S1-245 rozvodňa R220kV. | 24 |
| Obr. 5.2 Popis jednotlivých častí vypínača AEG S1-245 [14]. | 25 |
| Obr. 7.1 Základné súvislosti pri diagnostike elektrických zariadení [8]. | 31 |
| Obr. 8.1 Meranie izolačných stavov. | 37 |
| Obr. 8.2 Blokovaná schéma merania prechodového odporu fázy L1. | 38 |
| Obr. 8.3 Meranie prechodových odporov na VD4. | 39 |
| Obr. 8.4 Blokovaná schéma zapojenia pri meraní zap/vyp časov. | 41 |
| Obr. 8.5 Výsek z meracieho protokolu pre zapínacie časy. | 42 |
| Obr. 8.6 Priebeh prúdu zapínacou cievkou. | 43 |
| Obr. 8.7 Meranie kvality vákua. | 44 |
| Obr. 8.8 Meranie vypínacích časov používaného vypínača VD4. | 48 |
| Obr. 9.1 Vypínač S1-245 v rozvodni R220kV. | 53 |
| Obr. 9.2 Časť zapínacieho okruhu vypínača S1-245. | 54 |
| Obr. 9.3 Časť vypínacieho okruhu vypínača S1-245. | 54 |
| Obr. 9.4 Ovládacia skrina vypínača S1-245. | 55 |
| Obr. 9.5 Blokovaná schéma zapojenia merania prechod. odporov fázy L1 na vypínači S1-245. | 56 |
| Obr. 9.6 Použitý merací prístroj DLRO 600. | 57 |

Zoznam tabuliek

| | |
|---|----|
| Tab. 6.1 Princíp prikladania napätia pri skúške elektrickej pevnosti [10]..... | 27 |
| Tab. 7.1 Odporúčané hodnoty DC napätia použitého pri meraní kvality vákua na vypínači VD4 [12]. | 33 |
| Tab. 7.2 Odporúčané hodnoty minimálneho izolačného odporu na VN vypínačoch [9]..... | 34 |
| Tab. 8.1 Technické parametre nového vypínača VD4..... | 35 |
| Tab. 8.2 Namerané izolačné stavy nového vypínača VD4. | 36 |
| Tab. 8.3 Použité meracie prístroje pri meraní izolačného odporu. | 37 |
| Tab. 8.4 Prechodové odpory nového vypínača VD4. | 38 |
| Tab. 8.5 Prechodové odpory udávané výrobcom porovnané so zmeranými. | 39 |
| Tab. 8.6 Použité meracie prístroje pri meraní prechodových odporov | 39 |
| Tab. 8.7 Zapínacie a vypínacie časy nového vypínača VD4. | 41 |
| Tab. 8.8 Použité meracie prístroje pri meraní zapínacích a vypínacích časov | 42 |
| Tab. 8.9 Integrita vákua nového vypínača VD4. | 44 |
| Tab. 8.10 Použité meracie prístroje pri meraní kvality vákua | 44 |
| Tab. 8.11 Spriemerované hodnoty zap. a vyp. časov pre 100% U_n , 70% U_n a 110% U_n | 45 |
| Tab. 8.12 Technické parametre používaného vypínača VD4. | 46 |
| Tab. 8.13 Namerané izolačné stavy používaného vypínača VD4. | 46 |
| Tab. 8.14 Prechodové odpory používaného vypínača VD4. | 46 |
| Tab. 8.15 Porovnanie prechodových odporov nového a používaného vypínača VD4. | 47 |
| Tab. 8.16 Zapínacie a vypínacie časy používaného vypínača VD4. | 48 |
| Tab. 8.17 Integrita vákua používaného vypínača VD4..... | 49 |
| Tab. 8.18 Spriemerované hodnoty zap. a vyp. časov pre 100% U_n , 70% U_n a 110% U_n | 49 |
| Tab. 8.19 Prehľad použitých meracích prístrojov..... | 50 |
| Tab. 8.20 Podmienky prostredia pri meraní nového vypínača VD4..... | 50 |
| Tab. 8.21 Podmienky prostredia pri meraní použitého vypínača VD4..... | 50 |
| Tab. 8.22 Prehľad nameraných hodnôt a ich limitov..... | 52 |

| | |
|---|----|
| Tab. 9.1 Technické parametre VVN vypínača S1-245. | 53 |
| Tab. 9.2 Meranie zapínacích a vypínacích časov fází L1 a L2. | 55 |
| Tab. 9.3 Meranie zapínacích a vypínacích časov fází L2 a L3. | 55 |
| Tab. 9.4 Zjednotené hodnoty zapínacích a vypínacích časov vypínača S1-245. | 55 |
| Tab. 9.5 Použité meracie prístroje pri meraní zap. a vyp. časov vypínača S1-245 .. | 55 |
| Tab. 9.6 Prechodové odpory VVN vypínača S1-245. | 57 |
| Tab. 9.7 Použité meracie prístroje pri meraní prechodových odporov vypínača S1-245 .. | 57 |
| Tab. 9.8 Porovnanie nameraných hodnôt zapínacích a vypínacích časov. | 58 |
| Tab. 9.9 Prehľad použitých meracích prístrojov pri meraní VVN vypínača .. | 58 |
| Tab. 9.10 Podmienky okolia pri meraní VVN vypínača .. | 59 |

1 ÚVOD

Výkonové vypínače sú zariadenia s vlastným pohonom schopné rýchlo vypnúť skratové prúdy prípadne zniesť zapnutie do skratu. Na tieto zariadenia sú spomedzi všetkých spínacích prvkov v rozvodniach kladené najväčšie požiadavky, a to z dôvodu, že ich primárny účel je zvládať vypnúť obvod pri skrate, a tak ochrániť ostatné zariadenia zapojené v obvode. Existuje viacero druhov výkonových vypínačov, ktoré vedia pracovať na rôznych napäťových hladinách s rôznymi hodnotami nominálneho prúdu. Vzhľadom na zaužívané napäťové hladiny, a takisto z hľadiska ekonomického, patrí medzi najpoužívanejší VN vypínač VD4 od spoločnosti ABB a VVN vypínač S1-245 od spoločnosti AEG.

Výkonový vypínač zastáva v elektrických obvodoch veľmi dôležité miesto. Preto je potrebná ich pravidelná údržba a kontrola správnej funkčnosti týchto zariadení. Takisto dokáže správna a včasná diagnostika pozitívne ovplyvniť aj ekonomické hľadisko. Príklad pre pozitívne ovplyvnenie ekonomického hľadiska je napríklad včasná diagnostika vysokých prechodových odporov, ktoré majú za následok veľký stratový výkon na vypínači, degradáciu materiálu vplyvom prehrievania hlavného kontaktu. Všetky tieto negatívne dôsledky vysokých prechodových odporov majú za následok skrátenie životnosti vypínača a následnú potrebu zakúpenia nového. V tejto práci sú vykonané diagnostické merania na uvedených dvoch vypínačoch. Následne sú namerané hodnoty vyhodnotené.

2 HISTÓRIA VN VYPÍNAČOV

S tým, ako na začiatku minulého storočia zvyšovala spotreba elektrickej energie boli nároky na vypínače čím ďalej väčšie. Toto zvyšovanie spotreby elektrickej energie nakoniec viedlo k tomu, že vypínače tej doby, ktoré boli veľmi podobné odpojovačom prestali postačovať, pretože nedokázali uhasiť oblúk pri vyšších napätových hladinách. Preto boli vypínacie kontakty umiestnené do komory, ktorá bola naplnená olejom. Olej v tej dobe predstavoval jediné známe kvapalné izolačné médium s veľkým chladiacim účinkom. Do vtedajšej Československej republiky bol privezený prvý 100 kV olejový vypínač už v roku 1929 [2].

Jednalo sa konkrétne o kotlový olejový vypínač. Tento typ vypínača využíva ku zhasňaniu el. oblúku splodiny, ktoré vznikajú pri tepelnom rozklade oleja. Spolu so zväčšujúcou sa vzdialenosťou hlavných kontaktov, prispievajú vzniknuté splodiny ku deionizácii elektrického oblúka až dôjde k jeho uhasneniu. Tento typ vypínača bol v našich končinách používaný v rokoch 1920 – 1930 [1].

Nasledovníkom kotlových olejových vypínačov sa stali maloolejové vypínače. Oproti kotlovým vypínačom mali hlavnú výhodu v tom, že potrebovali podstatne menej oleja, mali vyššiu požiaru odolnosť a dokázali lepšie vypínať blízke skraty. Zdvih spínacej komory mali tieto vypínače stále pomerne veľký a pre napätievú hladinu 220 kV sa pohyboval na úrovni 760 mm. Hlavné obdobie týchto typov vypínačov bolo v rokoch 1960-1980 [13].

Prvý maloolejový typ vypínača bol vyvinutý v Plzenskej Škodovke už v roku 1930. Tieto vypínače už vtedy dokázali vypínať výkon 3000 MVA, a to pre všetky vtedajšie používané napätové úrovne. Škoda na tento vývoj následne naviazala v rokoch 1934-1935, kedy dodala prvé tlakovzdušné vypínače. Ich širšie uplatnenie však prišlo až v roku 1940, a to na napätovej hladine 15 kV [2].

Európskym priekopníkom pri tlakovzdušných vypínačoch sa však stala spoločnosť AEG ktorá už v roku 1936 dodala do rozvodne Praha-Juh niekoľko týchto vypínačov určených pre napätovú hladinu 100 kV. Tieto vypínače boli schopné pri sériovom spojení spínacích komôr vypínať prúdy aj pre napätové hladiny 400 kV. Hlavné obdobie týchto vypínačov bolo v rokoch 1940 – 1980. Jedna z ich najväčších nevýhod spolu s vysokými prevádzkovými nákladmi je vysoká hlučnosť pri spínaní [13].

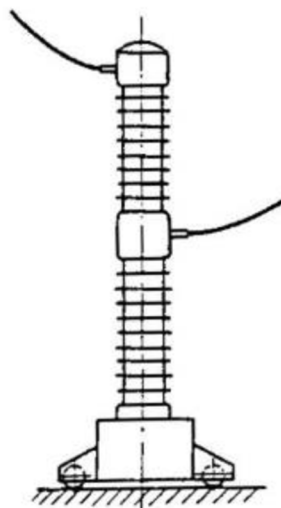
Ďalší princípový posun prišiel v roku 1986, kedy boli do skúšobnej prevádzky zaradené vypínače so zhášacím médiom SF₆. Elektronegatívny plyn SF₆ bol objavený už v roku 1900 avšak z počiatku kôli vysokej cene tohoto plynu bolo praktické nasadenie vypínačov s týmto zhášacím médiom spomalené. Znižujúca cena tohto plynu spolu s vynikajúcimi vlastnosťami viedli ku postupnému vytlačeniu ostatných typov vypínačov. Bližšie sa tomuto typu vypínača venujeme v kapitole 3.3. Vývoj následne pokračoval vývojom vákuových vypínačov, ktoré patria v dnešnej dobe medzi najpoužívanejšie vypínače pri napäťových hladinách do 22 kV. Vytvoriť a udržať vákuum v spínacej komore je náročný technologický proces, avšak z hľadiska zhášania elektrického oblúku, veľmi efektívny [2].

3 ZÁKLADNÉ TYPY VN A VVN VYPÍNAČOV

Existuje viacero základných typov VN a VVN vypínačov, ktoré môžeme rozdeliť do niekoľkých základných typov podľa toho, aké médium používajú v spínacej/vypínacej komore. V nasledujúcej kapitole sú uvedené a stručne popísané vybrané typy vypínačov [1].

3.1 Maloolejové vypínače

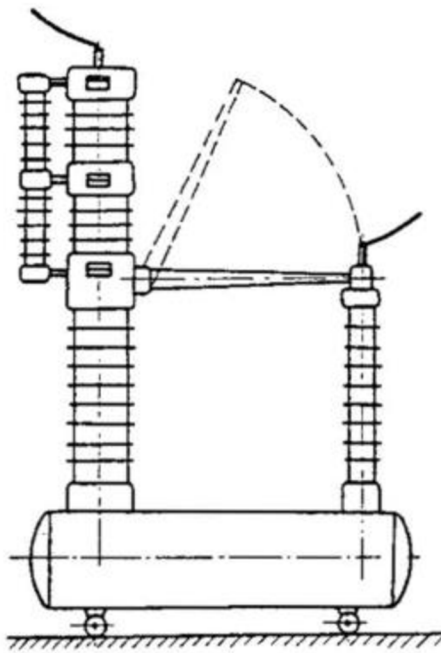
Maloolejové vypínače sú historicky jedny z prvých VN vypínačov. Tieto vypínače využívajú ako zhášacie médium olej. Pri vypnutí vypínača vzniká elektrický oblúk a olej sa vplyvom oblúku zahrieva, tým pádom splýnuje a následne oblúk vplyvom oleja a pár, ktoré v komore vzniknú, uhasína pri najbližšom prechode napätia nulou. Výhoda, ktorú tieto vypínače majú je, že majú pomerne jednoduchú konštrukciu. Na druhej strane, pri sparovaní oleja narastá tlak v zhášacej komore. Tým pádom sa zvyšuje riziko úniku oleja alebo pár, ktoré sú veľmi horľavé [1].



Obr. 3.1 Maloolejový vypínač [5].

3.2 Tlakovzdušné vypínače

V posledných desaťročiach šlo o najrozšírenejší typ vysokonapäťového vypínača. Základný princíp fungovania tlakovzdušného vypínača je, že zháša oblúk v komore pomocou stlačeného vzduchu, ktorým je oblúk ofúknuť, a tak dochádza k jeho uhasnutiu. Tento typ vypínača dokáže byť veľmi účinný a dokáže vypnúť aj prúd dosahujúci 100 kA. Pri zhášaní takehoto prúdu je však potrebné veľké množstvo stlačeného vzduchu. Tlakovzdušné vypínače sú vybavené tlakovou komorou, ktorá v sebe uchováva stlačený vzduch pripravený na vypustenie do zhášacej komory. Pri rýchlom uvoľnení nahromadeného natlakovaného vzduchu dochádza ku výraznému zvukovému efektu, ktorý môže byť v niektorých lokalitách problematický. Medzi známe VVN tlakovzdušné vypínače s výrazným zvukovým efektom patrí napríklad vypínač Škoda VVR [1].



Obr. 3.2 Tlakovzdušný VVN vypínač [5].

3.3 Plynové vypínače

Pri plynových vypínačoch sa najčastejšie používa v zhašacej komore plyn SF₆. Toto médium má veľmi dobré zhašacie vlastnosti, a preto sa v elektrotechnickom priemysle využíva veľmi často hlavne pri vysokonapäťových aplikáciách. Vypínače naplnené plynom SF₆ majú spravidla menšie rozmery ako predošlé dva typy uvedených vypínačov, pretože ako izolačné médium v komore je použitý plyn SF₆, ktorý ma lepšie izolačné vlastnosti. Sú takisto spoľahlivejšie a ich funkčnosti je bezpečnejšia a efektívnejšia [1].

3.3.1 Fyzikálne a chemické vlastnosti plynu SF₆

Fluorid sírový patrí medzi plyny s najväčšou molárnou hmotnosťou. Je nehorlavý, bez zápachu a nejedovatý. Súčiniteľ prestupu tepla tohto plynu je pri tlaku 0,2 MPa 2,5× krát väčší ako pri vzduchu. Toto je veľmi významná fyzikálna vlastnosť plynu SF₆ využívaná hlavne pri odvádzaní tepla z hlavných kontaktov spínacích zariadení. Ďalšou vynikajúcou vlastnosťou plynu SF₆ je schopnosť zachytávať voľné elektróny. Túto vlastnosť má plyn SF₆ vďaka voľnému miestu pre elektróny na poslednom orbite. Plyn má na tomto orbite 4 elektróny avšak obsahuje miesto pre 10. Fluorid sírový je do 550 °C veľmi neaktívny a neraguje so žiadnou látkou bežne používanou pri stavbe vypínača.

Pri horení elektrického oblúhu vplyvom vysokej teploty sa plyn rozkladá na zlúčeniny s menším obsahom fluoru. Väčšina z nich sa však znova regeneruje na pôvodný fluorid sírový. Len malú časť týchto látok je potrebné odvieť vhodným absorbentom [1].

3.3.2 Elektrické vlastnosti plynu SF₆

Pri používaní fluoridu sírového v elektrických zariadeniach je kvôli bezpečnosti potrebné sledovať stav jeho vlhkosti. Pri ochladzovaní sústavy za zvýšenej vlhkosti dochádza ku vnútornému roseniu izolačných častí. Pri atmosférickom tlaku má plyn 2krát väčšiu elektrickú pevnosť ako vzduch alebo CO₂. Vo výkonových vypínačoch sa používa plyn pod tlakom 0,4 MPa. Elektrická pevnosť plynu pri klesaní tlaku po hodnotu 0,2 MPa narastá. Tento princíp plnenia má výhodné prevádzkové vlastnosti. Pri úniku plynu je možné včas zareagovať [1].

V prípade horenia elektrického oblúhu v prostredí naplnenom plynom SF₆ je plyn schopný naviazať na seba voľné elektróny. Ich spojením vzniknú negatívne nabité ionty ktoré majú vysokú hmotnosť a sú takmer nepohyblivé v pomere ku ľahkým voľným

elektrónom. Vplyvom týchto vlastností nemôžu ďalej tvoriť nosiče náboja a sú v tomto procese prakticky zanedbateľné. Lepší prechod tepla v plyne SF₆ má za následok lepšie chladenie horiaceho oblúku [1].



Obr. 3.3 Vypínač VF ABB plnený plynom SF₆.

3.4 Vákuové vypínače

Vákuové vypínače a vypínače plnené plynom SF₆ patria k moderným typom vypínačov. Vákuové zhášadlá majú proti ostatným zhášadlám výhodu v tom, že sú nehorľavé, majú menšie oblúkové napätie, majú malé opotrebenie a malý potrebný zdvih. Vytvorenie zhášacej vákuovej komory je však technologicky veľmi náročné [1].

3.4.1 Izolačné vlastnosti vákua

Elektrická pevnosť rovnako veľkej medzery je oveľa lepšia pri vákuu ako pri atmosferickom tlaku. Aj keď by vákuum malo byť dokonalým izolantom aj tu dochádza k prerazu. Vzdialenosť kontaktov pri vypnutom stave musí byť dimenzovaná tak aby nedošlo k prerazu vákuovej izolačnej vrstvy. Kontakty vákuových vypínačov sú vo vákuu 10⁻⁴ až 10⁻⁶ Pa. Pri tomto vákuu prevažuje v molekulách zbytkového plynu zrážanie medzi stenami a kontaktmi nad samotným zrážaním molekúl medzi sebou. Tým sa prakticky vylučuje zrážková ionizácia a nemôže dôjsť ku vzniku výboja pri rozpojení kontaktov na ktorých je priložené napätie [1].

3.4.2 Horenie oblúka vo vákuu

V zapnutom stave sa medzi hlavnými kontaktami vytvorí pár dotykových bodov ktorými preteká prúd. Pri vypínaní sa zmenší prítláčná sila kontaktov a tým dochádza ku zmenšovaniu počtu dotykových bodov až kým zostane jeden posledný v ktorom vplyvom Joulového tepla dochádza ku značnému ohrievaniu. Vplyvom tohoto ohrievania dôjde ku odpareniu materiálu, ktorý tvorí vztyčnú plochu hlavných kontaktov v danom bode. Následne dochádza ku ionizácii kovový pár a ku prenosu prúdu vzniknutým plazmatom. Na katóde dôjde ku vzniku katódovej škvvrny, ktorá je zdrojom kovových pár pre horiaci oblúk. Horiaci oblúk má tvar kužeľa a jeho dotyková plocha na anode je vplyvom kuželovitého tvaru pomerne veľká a tak nedochádza k až tak výraznému zahrievaniu na anóde. Pri horení oblúka unikajú do okolného priestoru mimo horenia oblúka ionizované časti kovových pár. Tieto častice je potrebné doplnovať z katódovej škvvrny a pri ich nedostatku dochádza ku nestabilite oblúka. Pri prechode striedavého prúdu oblúkom dochádza ku zániknutiu katódových škvŕn za čas zhruba 10^{-8} s. Atómy kovových pár miznú z priestoru medzi kontaktami za čas 10^{-3} až 10^{-4} m/s. Rýchle opustenie priestoru medzi kontaktami urýchľuje deionizáciu prostredia. Časť týchto pár následne kondenzuje na anode prípadne na tieniacich krytoch, ktoré obklopujú kontakty. Pri vypínaní vákuového vypínača teda dochádza ku strate častí kontaktného materiálu. Vákuový vypínač potrebuje na horenie oblúka kovové pary vznikajúce v katódovej škvvrne. Vplyvom prechodu prúdu nulou a následnej zmene polarita pri striedavom prúde dochádza ku zániku pôvodnej katódovej škvvrny. Na novej katóde (predtým anóde) sa nenachádza prehriate miesto a teda dochádza ku zániku elektrického oblúka pri prvom prechode prúdu nulou [1].

3.4.3 Technológie používané pri vákuových vypínačoch

Hlavný dôraz je kladený na material použitý na hlavných kontaktoch. Väčšinou sa používajú zmesi dvoch kovov. Kombinácia týchto dvoch materiálov musí dokázať zabezpečiť dostatočné odparenie materiálu kvôli schopnosti udržania oblúka do najbližšieho prechodu prúdu nulou a zároveň musí byť material dostatočne pevný a vhodný na tvorbu elektrických kontaktov. Izolačná časť je väčšinou vyrobená z keramiky alebo skla. Dostatočná tesnosť medzi pohyblivými časťami je zabezpečená pomocou

takzvaného vlnovca. Vlnovec aj vákuovú komoru môžeme vidieť na obrázku 4.1 na strane 21 [1].

Vývoj vákuových vypínačov pre napäťové hladiny 220 a 400 kV je veľmi problematický a v súčasnosti sa na tieto napäťové hladiny používajú vypínače plnené plynom SF₆ alebo tlakovzdušné vypínače. Najvyššia hodnota napätia, pre ktorú sú vákuové vypínače vyrábané je momentálne 145 kV. Na obrázku 3.4 môžeme vidieť vákuový vypínač 3AV1FG 72.5 kV od spoločnosti Siemens.



Obr. 3.4 Vypínač 3AV1FG 72.5 kV od spoločnosti Siemens [4].

3.5 Magnetické vypínače

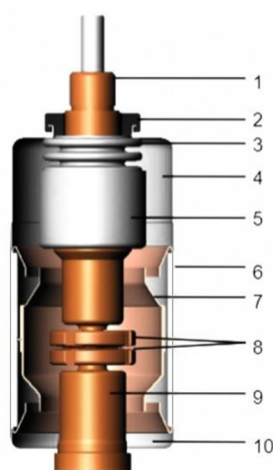
Magnetické vypínače využívajú na zhasenie elektrického oblúka vlastnú energiu. Pri vypínaní dôjde ku natiiahnutiu oblúka do zhášacích komôr. Odpor oblúka tým značne narastie a dôjde k jeho uhasnutiu. Podstatou týchto vypínačov je vznik magnetického poľa, ktoré interaguje s iným magnetickým poľom. V praxi je zdrojom druhého magnetického poľa cievka, ktorá je zapojená do série medzi kontaktami. Magnetické vypínače sú vhodné na zhášanie jednosmerného oblúka. Problém pri týchto vypínačoch môže nastať, ak je pri vypínaní prúd, ktorý tečie kontaktami menší, ako nominálny prúd vypínača. Pri vypínaní menších prúdov je vyfukovanie oblúka do zhášacích komôr nedostatočné, a tak môže dochádzať ku opaľovaniu kontaktov [1].

4 VYPÍNAČ VD4

Vypínač VD4 je trojfázový vákuový vypínač vyrábaný spoločnosťou ABB. Patrí medzi moderné typy vypínačov a v praxi je možné sa s ním veľmi často stretnúť. Jeho napäťová hladina sa pohybuje od 12 do 25 kV a prúdová zaťažiteľnosť od 630 do 2500 A. Táto práca sa bude konkrétnejšie venovať 25 kV prevedeniu s nominálnou prúdovou zaťažiteľnosťou 1250 A.

4.1 Vákuová komora

Vypínač VD4 využíva, ako každý iný vákuový vypínač, izolačné vlastnosti vákua v spínacej komore. Pri rozpojení kontaktov a prechode prúdu dochádza k vytvoreniu kovových pár v komore, následkom čoho začne v komore horieť oblúk, ktorý uhasína pri najbližšom prechode prúdu nulou. Pri uhasnutí oblúka, pary veľmi rýchlo znova skondenzujú a dochádza tak ku obnoveniu dielektrických vlastností komory. Podrobnejšie sa tejto problematike venujeme na strane 19 časť 3.4.2. Keďže je komora vákuová, nedochádza na kontaktoch ku oxidáciám a zároveň je chránená pred nečistotami. Samotná vákuová komora sa zakladá z viacerých častí. Jej časti môžeme vidieť na obrázku 4.1 [3].



1. Vývod
2. Vedenie
3. Vlnovec
4. Kryt zhášadla
5. Tienenie
6. Keramický izolátor
7. Tienenie
8. Kontakty
9. Vývod
10. Kryt zhášadla

Obr. 4.1 Detail vákuovej komory vypínača VD4 [3].

4.2 Princíp funkcie vypínača VD4

Na správnu funkciu vypínača je potrebné, aby aj napriek vákuu v zhášacej komore došlo k rozpojeniu kontaktov za dostatočne krátky čas, a naopak určitý čas je potrebný dodržať aj pri spínaní kontaktov. Na zapínanie a vypínanie vypínač VD4 využíva mechanickú energiu pružiny. Túto energiu do pružiny dodá elektromotor cez prevodovku. Elektromotor vo vypínači je jednosmerný na 120-230 VDC. Pred napájanie elektromotoru je umiestnený usmerňovač, ktorý zabezpečuje, aby pohon vypínača mohol byť napájaný aj zo siete 230 VAC 50Hz. Proces pri ktorom je do pružiny dodávaná energia pre vypnutie a zapnutie sa nazýva strádanie. Pri strádaní vypínača elektromotor otáča pomocou prevodovky mechanické časti vypínača, ktoré pružinu roztáhajú. Keď sa pružina dostane do požadovanej polohy a je dostatočne napnutá, vypínač mechanicky vyradí mechanizmus jej napínania a zároveň mechanicky vypne prívod napätia do elektromotora. Strádanie je možné aj mechanicky a to pomocou strádacej kľuky. Vypínač je nastavený tak, aby za bežnej prevádzkovej situácie mal vždy dostatok energie na bezpečné vypnutie [3].

Pri príchode elektrického povelu na zapnutie alebo vypnutie vypínača je privedené napätie na zapínaciu, alebo vypínaciu cievku, ktorá zapôsobí na zapínací, alebo vypínací mechanický systém vypínača. Energia z pružiny zapôsobí na tiahlo a to spôsobí rozopnutie alebo zopnutie kontaktov vo vákuovej komore. Vypínač je možné zapnúť alebo vypnúť aj mechanicky miestne stlačením zapínacieho, alebo vypínacieho tlačidla. Vypínač môže takisto obsahovať aj podpäťovú cievku, ktorá nedovolí zapnúť vypínač pokiaľ na ňu nie je privedené napätie. Detailnejšie rozloženie jednotlivých dielov môžeme vidieť na obrázku 4.2 [3].



Obr. 4.2 Detail mechaniky vypínača VD4.

4.3 Konštrukcia vypínača

Vypínač sa skladá zo základných častí, ktoré majú za úlohu zabezpečiť dostatočnú mechanickú a elektrickú pevnosť. Pri vypínaní skratu je mechanické a elektrické namáhanie vypínača veľmi vysoké. Tomu odpovedá aj jeho základná konštrukcia. Celý vypínač je umiestnený na základnej kovovej konštrukcii, na ktorej sú primontované zhášacie komory umiestnené v púzdre z epoxidovej živice. Vákuová komora má spodný a horný vývod, ktorý je vyvedený von z epoxidového púzdra. Oba vyvedené kontakty sú postriebrené kvôli zmenšeniu prechodových odporov a kvôli zamedzeniu oxidácie. Celý vypínač VD4 môžeme vidieť na obrázku 4.3 [3].



Obr. 4.3 Vypínač VD4 [5].

5 VYPÍNAČ AEG S1-245

Vypínač S1-245 je výkonový vypínač plnený plynom SF₆ s pohonom na stlačený vzduch určený pre napät'ovú hladinu 245 kV. Komora výkonového vypínača je plnená plynom SF₆, ktorý zabezpečuje dostatočné izolačné vlastnosti. Pohon je na stlačený vzduch, čo znamená, že vypínač potrebuje kompresorovú stanicu, prípadne iný zdroj stlačeného vzduchu. Tlaková komora vypínača má povolený prevádzkový tlak 4.2 MPa. Technologicky má takýto pohon svoje výhody, ale na druhej strane aj nevýhody. Celú vzduchotechniku okolo vypínača je potrebné udržiavať v technicky dobrom stave a zamedzovať vzniku prípadných únikov, ktoré by mohli ohroziť správnu funkciu vypínača.

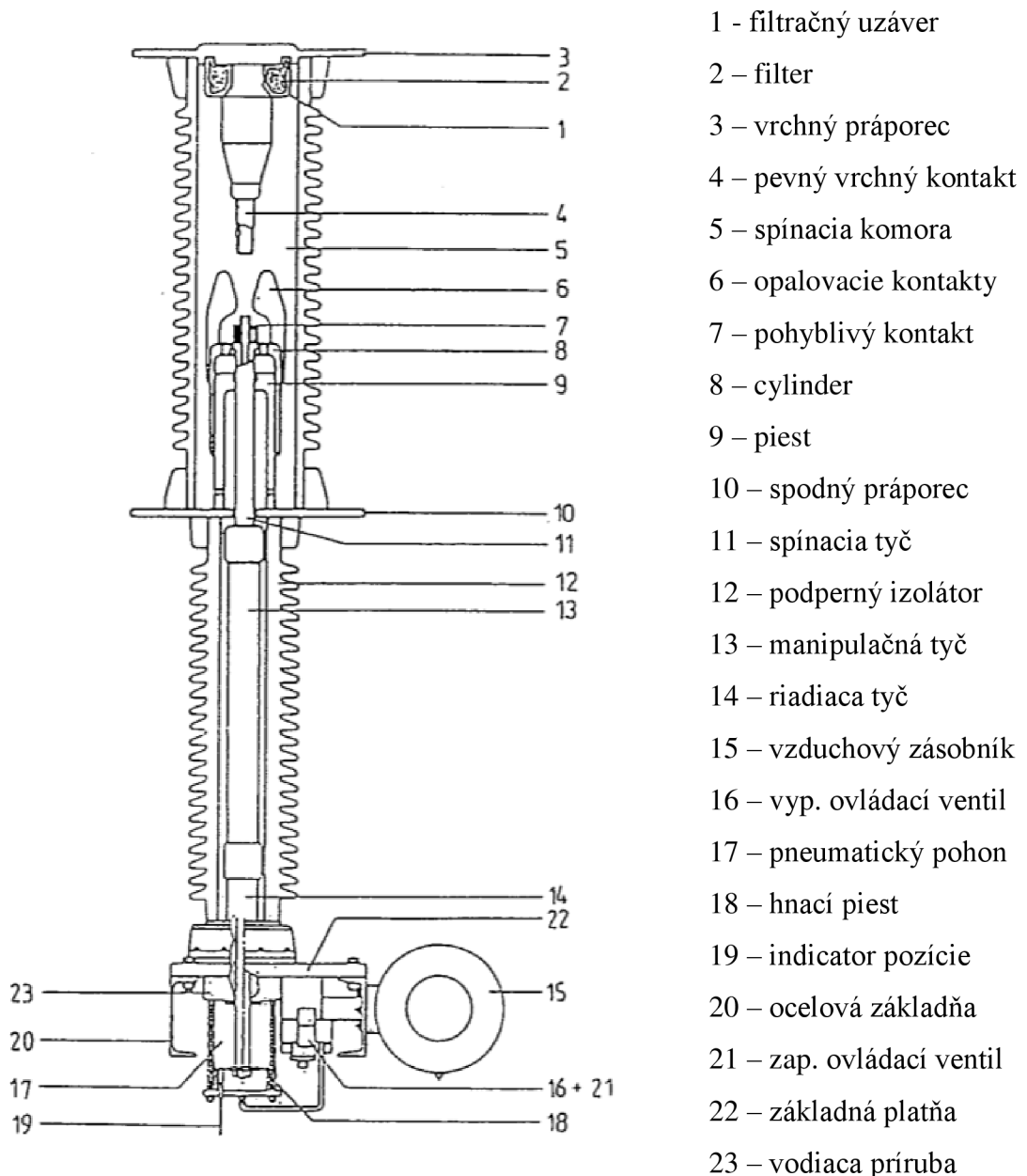
5.1 Konštrukcia vypínača

Vypínač je samozrejme s porovnaním s VD4 podstatne väčší. Je určený pre vonkajšie prevedenie. Skladá sa zo základnej konštrukcie, na ktorej sú umiestnené dva podperné izolátory. Dva podperné izolátory sú tu použité kvolí jednoduchšiemu výrobnému procesu. Nasleduje dolný praporec vypínača, ktorý delí od horného vypínacia komora.

Vypínacia komora sa zkladá z dvoch nožov, ktoré sú zasúvané alebo vysúvané do učených púzdiar. Jednotlivé časti vypínača môžeme vidieť na obrázku 5.2. Fotku vypínača v rozvodni môžeme vidieť na obrázku 5.1.



Obr. 5.1 Vypínač AEG S1-245 rozvodňa R220kV.



Obr. 5.2 Popis jednotlivých častí vypínača AEG S1-245 [14].

Pri zapínaní vypínača dôjde ku uvoľneniu stlačeného vzduchu do pneumatického pohonu (9) zo spodnej strany jeho piestu a tým dôjde ku zasunutiu spodného pohyblivého kontaktu (7) do vrchného pevného kontaktu (4). Následne dôjde ku zmene na indikatori pozície (19) a kompresor začne znovu natlakovávať vzduchovú komoru (15) [14].

Pri vypínaní vypínača dôjde ku uvoľneniu stlačeného vzduhu pomocou vypínacieho ovládacieho ventilu (16) a stlačený vzduch je z vrchnej strany privedený do piestu v pneumatickom pohone (17). Tým dôjde ku rozpojeniu hlavných kontaktov (4, 10). V prípade prevedenia vypínača na 245 kV, čo je náš prípad, obsahuje jeho základňa

konštrukcia ešte jeden podperný izolátor (12), kôli zväčšeniu izolačnej vzdialenosti. Vypínací a zapínací ovládací ventil (16, 21) je ovládaný elektronicky pomocou zapínacej a vypínacej cievky [14].

6 NORMY PRE DANÉ VYPÍNAČE

VN a VVN vypínače musia spĺňať určité definované normy. Každý vypínač má iné prevádzkové vlastnosti a tak presnú definíciu parametrov, ktoré musí vypínač spĺňať uvádza výrobca vypínača. Vypínače však musia spĺňať typové a kusové skúšky. Typové skúšky sú vykonávané výrobcom po vyrobení zariadenia.

6.1 Normy definujúce kusové skúšky

Kusové skúšky sú skúšky ktoré sa robia za účelom zistenia závad na zariadení priamo na mieste prevádzky. Kusové skúšky pre VN vypínače sú definované v norme STN EN 62271-100 (ďalej len “v norme”). Táto norma sa v niektorých častiach odkazuje na normu STN EN 60694 [10].

Kusové skúšky týchto zariadení podľa normy zahŕňajú:

- skúšku elektrickej pevnosti izolácie hlavného obvodu
- skúšku elektrickej pevnosti izolácie riadiacich a pomocných obvodov
- mechanické funkčné skúšky
- meranie elektrického odporu hlavného obvodu
- skúšku tesnosti
- kontrola dokumentácie a vizuálnu prehliadku

6.2 Skúška elektrickej pevnosti izolácie hlavného obvodu

Norma uvádza že sa použije skúška krátkodobým výdržným striedavým napätím za sucha. Skúška by sa mala ďalej vykonávať na čistom suchom a kompletnom zariadení alebo na jednotlivých póloch zariadenia. Skúšobné napätie by malo odpovedať nominálnemu napätiu zariadenia. Norma ďalej uvádza že skúšobné napätie by malo byť na vypínač privedené podľa tabulky 6.1 [10].

Tab. 6.1 Princíp prikladania napätia pri skúške elektrickej pevnosti [10].

| Skúška číslo: | Stav vypínača | Napätie sa prikladá na: | Zem pripojená na: |
|---------------|---------------|-------------------------|-------------------|
| 1 | Zapnuté | AaCc | BbF |
| 2 | Zapnuté | Bb | AaCcF |
| 3 | Vypnuté | ABC | abcF |

Popis použitých symbolov ku tabuľke 6.1:

- A, B, C – vrchné práporce fáz L1 až L3
- A, b, c – spodné práporce fáz L1 až L3
- F – kostra prístroja

6.3 Meranie elektrického odporu hlavného obvodu

Norma uvádza, že toto meranie má byť vykonané jednosmerným prúdom a merá sa pri ňom úbytok napätia alebo odpor na každom jednotlivom póle hlavného obvodu a to za podmienok, ktoré sa čo najviac približujú podmienkam pri typovej skúške. Meria sa pri rovnakej teplote okolitého vzduchu a používajú sa rovnaké rozmiestnenia meracích bodov. Hodnota skúšobného meracieho prúdu má byť v rozmedzí 50 A až po nominálnu hodnotu meraného vypínača. Nameraná hodnota elektrického odporu by nemala presiahnuť 1,2 násobok hodnoty odporu R_u nameranej pred skúškou oteplenia. Limit pre maximálne hodnoty prechodového odporu určuje výrobca vypínača [11].

6.4 Mechanické funkčné skúšky

Mechanické funkčné skúšky obsahujú päť zapnutí a vypnutí vypínača pri najvyššom napájacom napätí ovládacích prvkov a pri najvyššom možnom tlaku (len ak prichádza do úvahy). Ďalej mechanické skúšky zahŕňajú päť zapnutí a vypnutí pri najnižšom napájacom napätí ovládacích prvkov a päť zapnutí a vypnutí pri nominálnom ovládacom napätí [10].

V prípade vypínača ktorý je určený na opätovné rýchle zapnutie a vypnutie je potrebné vykonať päť týchto cyklov, pričom čas medzi zapnutím a vypnutím nesmie prekročiť predpísaný čas pre menovitý spínací sled. Pri všetkých týchto meraniach je potrebné zaznamenať zapínací a vypínací čas a podľa potreby zaznamenať zmenu tlaku prípadne spotrebu media, ktorý vypínač obsahuje. Namerané hodnoty musia byť v rozsahu s predpísanými hodnotami uvádzanými výrobcom. Po vykonaní uvedených meraní je potrebné vykonať kontrolu spojov a kontrolu mechanických častí vypínača, ktoré slúžia ako ukazovatele stavu vypínača [10].

6.5 Elektrické vlastnosti a parametre vypínača VD4 24

Elektrické vlastnosti vypínača uvádzané výrobcom, ktoré musí vypínač VD4 24 spĺňať podľa uvedených noriem sú uvedené v tabuľke 6.2.

Tab. 6.2 Základné elektrické parametre vypínača VD4 24 [12].

| U_N [kV] | U_s [kV] | U_d [kV] | f [Hz] | I_r [A] | I_{sc} [kA] | I_k [kA] | I_p [kA] | t_{zap} [ms] | t_{vyp} [ms] |
|------------|------------|------------|----------|-----------|---------------|------------|------------|----------------|----------------|
| 25 | 25 | 50 | 50-60 | 1250 | 16 | 25 | 63 | 35-60 | 35-60 |

6.6 Elektrické vlastnosti a parametre vypínača AEG S1-245

Elektrické vlastnosti vypínača uvádzané výrobcom, ktoré musí vypínač AEG S1-245 spĺňať podľa uvedených noriem sú uvedené v tabuľke 6.3.

Tab. 6.3 Základné elektrické parametre vypínača AEG S1-245 [14].

| U_N [kV] | U_s [kV] | U_d [kV] | f [Hz] | I_r [A] | I_{sc} [kA] | I_k [kA] | I_p [kA] | t_{zap} [ms] | t_{vyp} [ms] |
|------------|------------|------------|----------|-----------|---------------|------------|------------|----------------|----------------|
| 245 | 245 | 460 | 50-60 | 2000 | 40 | 40 | 104 | 100-130 | 20-40 |

7 DIAGNOSTIKA VN VYPÍNAČOV

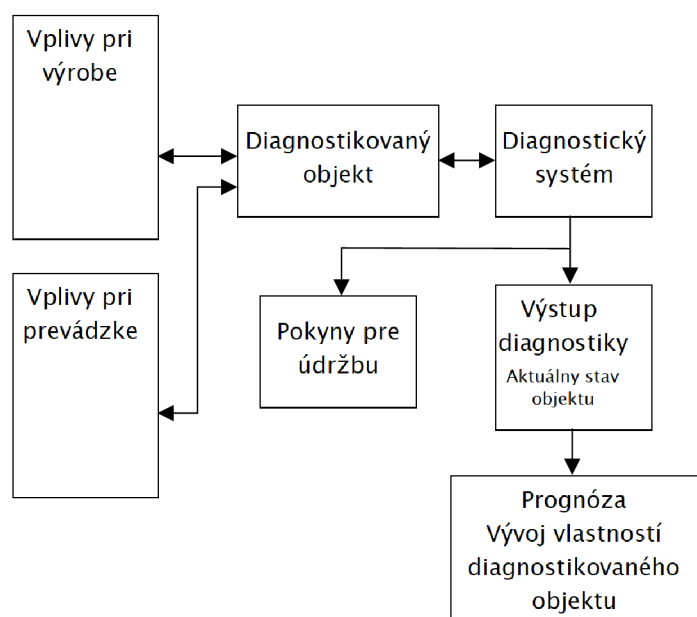
Pri diagnostike VN alebo VVN vypínača je potrebné dodržiavať určité pravidlá a predpisy, ktoré udáva norma a výrobca pre konkrétny typ vypínača. Každý vypínač, ktorý je nový tieto parametre dané od výrobcu prípadne dané normami splňuje. Problém nastáva po určitej dobe, keď je daný vypínač v prevádzke a je vyťažený. Výrobcovia preto udávajú, po akej dobe by mala byť na danom zariadení vykonaná diagnostika jeho správneho fungovania. Pri nevykonaní týchto pravidelných kontrol môže dôjsť k poruchám na vypínači, ktoré môžu narušiť funkčnosť vypínača, prípadne jeho bezpečnú prevádzku, a takisto môžu mať za následok výrazné zvýšenie prevádzkových nákladov.

7.1 Metodika diagnostiky

Diagnostika všeobecne slúži ako prostriedok na zistenie alebo určenie stavu diagnostikovaného objektu. V elektrotechnike sa jedná konkrétne o elektrotechnologickú diagnostiku. V elektrotechnickom priemysle sú tri dôležité oblasti diagnostiky. V prvom rade sa jedná o medzioperačné kontroly pri výrobe. Včasná diagnostikovanie chybného dielu pri výrobe zabezpečí aby bol chybný diel z výroby vylúčený a nebol použitý pri zostavovaní celého výrobku. Táto diagnostika má výhodné ekonomické aspekty. Ďalšia dôležitá diagnostika je výstupná kontrola. Pred tým ako výrobok opustí výrobnú spoločnosť je jeho správna funkcia skontrolovaná pri výstupnej kontrole. V poslednom rade sa jedná o pravidelnú prevádzkovú diagnostiku, ktorá má za úlohu pravidelne kontrolovať správnu funkciu výrobku. Pri pravidelných diagnostikách elektrických zariadení ako napríklad výkonových vypínačov sú zamerané údaje zaznamenané a následne archivované. Pri následných diagnostikách je potom možné prediktívne určiť či došlo k zhoršeniu stavu meraného parametru. Tieto údaje je následne možné použiť na úpravu výrobného procesu za účelom zlepšenia kvality výrobku. Diagnostika má za úlohu nielen odhaliť poruchu ale aj odporučiť alebo určiť následný postup pre údržbu [8].

Diagnostický systém sa skladá z dvoch základných častí. Sú to diagnostikovaný objekt a diagnostický systém. Základné súvislosti pri elektrotechnickej diagnostike sú uvedené na obrázku 7.1. Ako môžeme vidieť na obrázku 7.1 stav diagnostikovaného objektu úzko súvisí s vplyvmi pri výrobe a s vplyvmi pri prevádzke. Diagnostický systém zase zachycuje okamžitý stav diagnostikovaného objektu a ak je to potrebné vydáva

pokyny pre údržbu. Vďaka pravidelnej diagnostike objektu je následne možné vytvoriť prognózu ďalšieho vývoja. Vzhľadom na diagnostiku pri prevádzke je potrebné používať nedeštruktívne metódy diagnostiky, aby nedošlo ku poškodeniu meraného prístroja. Pri diagnostike výkonových vypínačov je možné používať jedny s nasledovne uvedených metód. Tieto metódy sú čiastočne stanovené normou a čiastočne stanovené technologickým postupom spoločnosti, ktorá ich vykonáva [8].



Obr. 7.1 Základné súvislosti pri diagnostike elektrických zariadení [8].

7.2 Meranie prechodových odporov

Správne meranie prechodových odporov je veľmi dôležité z pohľadu bezpečnosti prevádzky VN vypínača, ale takisto z pohľadu ekonomickej efektivity. Nízke prechodové odpory sú zárukou toho, že sa vypínač nebude prehrievať v oblasti styčných plôch. Prehrievanie v oblasti styčných plôch spôsobuje degradáciu materiálu v týchto miestach, čo spätne potom spôsobuje zvýšenie prechodových odporov a ďalšie zahrievanie týchto častí vypínača. Z ekonomického hľadiska platí, že čím väčšie prechodové odpory, tým sa nám zvýši spotreba elektrickej energie - väčšie prevádzkové náklady. Meranie prechodových odporov sa vykonáva pomocou mikroohmmetra, ktorý nám cez jednotlivú fázu na zopnutom vypínači púšťa nastavený prúd a zároveň meria úbytok napätia, z čoho následne prepočíta prechodový odpor. Jedná sa o 4 vodičový typ merania vďaka ktorému sa do výsledného nameraného odporu nezapočítava aj prechodový odpor medzi svorkami

prúdovodných káblov a samotný odpor prívodných vodičov. Jednosmerný prúd je meraný pomocou ampérmetra a meranie napätia prebieha voltmetrom so samostatnými meracími káblami, ktoré sú upevnené čo najbližšie ku spínacej komore.

7.3 Meranie zapínacích a vypínacích časov vypínača

Pri meraní zapínacích a vypínacích časov je potrebné, aby daný vypínač vypínal a zapínal kontakty dostatočne rýchlo ale zároveň nie moc rýchlo kvôli vzniku zotaveného napätia. Pri príliš rýchlom rozopnutí kontaktov dochádza ku nárastu zotaveného napätia a čím väčšie je zotavené napätie tým je väčšia pravdepodobnosť vzniku elektrického oblúku. Dostatočne rýchle zapnutie a vypnutie je potrebné, aby sme minimalizovali, prípadne úplne anulovali vznik striedavého elektrického oblúku. Vzhľadom na tieto dva faktory je potrebné aby sa vypínacie a zapínacie časy vypínača nachádzali v určitých limitoch ktoré definuje výrobca.

Meranie sa vykonáva meracím prístrojom, ktorý meria na jednotlivých fázach stav kontaktov. Merací prístroj berie ako referenčnú hodnotu pre meranie moment, kedy privedie na zapínanie alebo vypínanie cievku vypínača napätie a následne kontroluje stav hlavných kontaktov.

7.4 Meranie kvality vákua

Meranie kvality vákua sa vykonáva na vákuových vypínačoch. Overenie správnych hodnôt vákua v komorách vypínača je potrebné, pretože kvalitné vákuum minimalizuje vznikajúce elektrické oblúky pri vypínaní a zapínaní vypínača a zabezpečuje dostatočné izolačné vlastnosti v komore. Princíp pri meraní je nasledovný. Pri vypnutom stave vypínača je na jeho vrchný praporec privedený kladný pól skúšobného jednosmerného napätia. Na spodný praporec je privedený záporný pól jednosmerného napätia. Merací prístroj následne meria prúd ktorý prejde vákuovou komorou od jedného pólu ku druhému. Veľkosť nameraného prúdu následne odpovedá kvalite vákua a stavu vypínacej komory vypínača. Vplyvom intenzívnej prevádzky a používania daného vypínača sa zvyšuje riziko vzniku netesností v spínacej komore. Najhorší možný scenár, ktorý môže nastať je, že vplyvom opotrebenia materiálu dôjde k poškodeniu vysokého vákua v komore, čo by malo za následok zníženie izolačného stavu v spínacej komore, a tak by pri vypnutí alebo zapnutí vypínača došlo k vysokému nárastu namáhania hlavných

kontaktov prípadne ku úplnému zlyhaniu vypínača. Meranie je potrebné vykonávať s predpísanými hodnotami jednosmerného napätia. V prípade prekročenia týchto hodnôt, môže dôjsť k vzniku gama žiarenia v spínacej komore. Odporúčané hodnoty DC napätia použitého pri meraní VN vypínačov sú uvedené v tabuľke 7.1.

Tab. 7.1 Odporúčané hodnoty DC napätia použitého pri meraní kvality vákua na vypínači VD4 [12].

| U_N [kV]: | U_{DCtest} [kV]: |
|-------------|--------------------|
| 12 | 40 |
| 17,5 | 40 |
| 25 | 60 |

7.5 Meranie izolačných stavov

Pri tomto meraní je jedna z používaných metód voltampérová metóda. Meraná veličina je izolačný odpor, ktorý sa zmeria ako pomer privedeného jednosmerného napätia na meraný prvok a celkového prúdu v definovanom čase po pripojení napätia. Po priložení napätia na izoláciu meraného prvku je izolácia zelektrifikovaná a prúd, ktorý ňou pretiečie je pomerne veľký. Tento prúd následne veľmi rýchlo klesne a s pribúdajúcim časom klesá ďalej až kým nedosiahne takmer konštantú hodnotu. Pri meraní je potrebné merať dostatočne dlhý čas aby sa hodnota izolačného odporu ustálila. Odporúčaný čas merania je od 15 do 60 sekúnd [7].

Meranie izolačných stavov by sa malo vykonávať pred a po diagnostike vypínača. Zmeranie izolačných stavov pred diagnostikou nám zaručuje, že merania môžu prebehnúť bezpečne. Meranie izolačných stavov po celkovej diagnostike nám zaručuje, že pri práci na vypínači sme ho nepoškodili, prípadne si týmto meraním overujeme, že je možné vypínač bezpečne zasunúť naspäť do jeho poľa.

Minimálne izolačné odpory VN zariadení niesú v norme definované a nedefinuje ich ani výrobca meraných vypínačov. Pre vyhodnotenie merania sme tak použili odporúčané minimálne hodnoty ktoré sú uvedené v tabuľke 7.2.

Tab. 7.2 Odporúčané hodnoty minimálneho izolačného odporu na VN vypínačoch [9].

| U_N [kV]: | U_{DCmin} [kV]: | R_{min} [M Ω]: |
|-------------|-------------------|--------------------------|
| 2,5 | 1 | 500 |
| 5 | 2,5 | 1000 |
| 8 | 2,5 | 2000 |
| 15 | 2,5 | 5000 |
| 25 | 5 | 20000 |
| 35 a viac | 15 | 100000 |

8 DIAGNOSTIKA VYPÍNAČA VD4

Táto časť práce sa zameriava na prevedené diagnostické merania dvoch vypínačov VD4. V prvom prípade sa jedná o čisto nový vypínač, ktorý sme použili ako referenciu pre porovnanie nameraných hodnôt. V druhom prípade sa jedná o vypínač, ktorý bol 3 roky v prevádzke. Merania boli vykonané na kvalifikovanom pracovisku v Ružomberku. Jedná sa o vypínače s rovnakými parametrami. Nominálna hodnota prúdu vypínačov je 1250 A.

8.1 Meranie nového vypínača VD4

Meranie prebiehalo na novom, nepoužitom vypínači VD4, ktorý bol určený na následnú montáž do priemyselnej prevádzky. Toto meranie bolo vykonané na porovnanie nameraných hodnôt s používaným vypínačom VD4. Technické parametre vypínača sú uvedené v tabuľke 8.1.

Tab. 8.1 Technické parametre nového vypínača VD4.

| | | | |
|----------------|----------------|------|-------------|
| Typ: | VD4 24.12.25 | Up: | 125 kV |
| Trieda: | M2 | Ud: | 50 kV |
| Rok výroby: | 2019 | f: | 50/60 Hz |
| Sériové číslo: | 1VC1BM00000630 | Ik: | 25 kA |
| Napätie: | 24 kV | tk: | 3 s |
| Menovitý prúd: | 1250 A | Isc: | 25 kA/63 kA |
| Váha: | 104 kg | Ic: | 31,5 A |

Up – Výdržné napätie pri atmosferickom impulse

Ud – Menovité výdržné striedavé napätie

f – Frekvencia

Ik – Menovitý krátkodobý výdržný prúd

tk – Menovité trvanie skratu

Isc – Vypínací skratový prúd/Zapínací skratový prúd pri napätí 24 kV a jednosmernej zložke menšej ako 30 %

Ic – Vypínací prúd nezaťaženej káblvej vedenia

8.1.1 Meranie izolačných stavov na novom vypínači VD4

Najdôležitejším meraním pri diagnostike vypínačov je meranie izolačných stavov, a preto ho vykonávame ako prvé. Týmto meraním overíme odizolovanosť vodivých častí od kostry. Toto meranie je odporúčané vykonať aj po skončení ostatných meraní. Meranie sme vykonali pomocou meracieho prístroja Megger S1-1568. Izolačný stav sme testovali po dobu 15 s pri skúšobnom napätí 10 kV DC. Pri priloženom uvedenom napätí meria prístroj zvodový prúd s pomocou ktorého následne vypočíta izolačný odpor. V prvej časti merania sme priložili skúšobné napätie postupne na jednotlivé fázy voči kostre vozíka. Merací kábel s kladným napätím bol priložený na jednotlivé fázy a merací kábel so záporným napätím sme pripevnili o kostru vypínača. V druhej časti merania sme prikladali meracie káble postupne medzi jednotlivými fázami tak, ako je uvedené v tabuľke 8.2. Pri oboch meraniach bol vypínač v zapnutom stave. Prvou časťou merania sme overili dostatočnú odizolovanosť hlavnej prúdovodnej dráhy od kostry vozíka. V druhej časti merania sme overili dostatočnú odizolovanosť jednotlivých fáz vypínača. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 8.2. Samotné meranie môžeme vidieť na obrázku 8.1.

Tab. 8.2 Namerané izolačné stavy nového vypínača VD4.

| Obvod | | Izolačný odpor [GΩ] |
|-------|---------------|---------------------|
| L1 - | Kostra vozíka | 510 |
| L2 - | Kostra vozíka | 494 |
| L3 - | Kostra vozíka | 526 |
| L1 - | L2 | 323 |
| L1 - | L3 | 698 |
| L2 - | L3 | 563 |

Namerané hodnoty izolačného odporu jednotlivých meraní vyšli v rádoch stoviek giga óhmov. Vzhľadom na skúšobné napätie 10 kV jednosmerných bude zvodový prúd v rádoch nano ampér čo odpovedá požiadavkam na kvalitu izolácie. Namerané hodnoty takisto zďaleka prevyšujú odporúčané minimálne hodnoty uvedené v tabuľke 7.2 na strane 33. Použité meracie prístroje sú uvedené v tabuľke 8.3.



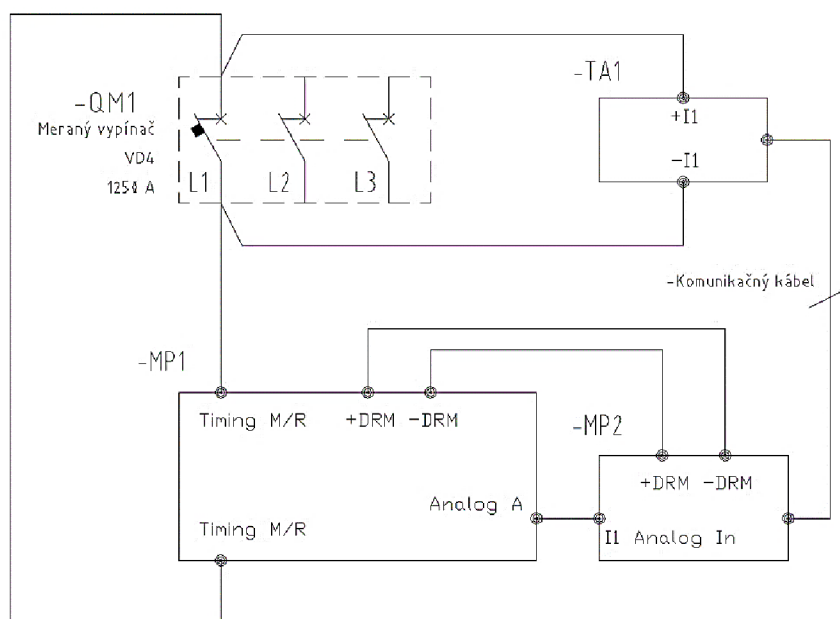
Obr. 8.1 Meranie izolačných stavov.

Tab. 8.3 Použité meracie prístroje pri meraní izolačného odporu.

| Názov: | Merané veličina: | Vyr. číslo: | Dátum kalibrácie: |
|----------------|------------------|-------------|-------------------|
| Megger S1-1568 | Izolačný odpor | 101722177 | 10.5.2018 |

8.1.2 Meranie prechodových odporov na novom vypínači VD4

Meranie prechodových odporov hlavných kontaktov bolo vykonané pomocou meracieho prístroja Programma TM1800 a pomocou nadstavby Megger SDRM202. Bloková schéma zapojenia merania je zobrazená na obrázku 8.2. Po pripojení meracích prístrojov a zariadení podľa uvedenej schémy sme na meracom prístroji TM1800 zvolili funkciu merania statických prechodových odporov SRM. Po navolení použitých kanálov sme dali povel na vykonanie merania. Merací prístroj TM1800 následne vydal pomocou komunikačného kábla signál na zapnutie prúdového zdroja SDRM202 (v schéme TA1). Zdroj prúdu následne generoval prúd 100 A po dobu 1 sekundy a merací prístroj TM1800 meral úbytok napätia pomocou meracích káblov privedených na kanál Timing M/R. Z nameraných hodnôt prúdu a napätia následne prepočítal prechodový odpor komory. Namerané hodnoty sú uvedené v tabulke 8.4.



Obr. 8.2 Bloková schéma merania prechodového odporu fázy L1

Popis jednotlivých prvkov ku obrázku 8.2 :

- QM1 – Meraný vypínač VD4
- MP1 – Merací prístroj TM1800
- MP2 – Napät'ovo prúdový prevodník s komunikačným modulom
- TA1 – Zdroj jednosmerného prúdu

Tab. 8.4 Prechodové odpory nového vypínača VD4.

| Fáza | I [A] | ΔU [mV] | R [$\mu\Omega$] |
|------|-------|-----------------|-------------------|
| L1 | 103,5 | 1,9 | 18,3 |
| L2 | 111,1 | 2 | 18,4 |
| L3 | 113,6 | 2,1 | 18,7 |

Namerané hodnoty sme následne porovnali s hodnotami uvedenými v meracom protokole, ktorý ku vypínaču dodáva výrobca. Nastavená hodnota prúdu ktorú použil pri meraní výrobca sa zhoduje s našou t.j. 100 A. Porovnané hodnoty sú uvedené v tabulke 8.5.

Tab. 8.5 Prechodové odpory udávané výrobcom porovnané so zmeranými.

| Fáza | R_V [$\mu\Omega$] | R_M [$\mu\Omega$] | ΔR [$\mu\Omega$] | $\Delta R\%$ [%] |
|------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|------------------|
| L1 | 17,06 | 18,3 | 1,24 | 7,26 |
| L2 | 17,83 | 18,4 | 0,57 | 3,2 |
| L3 | 17,26 | 18,7 | 1,44 | 8,34 |

Z predošlej tabuľky vyplýva, že zmerané hodnoty sa mierne odlišujú od hodnôt, ktoré uvádza výrobca. Táto odchýlka bola spôsobená tým, že pri meraní sa nám do prechodového odporu započítal aj prechodový odpor medzi šrúbou nakrútenou v hlavicí vypínača. Šrúba bola do vypínača nakrútená z dôvodu realizácie merania v našich podmienkach.

Vypínač splňuje podmienku udávanú výrobcom a prechodový odpor nových hlavných kontaktov neprekočil limit 20 $\mu\Omega$. Meranie prechodových odporov môžeme vidieť na obrázku 8.3. Použité meracie prístroje sú uvedené v tabuľke 8.6.



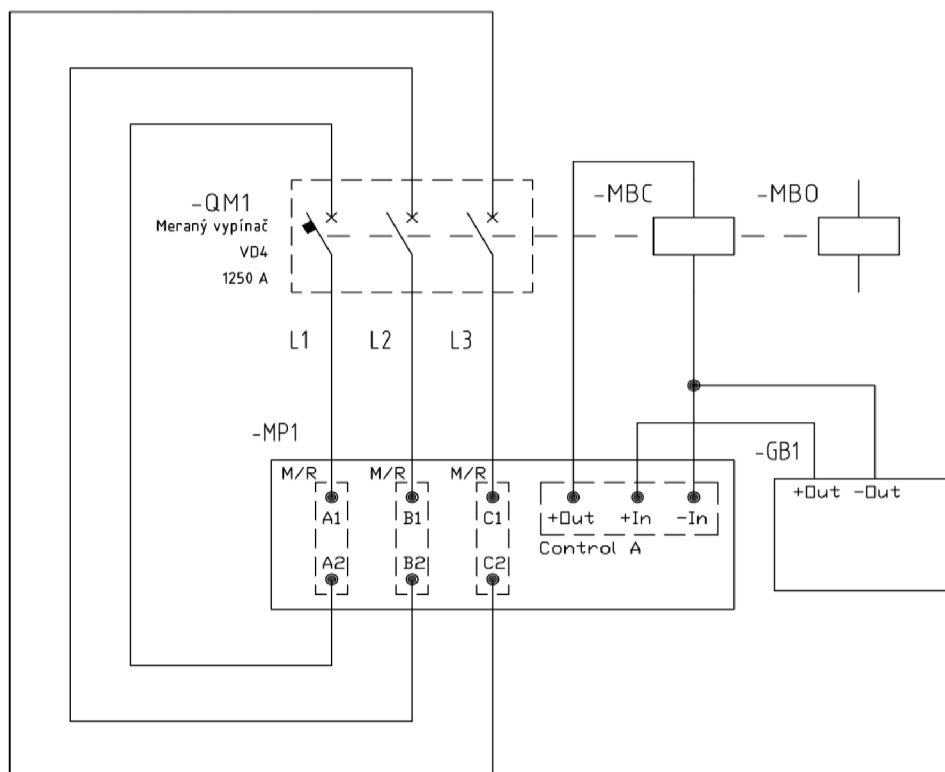
Obr. 8.3 Meranie prechodových odporov na VD4.

Tab. 8.6 Použité meracie prístroje pri meraní prechodových odporov

| Označenie: | Typ prístroja: | Názov: | Vyr. číslo: | Dátum kalibrácie: |
|------------|----------------------------|-------------------|-------------|-------------------|
| MP1 | Analyzátor VN vypínačov | Programma TM1800 | 1710611 | 23.5.2018 |
| MP2 | Prúdovo napäťový prevodník | SDRM202 | 202563 | 23.5.2018 |
| TA1 | Prúdový zdroj | SDRM202 CG 902-70 | 9500169 | 23.5.2018 |

8.1.3 Meranie zapínacích a vypínacích časov nového vypínača VD4

Meranie zapínacích a vypínacích časov bolo vykonané pomocou meracieho prístroja Programma TM1800 (v blokovej schéme -MP1). Ako zdroj jednosmerného napätia sme použili zdroj B10E (v blokovej schéme -GB1) od spoločnosti Megger. Napätie bolo privedené zo zdroja B10E na elektronicky zopínané kontakty meracieho prístroja TM1800, odkiaľ boli vyvedené káble na zapínanie alebo vypínanie cievky vypínača. Zapínanie cievky má na vypínači označenie MBC, vypínanie cievky má označenie MBO a obidve boli na 220V DC. Merací prístroj TM1800 určuje stav vypínača pomocou vodivého spojenia s vrchými a spodnými hlavnými kontaktmi vypínača. Vypínač sme uviedli do nastrádaného stavu. Následne sme meraciemu prístroju TM1800 dali povel na zapnutie vypínača. Merací prístroj zopol pomocný kontakt medzi svorkami +In a +Out, cez ktorý sa následne dostal kladný pól napätia na zapínanie cievky vypínača a došlo ku jeho zapnutiu. Merací prístroj používa ako časovú referenciu moment zopnutia pomocného kontaktu medzi svorkami +In a +Out a zaznamenával čas, ktorý uplynul medzi zopnutím pomocného kontaktu a zopnutím hlavných kontaktov vypínača. Blokovaná schéma zapojenia meracieho prístroja a vypínača je na obrázku 8.4. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 8.7 na strane 41. Použité meracie prístroje sú uvedené v tabuľke 8.8 na strane 42.



Obr. 8.4 Bloková schéma zapojenia pri meraní zap/vyp časov.

Popis jednotlivých prvkov ku obrázku 8.4:

- QM1 – meraný vypínač VD4
- MBC – zapínacia cievka vypínača
- MBO – vypínacia cievka vypínača
- MP1 – merací prístroj TM1800
- GB1 – zdroj jednosmerného napätia

Tab. 8.7 Zapínacie a vypínacie časy nového vypínača VD4.

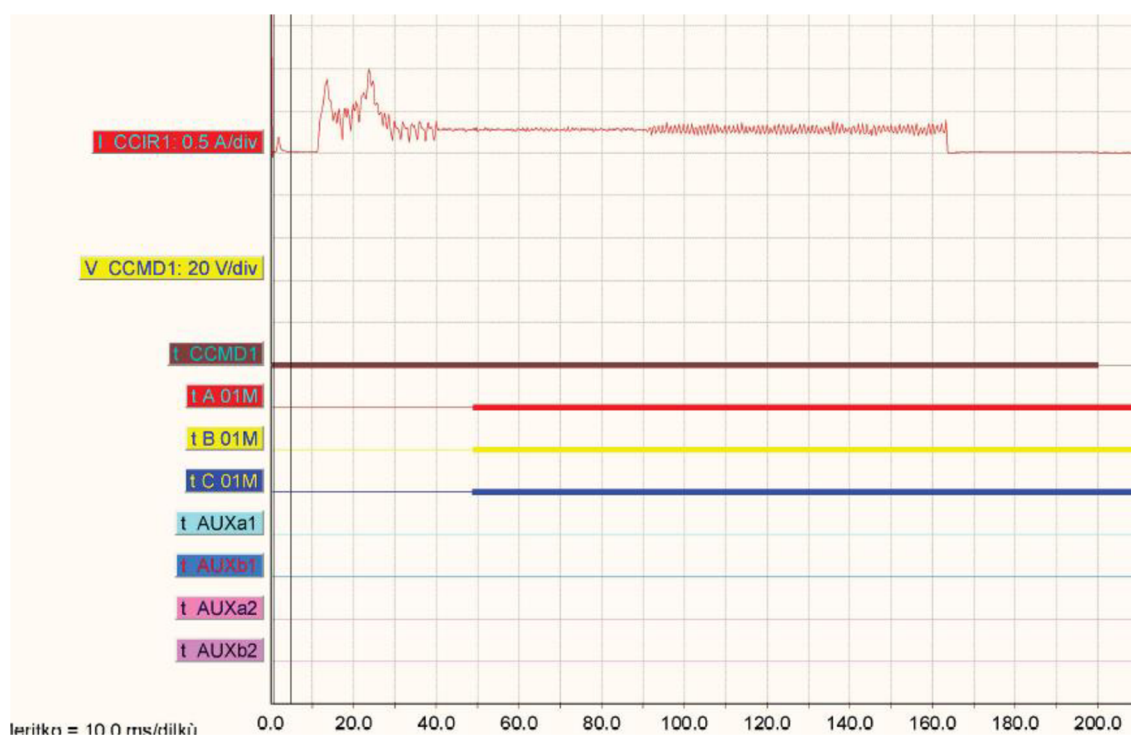
| | L1 | L2 | L3 |
|-------------------|-------|-------|-------|
| Zapínací čas [ms] | 49,03 | 49,13 | 48,88 |
| Vypínací čas [ms] | 35,45 | 35,65 | 35,90 |

Výrobca uvádza, že hodnoty zapínacích časov sú 48 ms a hodnoty vypínacích časov sú 36 ms. Namerané hodnoty zapínacích časov odpovedajú hodnotám, ktoré uvádza

výrobca a pohybujú sa v rozmedzí 35-60 ms. Namerané vypínacie časy takisto splňujú limity uvádzané výrobcom a pohybujú sa v rozmedzí 35-60 ms. Rozdiel medzi zapínanými a vypínanými časmi jednotlivých fáz je v tomto prípade zanedbateľný. Na obrázku 8.5 môžeme vidieť grafický priebeh zapínaných časov vypínača a priebeh prúdu v zapínacej cievke. Tento obrázok je výsek z výstupného protokolu z meracieho prístroja. Detail a popis prúdu zapínacou cievkou je na obrázku 8.6. Celé uvedené výstupné protokoly sú priložené v prílohe číslo 1 a 2.

Tab. 8.8 Použité meracie prístroje pri meraní zapínaných a vypínaných časov

| Typ prístroja: | Názov: | Vyr. číslo: | Dátum kalibrácie: |
|-------------------------|------------------|-------------|-------------------|
| Analyzátor VN vypínačov | Programma TM1800 | 1710611 | 23.5.2018 |
| Zdroj napätia | Megger B10E | 1802297 | 6.4.2018 |

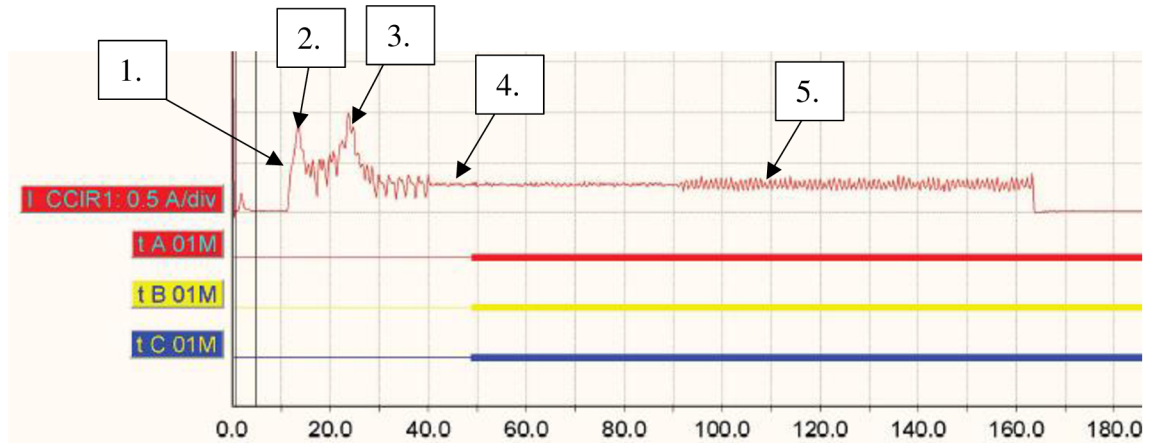


Obr. 8.5 Výsek z meracieho protokolu pre zapínané časy.

Popis jednotlivých veličín na obrázku 8.5 :

- I CCIR1 – prúd prechádzajúci zapínacou cievkou
- t A 01M – zapínaní čas fázy L1
- t B 01M – zapínaní čas fázy L2
- t C 01M – zapínaní čas fázy L3

Na nasledujúcom obrázku je detailnejší opis priebehu prúdu v zapínacej cievke nakoľko táto veličina je takisto veľmi dôležitý údaj pri diagnostike VN vypínača. Z priebehu prúdu v zapínacej cievke je možné určiť vzájomný stav cievky a mechaniky, ktorá na túto cievku nadväzuje. Pri meraní však došlo ku skresleniu prúdu prechádzajúceho zapínacou cievkou pravdepodobne z dôvodu vibrácií vypínača.



Obr. 8.6 Priebeh prúdu zapínacou cievkou

Popis ku obrázku 8.6 :

1. Sýtenie cievky
2. Začiatok pohybu armatúry
3. Uvoľnenie západky
4. Zopnutie hlavných kontaktov
5. Zkreslenie prúdu ktoré bolo spôsobené vybráciami vypínača.

8.1.4 Meranie integrity vákua na novom vypínači VD4

Na zmeranie kvality vákua se použil merací prístroj od spoločnosti Vanguard s typovým označením VBT-80P. Pri meraní sme použili odporúčané skúšobné napätie 60 kVDC, ktoré sme priviedli na vrchný a spodný praporec hlavných prúdovodných dráh jednotlivých fáz. Pri tomto meraní je potrebné aby bol vypínač vo vypnututom stave. Po privedení skúšobného napätia na hlavnú prúdovodnú dráhu, merací prístroj meria prúd, ktorý prechádza medzi vrchným a spodným kontaktom vypínača. Na základe zmeranej hodnoty tohto prúdu sme schopní vyhodnotiť kvalitu vákua v spínacej komore. Čím je nameraný prúd menší, tým je kvalita vákua vyššia. V prípade, že spínacia komora obsahuje nečistoty vo forme rôznych odparených materiálov prípadne vzduchu, ktorý sa do komory mohol dostať vplyvom netesností, sú hodnoty nameraného prúdu medzi

hlavnými kontaktami vyššie. Pri meraní sme použili maximálny prúdový limit 300 μA pri prekročení tohto prúdu merací prístroj prestane generovať napätie. Táto hodnota je takisto maximálna možná hodnota prúdu, ktorý pretečie medzi hlavnými kontaktami, pri prekročení tejto hodnoty merací prístroj vyhodnotí kvalitu vákuua v spínacej komore ako nevyhovujúcu. Zvolili sme najväčší možný čas merania t.j. 5 sekúnd. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 8.9. Použité meracie prístroje sú uvedené v tabuľke 8.10. Meranie integrity vákuua môžeme vidieť na obrázku 8.7. Výstup z merania integrity vákuua je uvedený v prílohe 3.

Tab. 8.9 Integrita vákuua nového vypínača VD4.

| Fáza | $U_{\text{test-DC}}$ [kV] | I_{limit} [μA] | I_{Namer} [μA] | t_{test} [s] |
|------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| L1 | 60,00 | 300,00 | 11,83 | 5,00 |
| L2 | 60,00 | 300,00 | 1,97 | 5,00 |
| L3 | 60,00 | 300,00 | 7,64 | 5,00 |



Obr. 8.7 Meranie kvality vákuua.

Tab. 8.10 Použité meracie prístroje pri meraní kvality vákuua

| Typ prístroja: | Názov: | Vyr. číslo: | Dátum kalibrácie: |
|---------------------------|------------------|-------------|-------------------|
| Analyzátor kvality vákuua | Vanguard VBT-80P | 54079 | 6.3.2019 |

8.1.5 Mechanické funkčné skúšky nového vypínača VD4

Pri mechanických funkčných skúškach bola vykonaná vizuálna kontrola mechanických častí vypínača. Následne bolo vykonaných 5 zapnutí a vypnutí vypínača pri nominálnej, maximálnej a minimálnej hodnote napájacieho napätia pomocných obvodov. Pri všetkých týchto meraniach sme postupovali ako pri meraní zapínacích a vypínacích časov. Požiadavku pre skúšky pri minimálnej hodnote napájacieho napätia ovládacích prvkov definuje norma STN EN 62271-100. Výrobca však uvádza v predávacom protokole aj hodnoty pri maximálnom ovládacom napätí. Minimálnu a maximálnu hodnotu ovládacieho napätia definuje ako 70% U_N a 110% U_N . Po vykonaní meraní sme namerané hodnoty spriemerovali a uviedli v tabuľke 8.11. Z nameraných hodnôt pozorujeme, že zapínacie aj vypínacie časy sa aj pri maximálnej a minimálnej hodnote napájacieho ovládacieho napätia pohybujú v limitoch 35-60 ms. Čas strádenia motora sme zmerali obdobne ako zapínacie a vypínacie časy a nameraný čas bol 13,7 s, čo splňuje limit udávaný výrobcom na 15 s. Použité meracie prístroje sú rovnaké ako v odstavci 8.1.3 [10].

Tab. 8.11 Spriemerované hodnoty zap. a vyp. časov pre 100% U_N , 70% U_N a 110% U_N

| | Zapínací čas [ms] | | | Vypínací čas [ms] | | |
|-----------------|-------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|
| | L1 | L2 | L3 | L1 | L2 | L3 |
| $U_N = 220$ VDC | 49,07 | 49,22 | 49,14 | 35,4 | 35,68 | 35,73 |
| $U_N = 154$ VDC | 52,54 | 52,34 | 52,75 | 39,85 | 39,61 | 39,75 |
| $U_N = 242$ VDC | 49,84 | 48,94 | 48,97 | 35,36 | 35,76 | 35,12 |

8.2 Meranie použitého vypínača VD4

Meranie bolo vykonané na vypínači zo zlievarenskej prevádzky, o ktorom vieme, že bol pod takmer konštantnou záťažou 870 A po dobu zhruba 4 rokov. Meraný vypínač slúži ako napájanie transformátora vlastnej spotreby. Jednalo sa o pevné prevedenie vypínača a kôli potrebám diagnostiky sme vypínač dočasne odpojili od prívodného a aj vývodného odpojovača. Diagnostika tohto vypínača slúži ako predikcia pre prípadné komplikácie. Konkrétne technické parametre tohto vypínača sú uvedené v tabuľke 8.12. Meracie postupy použité pri meraní spolu s meracími prístrojmi sú totožné s meracími postupmi a prístrojmi použitými pri meraní nového vypínača VD4. Počet cyklov tohto vypínača je 132.

Tab. 8.12 Technické parametre používaného vypínača VD4.

| | | | |
|----------------|----------------|------|-------------|
| Typ: | VD4 24.12.25 | Up: | 125 kV |
| Trieda: | M2 | Ud: | 50 kV |
| Rok výroby: | 2016 | f: | 50/60 Hz |
| Sériové číslo: | 1VC1BM00018350 | Ik: | 25 kA |
| Napätie: | 24 kV | tk: | 3 s |
| Menovitý prúd: | 1250 A | Isc: | 25 kA/63 kA |
| Váha: | 104 kg | Ic: | 31,5 A |

8.2.1 Meranie izolačných stavov na používanom vypínači VD4

Namerané izolačné stavy sú uvedené v tabulke 8.13. Z nameraných hodnot pozorujeme, že sa výrazne neodlišujú od hodnôt nameraných na novom vypínači a takisto zďaleka prevyšujú odporúčané minimálne hodnoty podľa tabuľky 7.2 na strane 34.

Tab. 8.13 Namerané izolačné stavy používaného vypínača VD4.

| Obvod | | Izolačný odpor [GΩ] |
|-------|---------------|---------------------|
| L1 - | Kostra vozíka | 564 |
| L2 - | Kostra vozíka | 397 |
| L3 - | Kostra vozíka | 432 |
| L1 - | L2 | 348 |
| L1 - | L3 | 901 |
| L2 - | L3 | 765 |

8.2.2 Prechodové odpory používaného vypínača VD4

Narastajúci prechodový odpor má za následok ohrievanie hlavných kontaktov a takisto nepriaznivé účinky z ekonomického hľadiska. Vplyvom prechodového odporu vzniká stratový výkon, ktorý rastie s druhou mocninou prúdu, ktorý kontaktom preteká. Namerané hodnoty sú uvedené v tabulke 8.14.

Tab. 8.14 Prechodové odpory používaného vypínača VD4.

| Fáza | I [A] | ΔU [mV] | R [$\mu\Omega$] |
|------|-------|-----------------|-------------------|
| L1 | 113,9 | 4,40 | 38,7 |
| L2 | 114,5 | 2,8 | 24,8 |
| L3 | 116,3 | 2,5 | 21,9 |

Pri porovnaní nameraných prechodových odporov nového a používaného vypínača môžeme pozorovať zhoršenie prechodových odporov na používanom vypínači. Toto zväšenie prechodových odporov vzniklo v dôsledku opotrebenia a nedokonalosti na styku styčných plôch vypínača, ktorých početnosť sa zvyšuje s počtom zapnutí a vypnutí. Hodnota nameraná na fáze L1 je výrazne vyššia od hodnôt nameraných na ostatných fázach. Meranie na tejto fáze sme pre prípad chyby pri meraní opakovali viac krát, hodnota prechodového odporu však stále ostávala na uvedenej hodnote. Zvýšený prechodový odpor na tejto fáze mohol vzniknúť ako dôsledok vypínania skratového prúdu na fáze L1. Namerané hodnoty sú stále v limite ktoré sú definované internými pravidlami spoločnosti pre ktorú bolo meranie vykonané. Maximálny limit pre tento typ vypínača spoločnosť z praxe definovala na $50 \mu\Omega$ pri meracom prúde 100 A. Namerané hodnoty nového a používaného vypínača a ich rozdiel sú uvedené v tabuľke 8.15.

Tab. 8.15 Porovnanie prechodových odporov nového a používaného vypínača VD4.

| Fáza | $R_N [\mu\Omega]$ | $R_P [\mu\Omega]$ | $\Delta R [\mu\Omega]$ | $\Delta R\% [\%]$ |
|------|-------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| L1 | 18,3 | 38,7 | 20,4 | 52,7 |
| L2 | 18,4 | 24,8 | 6,4 | 25,8 |
| L3 | 18,7 | 21,9 | 3,2 | 14,6 |

Z tabuľky 8.15 pozorujeme ako sa zväčšuje hodnota prechodového odporu pri opotrebovaní vypínača. Vzhľadom na vek používaného vypínača a počet cyklov (132) ktoré vykonal je toto zvýšenie predpokladateľné.

8.2.3 Meranie zapínacích a vypínacích časov používaného vypínača VD4

Pre daný typ vypínača udáva výrobca limit pre zapínací čas 35-60 ms a limit pre vypínací čas 35-60 ms. Z nameraných hodnot uvedených v tabuľke 8.16 pozorujeme, že vypínač splňuje oba limity udávané výrobcom. Hodnoty sú takisto podobné s hodnotami nameranými na novom vypínači VD4. Meranie môžeme vidieť na obrázku 8.8. Výstup z meracieho protokolu zapínacích a vypínacích časov je uvedený v prílohe 4 a 5.

Tab. 8.16 Zapínacie a vypínacie časy používaného vypínača VD4.

| | L1 | L2 | L3 |
|-------------------|-------|-------|-------|
| Zapínací čas [ms] | 48,47 | 48,72 | 48,6 |
| Vypínací čas [ms] | 35,8 | 35,75 | 35,77 |



Obr. 8.8 Meranie vypínacích časov používaného vypínača VD4.

8.2.4 Meranie integrity vákuua na používanom vypínači VD4

Pri tomto meraní prešiel vákuovou komorou prúd od 3,35 – 6,38 μA , v prípade nového vypínača to bolo od 1,97 do 11,83 μA . V obidvoch prípadoch sa jedná o veľmi nízke hodnoty vzhľadom na limit 300 μA . Namerané hodnoty sú uvedené v tabulke 8.17. Výstup z meracieho protokolu je uvedený v prílohe 6.

Tab. 8.17 Integrita vakuu používaného vypínača VD4.

| Fáza | $U_{\text{test-DC}}$ [kV] | I_{limit} [μA] | I_{Namer} [μA] | t_{test} [s] |
|------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| L1 | 60,00 | 300,00 | 3,36 | 5,00 |
| L2 | 60,00 | 300,00 | 5,54 | 5,00 |
| L3 | 60,00 | 300,00 | 6,38 | 5,00 |

8.2.5 Mechanické funkčné skúšky použitého vypínača VD4

Meranie bolo vykonané rovnakým spôsobom ako pri novom vypínači v odstavci 8.1.5 na strane 45. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 8.18 a sú v požadovaných limitoch 35-60 ms. Čas strádania motora sme zmerali obdobne ako zapínacie a vypínacie časy a nameraný čas bol 13,9 s, čo spĺňa limit udávaný výrobcom na 15 s.

Tab. 8.18 Spriemerované hodnoty zap. a vyp. časov pre 100% U_N , 70% U_N a 110% U_N

| | Zapínací čas [ms] | | | Vypínací čas [ms] | | |
|-------------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|
| | L1 | L2 | L3 | L1 | L2 | L3 |
| $U_N = 220 \text{ VDC}$ | 48,51 | 48,64 | 48,68 | 35,83 | 35,72 | 35,75 |
| $U_N = 154 \text{ VDC}$ | 52,62 | 52,43 | 52,77 | 38,34 | 38,35 | 38,42 |

8.3 Údaje o okolitých podmienkach a kalibrácií prístrojov

V nasledujúcej tabuľke 8.19 je prehľad použitých meracích prístrojov pre jednotlivé merania. Okolité podmienky pri meraní nového vypínača VD4 boli odčítané z meracieho prístroja TM1800. Pre meraní okolitých podmienok použitého vypínača bol použitý merací prístroj UltraTev UTL-01, v.č 00042 kalibrovaný 4.2.2019. Merací prístroj bol v oboch prípadoch umiestnený v blízkosti meraného vypínača. Okolité podmienky prostredia pre meranie nového vypínača VD4 sú uvedené v tabuľke 8.20, okolité podmienky prostredia pri meraní použitého vypínača sú uvedené v tabuľke 8.21. Výrobca neudáva podmienky okolia v predávacom protokole, a tak nebolo možné previesť korekciu nameraných hodnôt.

Tab. 8.19 Prehľad použitých meracích prístrojov

| Názov: | Merané veličina/Popis: | Vyr. číslo: | Dátum kalibrácie: |
|--------------------------|----------------------------|-------------|-------------------|
| Megger S1-1568 | Izolačný odpor | 101722177 | 10.5.2018 |
| Programma TM1800 | Analyzátor VN vypínačov | 1710611 | 23.5.2018 |
| Megger SDRM202 | Prúdovo napäťový prevodník | 202563 | 23.5.2018 |
| Megger SDRM202 CG 902-70 | Prúdový zdroj | 9500169 | 23.5.2018 |
| Megger B10E | Zdroj napätia | 1802297 | 6.4.2018 |
| Vanguard VBT-80P | Analyzátor kvality vakuá | 54079 | 6.3.2019 |

Tab. 8.20 Podmienky prostredia pri meraní nového vypínača VD4

| Teplota [°C]: | Vlhkosť [%]: |
|---------------|--------------|
| 22,6 | 52.4 |

Tab. 8.21 Podmienky prostredia pri meraní použitého vypínača VD4

| Teplota [°C]: | Atm. Tlak [kPA]: | Vlhkosť [%]: |
|---------------|------------------|--------------|
| 23,4 | 101,11 | 49,7 |

8.4 Zhodnotenie výsledkov merania nového a použitého vypínača VD4

Obidva vypínače spĺňajú podmienky bezpečnej prevádzky podľa normy STN EN 62271-100 a podľa podmienok výrobcu prípadne limity, ktoré stanovila spoločnosť pre ktorú bola diagnostika vykonaná. Na vypínačoch boli vykonané vizuálne prehliadky a kontroly, ktoré nezistili žiadne bližšie mechanické závady. Prehľad nameraných hodnôt a ich limit sme uviedli v tabuľke 8.22. Pri porovnaní hodnôt nového a použitého dochádzame k záveru, že najväčším zmenám došlo pri prechodových odporoch hlavných prúdovodných dráh. Zvýšená hodnota na fáze L1 pri použitom vypínači signalizuje zväčšené namáhanie tejto fázy. Zvýšená hodnota bola pravdepodobne spôsobená vypínaním skratu na tejto fáze. Nameraná hodnota sa stále nachádza v limite, ktorý definuje spoločnosť pre ktorú bola diagnostika vykonaná avšak v budúcnosti existuje riziko prekročenia maximálneho dovoleného limitu.

Tab. 8.22 Prehľad nameraných hodnôt a ich limitov

| Meranie izolačného odporu: | | | | | |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|---------|
| Obvod | | R _{XN} [GΩ] | R _{XP} [GΩ] | R _{Xmin} [MΩ] | Splňuje |
| L1 - | Kostra vozíka | 510 | 564 | 20000 | Áno |
| L2 - | Kostra vozíka | 494 | 397 | 20000 | Áno |
| L3 - | Kostra vozíka | 526 | 432 | 20000 | Áno |
| L1 - | L2 | 323 | 348 | 20000 | Áno |
| L1 - | L3 | 698 | 901 | 20000 | Áno |
| L2 - | L3 | 563 | 765 | 20000 | Áno |
| Meranie prechodových odporov: | | | | | |
| Fáza | R _N [μΩ] | R _{N-Limit} [μΩ] | R _P [μΩ] | R _{P-Limit} [μΩ] | |
| L1 | 18,3 | 20 | 38,7 | 50 | Áno |
| L2 | 18,4 | 20 | 24,8 | 50 | Áno |
| L3 | 18,7 | 20 | 21,9 | 50 | Áno |
| Meranie zapínacích a vypínacích časov | | | | | |
| Fáza | t _{zapN} [ms] | t _{zapN-Limit} [ms] | t _{vypN} [ms] | t _{vypN-Limit} [ms] | |
| L1 | 49,03 | 35-60 | 35,45 | 35-60 | Áno |
| L2 | 49,13 | 35-60 | 35,65 | 35-60 | Áno |
| L3 | 48,88 | 35-60 | 35,9 | 35-60 | Áno |
| Fáza | t _{zapP} [ms] | t _{zapP-Limit} [ms] | t _{vypP} [ms] | t _{vypP-Limit} [ms] | |
| L1 | 48,47 | 35-60 | 35,8 | 35-60 | Áno |
| L2 | 48,72 | 35-60 | 35,75 | 35-60 | Áno |
| L3 | 48,6 | 35-60 | 35,77 | 35-60 | Áno |
| Meranie kvality vaku | | | | | |
| Fáza | I _N [μA] | I _{N-limit} [μA] | I _P [μA] | I _{P-limit} [μA] | |
| L1 | 11,83 | 300 | 3,36 | 300 | Áno |
| L2 | 1,97 | 300 | 5,54 | 300 | Áno |
| L3 | 7,64 | 300 | 6,38 | 300 | Áno |

Popis ku tabuľke 8.22:

„N“ – nový vypínač

„P“ – použitý vypínač

9 DIAGNOSTIKA VYPÍNAČA VVN

Diagnostika vypínača S1-245 od spoločnosti AEG prebiehala na rozvodni R220kV, ktorá je súčasťou areálu zlievarenskeho priemyselného podniku. Diagnostika tohoto vypínača slúžila ako overenie správnej funkcie vypínača po jeho montáži. Na diagnostiku vypínača bol pri prestoji rozvodne vyhradený čas 2 hodiny. Vzhľadom na malé časové okno na vykonanie diagnostiky boli vykonané merania zapínacích a vypínacích časov a meranie prechodových odporov. Namerané hodnoty sa následne porovnali s hodnotami udávanými výrobcom v predávacom protokole. Porovnanie nameraných hodnôt s hodnotami nového vypínača S1-245 nebolo možné, nakoľko sa jedná o vypínač, ktorý sa už nevyrába a čisto nový vypínač S1-245 neexistuje. Z praxe však vyplýva, že zmerané hodnoty sa veľmi neodlišujú od hodnôt, ktoré uvádza v predávacom protokole výrobca. Tak to bolo aj v prípade merania na vypínači VD4. Základné parametre vypínača sú uvedené v tabuľke 9.1. Vypínač môžeme vidieť na obrázku 9.1.

Tab. 9.1 Technické parametre VVN vypínača S1-245.

| Typ | U_N [kV] | I_N [A] | I_{sc} [kA] | Rok výroby |
|--------|------------|-----------|---------------|------------|
| S1-245 | 245 | 4000 | 40 | 1990 |

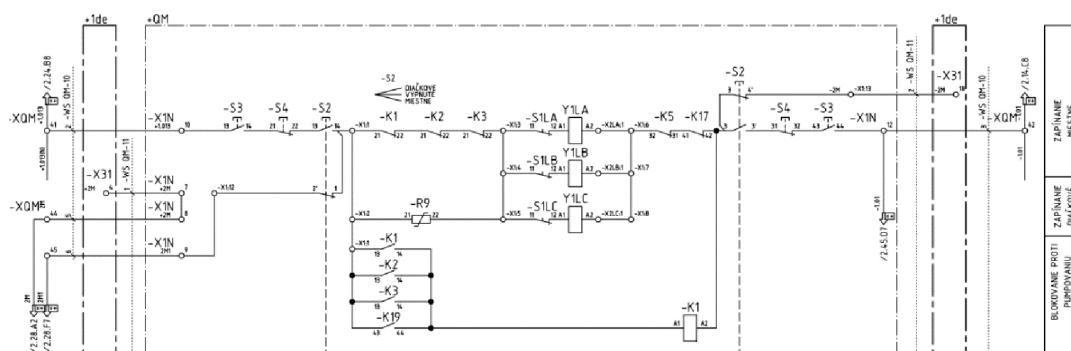


Obr. 9.1 Vypínač S1-245 v rozvodni R220kV.

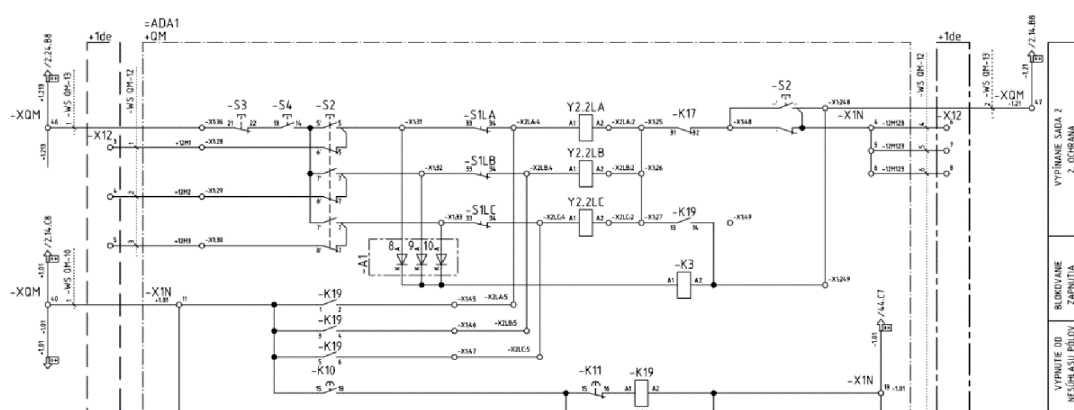
9.1 Meranie zapínacích a vypínacích časov S1-245

Pri meraní zapínacích a vypínacích časov bol použitý merací prístroj od spoločnosti TM 1800. Pri meraní zapínacích aj vypínacích časov bol vypínač preputý do režimu ovládania miestne. Pomocou zopínateľného kontaktu na meracom prístroji TM1800 se

nasimulovali zopnutie zapínacieho tlačítka S3 a tým sme priviedli napätie na zapínaciu cievku. Merací prístroj meral zapínací čas od zopnutia tohto kontaktu. Obdobne se postupovali pri vypínaní vypínača s použitím zopínateľného kontaktu na tlačítku S4. Tento spôsob merania bol použitý z dôvodu neprístupnosti zapínacej a vypínacej cievky a z dôvodu, že projektová dokumentácia od vypínača neodpovedala reálnemu zapojeniu. Výrez z projektovej dokumentácie zapínacieho a vypínacieho obvodu lze vidieť na obrázu 9.2 a 9.3. Vnútro ovládacej skrine vypínača lze vidieť na obrázku 9.4 na strane 55.



Obr. 9.2 Časť zapínacieho okruhu vypínača S1-245.



Obr. 9.3 Časť vypínacieho okruhu vypínača S1-245.

Meranie sa muselo vykonávať opakovane a to z dôvodu veľkých vzdialeností medzi jednotlivými pólmi vypínača. Dĺžka meracích káblov nedostačovala. Rozhodlo sa preto vykonať meranie na fázach L1 a L2 a následne vykonať meranie na fázach L2 a L3. Fáza L2 se použila ako referenčnú pre kontrolu sledu fáz. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 9.2 a 9.3. Výstupy a grafické priebehy z meracieho prístroja sú priložené v prílohe 7 až 10.

Tab. 9.2 Meranie zapínacích a vypínacích časov fází L1 a L2.

| | L1 | L2 |
|-------------------|---------|---------|
| Zapínací čas [ms] | 120,275 | 123,575 |
| Vypínací čas [ms] | 33,85 | 33,775 |

Tab. 9.3 Meranie zapínacích a vypínacích časov fází L2 a L3.

| | L2 | L3 |
|-------------------|---------|---------|
| Zapínací čas [ms] | 116,225 | 118,975 |
| Vypínací čas [ms] | 33,55 | 33,725 |

V nasledujúcej tabuľke 9.4 sú uvedené namerané hodnoty pri použití druhej fázy ako referenčnej pre obidva merania. Tabuľka slúži ako kontrola sledu fáz. Použité meracie prístroje sú uvedené v tabuľke 9.5.

Tab. 9.4 Zjednotené hodnoty zapínacích a vypínacích časov vypínača S1-245.

| | L1 | L2 | L3 |
|-------------------|---------|---------|---------|
| Zapínací čas [ms] | 120,275 | 123,575 | 126,325 |
| Vypínací čas [ms] | 33,85 | 33,775 | 33,95 |



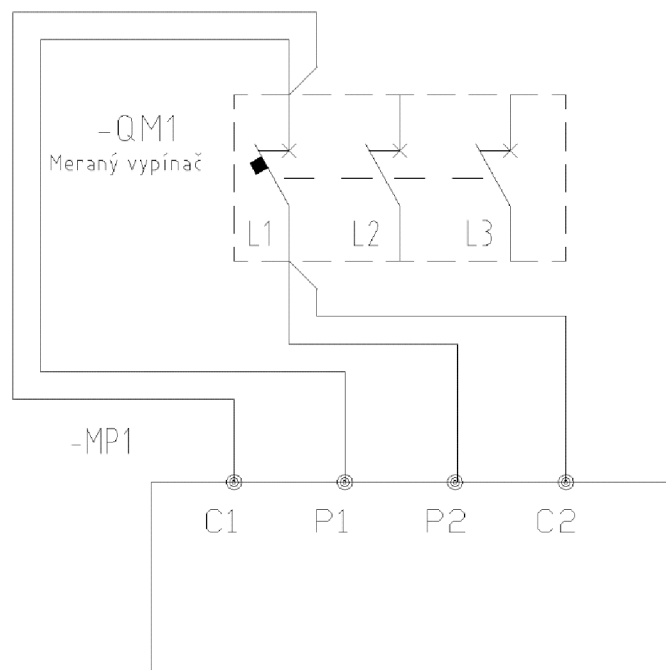
Obr. 9.4 Ovládací skrin vypínača S1-245.

Tab. 9.5 Použité meracie prístroje pri meraní zap. a vyp. časov vypínača S1-245

| Typ prístroja: | Názov: | Vyr. číslo: | Dátum kalibrácie: |
|-------------------------|------------------|-------------|-------------------|
| Analyzátor VN vypínačov | Programma TM1800 | 1710611 | 23.5.2018 |

9.2 Meranie prechodových odporov na vypínači S1-245

Pri meraní prechodových odporov se použil merací prístroj DLRO 600 od spoločnosti Megger. Meranie prebiehalo s nastaveným prúdom na 600 A. Jedná sa takisto o 4-vodičový princíp merania prechodových odporov. Na vrchný a spodný praporec VVN vypínača se umiestnili káble s prúdovými kliešťami prístroja, ktoré boli vyvedené na svorky C1 a C2. Následne se čo najbližšie a s čo najlepšou kontaktnou plochou umiestnili na vrchný a spodný praporec meracia káble na merania úbytku napätia, ktoré boli v meracom prístroji pripojené na svorky P1 a P2. Pri meraní je potrebné dodržiavať polaritu a svorky C1 a P1 umiestniť na spoločný vrchný praporec, svorky C2 a P2 na spoločný spodný praporec. Pri nedodržaní polarity nameria merací prístroj zápornú hodnotu prechodového odporu. Blokovú schému zapojenia pri meraní na fáze L1 môžeme vidieť na obrázku 9.5. Obrázok meracieho prístroja môžeme vidieť na obrázku 9.6. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 9.6. Použité meracie prístroje sú uvedené v tabuľke 9.7.



Obr. 9.5 Bloková schéma zapojenia merania prechod. odporov fáze L1 na vypínači S1-245

Popis jednotlivých prvkov ku obrázku 9.5:

QM1 – meraný vypínač S1-245

MP1 – merací prístroj Megger DLRO 600



Obr. 9.6 Použitý merací prístroj DLRO 600

Tab. 9.6 Prechodové odpory VVN vypínača S1-245.

| Fáza | I [A] | ΔU [mV] | R [$\mu\Omega$] |
|------|--------|-----------------|-------------------|
| L1 | 598,90 | 17,80 | 29,70 |
| L2 | 597,60 | 19,00 | 31,70 |
| L3 | 600,30 | 20,10 | 33,50 |

Tab. 9.7 Použité meracie prístroje pri meraní prechodových odporov vypínača S1-245

| Typ prístroja: | Názov: | Vyr. číslo: | Dátum kalibrácie: |
|----------------|----------------|-------------|-------------------|
| Ohmmeter | Megger DLRO600 | 101046764 | 4.4.2018 |

9.3 Porovnanie nameraných hodnôt s hodnotami uvedenými výrobcom

Namerané hodnoty sú v tomto odstavci porovnané s hodnotami, ktoré nameral výrobca v roku 1990. Hodnoty namerané výrobcom boli namerané ešte pred uvedením vypínača do prevádzky. Porovnanie hodnôt zapínacích a vypínacích časov je uvedené v tabulke 9.8.

Tab. 9.8 Porovnanie nameraných hodnôt zapínaných a vypínaných časov.

| | L1 | L2 | L3 |
|-------------------------|---------|---------|---------|
| t_{zap} -výrobca [ms] | 103,5 | 103,5 | 103,5 |
| t_{zap} [ms] | 120,275 | 123,575 | 126,325 |
| Δt_{zap} [ms] | 16,775 | 20,075 | 22,825 |
| t_{vyp} -výrobca [ms] | 23,5 | 23,5 | 23,5 |
| t_{vyp} [ms] | 33,85 | 33,775 | 33,95 |
| Δt_{vyp} [ms] | 10,35 | 10,275 | 10,45 |

Z tabuľky lze pozorovat odlišnosti V prípade zapínaných časov je rozdiel hodnôt zhruba 20 ms. V prípade vypínaných časov je to zhruba 10 ms. Tieto rozdiely mohli vzniknúť v dôsledku rozdielnych meracích postupov a to konkrétne rozdielnych spôsobov vypínania a zapínania vypínača. Je veľmi pravdepodobné, že výrobca hodnoty meral pri zapínaní a vypínaní vypínača pomocou privedenia napätia priamo na pomocné kontakty stykača ktorý spína napätie do jednotlivých zapínaných alebo vypínaných cievok. V našom prípade bolo zapínanie a vypínanie vykonané tak, že se zapínaní kontakt zapínacieho a vypínanieho tlačítka nahradil zapínaním kontaktom v meracom prístroji TM1800. Další negatívny vplyv na zapínanie a vypínanie časy vypínača má určité opotrebovanie vypínača. Rozdiel v zapínaných a vypínaných časoch je teda súčtom týchto dvoch negatívnych vplyvov. Zapínanie aj vypínanie časy však splňujú limit udávaný výrobcom a zapínanie časy sa pohybujú v limite 100 – 130 ms, vypínanie časy sa pohybujú v limite 20-40 ms.

9.4 Podmienky okolia a prehľad použitých meracích prístrojov

Prehľad použitých meracích prístrojov je uvedený v tabuľke 9.9. Podmienky okolia pri meraní sme odčítali z meracieho prístroja Testo 622, v.č: 056075200, ktorý bol kalibrovaný 12.3.2018 a je umiestnený v priamo v rozvodni R220 kV. Hodnoty sú uvedené v tabuľke 9.10.

Tab. 9.9 Prehľad použitých meracích prístrojov pri meraní VVN vypínača

| Typ prístroja: | Názov: | Vyr. číslo: | Dátum kalibrácie: |
|-------------------------|------------------|-------------|-------------------|
| Ohmmeter | Megger DLRO600 | 101046764 | 4.4.2018 |
| Analyzátor VN vypínačov | Programma TM1800 | 1710611 | 23.5.2018 |

Tab. 9.10 Podmienky okolia pri meraní VVN vypínača

| Teplota [°C]: | Atm. Tlak [kPA]: | Vlhkosť [%]: |
|---------------|------------------|--------------|
| 22,1 | 101.41 | 58,1 |

9.5 Zhodnotenie merania na vypínači S1-245

Namerané hodnoty sú v súlade s tými predpísanými avšak z nameraných hodnôt je zrejmé, že vypínač podlieha opotrebovaniu. Ku najvýraznejšiemu zhoršeniu došlo pri zapínaní a vypínaní časoch. Vzhľadom na vek vypínača je toto zhoršenie predvídateľné a obidva časy sa stále nachádzajú v limite, ktorý stanovil výrobca. Limit na prechodové odpory výrobca nestanovil avšak spoločnosť pre, ktorú bola diagnostika vykonaná z praxe stanovila limit pre daný typ vypínača na $40 \mu\Omega$. Prechodové odpory vypínača sa nachádzajú v tomto limite. Pri ďalších meraniach mimo našej práce bola zistená nekvalitná náplň plynu SF₆. Plyn bol následne vo vypínači vymenený a vypínač uvedený do prevádzky.

10 ZÁVER

Výkonové vypínače sú neoddeliteľnou súčasťou elektrickej infraštruktúry. Ich vývoj ide neustále dopredu a zvyšujúce sa nároky spotreby elektrickej energie sa prejavujú aj na týchto zariadeniach. V našej bakalárskej práci sme uviedli základné delenie týchto zariadení a základné metódy diagnostiky týchto zariadení. Diagnostika týchto zariadení sa v súčasnosti dostáva do popredia a je vykonávaná čím ďalej pravidelnejšie. Správna a včasná diagnostika týchto zariadení zabezpečuje bezproblémový chod týchto zariadení. Bezproblémový chod výkonových vypínačov by mal byť v záujme každej spoločnosti, ktorá tieto zariadenia prevádzkuje. V práci boli vykonané diagnostiky dvoch typov vypínačov. Namerané hodnoty boli porovnané s hodnotami dostupnými od výrobcu. Z nameraných hodnôt ďalej pozorujeme vplyv opotrebenia týchto zariadení, ktorý sa zväčšuje s ich narastajúcim vekom a práve vďaka týmto diagnostikám je možné včas zakročiť a predísť potencióálnemu zlyhaniu vypínača. Namerané hodnoty na oboch vypínačoch sú v súlade s predpísanými hodnotami definovými výrobcom pre daný typ zariadenia. Obidva vypínače sú vzhľadom na zmerané parametre schopné bezpečnej prevádzky.

11 LITERATÚRA

- [1] ING. HAVELKA, Otto a kolektiv. *Elektrické přístroje*. Praha: SNTL, 1985. ISBN 04-529-85.
- [2] KUBÍN, Miroslav. *Přenosy elektrické energie ČR v kontextu evropského vývoje: Spínací zařízení VN a VVN*. 1. Praha: ČEPS, 2006. ISBN 80-239-7272-3.
- [3] *VD4: Vákuové vypínače vysokého napětí* [online]. , 5-71 [cit. 2018-12-03].
Dostupné z:
[https://library.e.abb.com/public/eb46711978d96984c12575120043fa42/CA_VD4-40kA\(CS\)G_1VLC000006.pdf](https://library.e.abb.com/public/eb46711978d96984c12575120043fa42/CA_VD4-40kA(CS)G_1VLC000006.pdf)
- [4] SIEMENS, AG. *High-Voltage Circuit Breakers* [online]. 2012, , 13-14 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z:
<https://www.siemens.com/content/dam/webassetpool/mam/tag-siemens-com/smdb/energy-management/high-voltage-power-transmission/high-voltage-switchgear-and-devices/high-voltage-products/circuit-breaker/high-voltage-circuit-breakers-portfolio-en.pdf>
- [5] *VD4 Návod pro montáž a údržbu* [online]. , 1 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z:
<https://searchext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1YHA000286&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [6] ING. KOSTKA, Tomáš a Ondřej TOPOLÁNEK. *Elektrotechnika 2: Elektické přístroje* [online]. , 11-25 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/esp/el_pristroje_2.pdf
- [7] GRILL, Paul. *Electrical power equipment maintenance and testing*. 2. Boca Raton: CRC Press, 2009. ISBN 978-1-57444-656-2.
- [8] MENTLÍK, Václav, Josef PIHERA, Radek POLANSKÝ, Pavel PROSR a Pavel TRNKA. *Diagnostika elektrických zařízení*. 1. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 978-80-7300-232-9.
- [9] HAMRICK, Lynn. *A primer for testing medium-voltage breakers in the industrial environment*. *Circuit breakers handbook*. Portage, Michigan 49024: International Electrical Testing Association, 2013, (2), 16-18.
- [10] STN EN 62271-100. *Vysokonapět'ové spínacie a riadiace zariadenia. Časť 100: Vysokonapět'ové vypínače na striedavý prúd*. 1. Bratislava: SUTN, 2003.
- [11] STN EN 60694. *Všeobecné ustanovenia pre vysokonapět'ové spínacie a riadiace zariadenia*. 1. Bratislava: SUTN, 2000.
- [12] *VD4 Vakuový vypínač: Návod na montáž, obsluhu a údržbu*. ABB s.r.o Org. jednotka EJJ, Brno, 2009.
- [13] VOSTRACKÝ, Z. a K. BÁRTA. *Spínací přístroje velmi vysokého napětí*. 1. Praha: STNL, 1983.
- [14] *Instructions SF6 circuit breakers type S1: A22V1.12.1/1089*. 1989.

Zoznam symbolov a skratiek

Zkratky:

| | | |
|-------------------------------|-----|----------------------|
| VN | ... | Vysoké napätie |
| VVN | ... | Veľmi vysoké napätie |
| SF ₆ | ... | Fluorid sírový |
| S ₂ F ₂ | ... | Difluorid disírny |
| CO ₂ | ... | Oxid uhličité |

Symboly:

| | | | |
|------------------|-----|---|------|
| U _N | ... | menovité napätie | [V] |
| U _S | ... | menovité izolačné napätie | [V] |
| U _d | ... | menovité výdržné napätie pri 50Hz (1 min) | [V] |
| f | ... | menovitá frekvencia | [Hz] |
| I _r | ... | menovitý prúd | [A] |
| I _{sc} | ... | menovitý skratový vypínací prúd | [A] |
| I _k | ... | menovitý krátkodobý výdržný prúd (3s) | [A] |
| I _p | ... | skratový zapínací prúd | [A] |
| t _{zap} | ... | zapínací čas | [s] |
| t _{vyp} | ... | vypínací čas | [s] |

Zoznam príloh

| | | |
|--------------|--|----|
| Príloha 1 - | Meranie zapínacích časov na novom vypínači VD4 | 64 |
| Príloha 2 - | Meranie vypínacích časov na novom vypínači VD4..... | 65 |
| Príloha 3 - | Meranie kvality vaku na novom vypínači VD4..... | 66 |
| Príloha 4 - | Meranie zapínacích časov na používanom vypínači VD4 | 67 |
| Príloha 5 - | Meranie vypínacích časov na používanom vypínači VD4 | 68 |
| Príloha 6 - | Meranie kvality vaku na používanom vypínači VD4 | 69 |
| Príloha 7 - | Meranie zapínacích časov na vypínači S1-245 fázy L1-L2 | 70 |
| Príloha 8 - | Meranie zapínacích časov na vypínači S1-245 fázy L2-L3 | 71 |
| Príloha 9 - | Meranie vypínacích časov na vypínači S1-245 fázy L1-L2..... | 72 |
| Príloha 10 - | Meranie vypínacích časov na vypínači S1-245 fázy L2-L3 | 73 |

Príloha 1

| | | | | | |
|---------------------|-----------|----------------------|----------|-------------------|-----------|
| Megger | | Test report | | Date 11.4.2019 | Page 1 |
| Location | Tested by | Signature | | Approved by | |
| Breaker ID1: | bakalarka | Test ID: | Nova VD4 | | |
| Breaker ID2: | | Type of test: | | | |
| Breaker ID3: | | | | | |
| Breaker ID4: | | | Kapalla | | |
| Breaker Notes: n.a | | Test Notes: n.a | | | |

Meritko = 10.0 ms/dilkú

Operation: CLOSE 1

| Parametry | Hodnota | Jednotka | OK / Chyba | Minimum | Maximum | Jmen. |
|----------------|---------|----------|------------|---------|---------|-------|
| Cas ZAP A 01M | 49.025 | ms | | | | |
| Odskok t A 01M | 0.475 | ms | | | | |
| Cas ZAP B 01M | 49.125 | ms | | | | |
| Odskok t B 01M | 0.000 | ms | | | | |
| Cas ZAP C 01M | 48.875 | ms | | | | |
| Odskok t C 01M | 0.000 | ms | | | | |

Default template for 'Report a recording' in TM1800

Príloha 2

| | | | | | |
|---------------------|-----------|----------------------|-------------|-------------------|-----------|
| Megger | | Test report | | Date 11.4.2019 | Page 1 |
| Location | Tested by | Signature | Approved by | | |
| Breaker ID1: | bakalarka | Test ID: | Nova VD4 | | |
| Breaker ID2: | | Type of test: | | | |
| Breaker ID3: | | | | | |
| Breaker ID4: | | | Kapalla | | |
| Breaker Notes: n.a | | Test Notes: n.a | | | |

Meritko = 10.0 ms/dílků

Operation: OPEN 1

| Parametry | Hodnota | Jednotka | OK / Chyba | Minimum | Maximum | Jmen. |
|-----------------|---------|----------|------------|---------|---------|-------|
| Cas VYP A 01M | 35.450 | ms | | | | |
| Cas VYP B 01M | 35.650 | ms | | | | |
| Cas VYP C 01M | 35.900 | ms | | | | |
| Cas VYP a AUXa1 | 199.100 | ms | | | | |
| Rozd. M-a AUXa1 | 163.200 | ms | | | | |
| Cas ZAP b AUXb1 | --- | ms | | | | |

Default template for 'Report a recording' in TM1800

Príloha 4

| | | | | | |
|---------------------|----------------|----------------------|-------------|-------------------|-----------|
| Megger | | Test report | | Date 16.7.2019 | Page 1 |
| Location | Tested by | Signature | Approved by | | |
| Breaker ID1: | BAKALARKA LETO | Test ID: | VD4 leto | | |
| Breaker ID2: | | Type of test: | | | |
| Breaker ID3: | | | | | |
| Breaker ID4: | | | Kapalla | | |
| Breaker Notes: n.a | | Test Notes: n.a | | | |

Operation: ZAP 2

| Parametry | Hodnota | Jednotka | OK / Chyba | Minimum | Maximum | Jmen. |
|----------------|---------|----------|------------|---------|---------|-------|
| Cas ZAP A 01M | 48.475 | ms | | | | |
| Odskok t A 01M | 0.000 | ms | | | | |
| Cas ZAP B 01M | 48.725 | ms | | | | |
| Odskok t B 01M | 0.000 | ms | | | | |
| Cas ZAP C 01M | 48.600 | ms | | | | |
| Odskok t C 01M | 0.000 | ms | | | | |

Default template for 'Report a recording' in TM1800

Príloha 5

| | | | | | |
|---------------------|----------------|----------------------|-------------|-------------------|-----------|
| Megger | | Test report | | Date 16.7.2019 | Page 1 |
| Location | Tested by | Signature | Approved by | | |
| Breaker ID1: | BAKALARKA LETO | Test ID: | VD4 leto | | |
| Breaker ID2: | | Type of test: | | | |
| Breaker ID3: | | | | | |
| Breaker ID4: | | | Kapalla | | |
| Breaker Notes: n.a | | Test Notes: n.a | | | |

Operation: VYP 1

| Parametry | Hodnota | Jednotka | OK / Chyba | Minimum | Maximum | Jmen. |
|-----------------|---------|----------|------------|---------|---------|-------|
| Cas VYP A 01M | 35.800 | ms | | | | |
| Cas VYP B 01M | 35.750 | ms | | | | |
| Cas VYP C 01M | 35.775 | ms | | | | |
| Cas VYP a AUXa1 | 199.100 | ms | | | | |
| Rozd. M-a AUXa1 | 163.300 | ms | | | | |
| Cas ZAP b AUXb1 | --- | ms | | | | |

Default template for 'Report a recording' in TM1800

Príloha 6



Vanguard Instruments Company, Inc.
www.vanguard-instruments.com

Filename: Test_10.test Date/Time: 16/07/19 11:16:13
Company: Manufacturer: ABB
Station: S/N:
Circuit: Operator:
Model: VD4 Device Type: VBT
KVA: 24

| Test | Voltage | I-Limit | Test-Time | P/F | Last-I | Last-Voltage | Comment |
|------|---------|---------|-----------|-----|----------|--------------|---------|
| 1 | 60 KV | 300 uA | 5 sec | P | 003.36uA | 60.0KV | |
| 2 | 60 KV | 300 uA | 5 sec | P | 005.54uA | 60.0KV | |
| 3 | 60 KV | 300 uA | 5 sec | P | 006.38uA | 60.0KV | |

Príloha 7

| | | | | | |
|---------------------|---------------|--|-------------|-------------------|-----------|
| Megger | | Test report | | Date 11.4.2019 | Page 1 |
| Location | Tested by | Signature | Approved by | | |
| Breaker ID1: | 220 kV siroka | Test ID: | Pole 1 | | |
| Breaker ID2: | | Type of test: | | | |
| Breaker ID3: | | | | | |
| Breaker ID4: | | | Kapalla | | |
| Breaker Notes: n.a | | Test Notes: meranie ZAP1,VYP1 : A-L1 B-L2 meranie ZAP2,VYP2 : A-L3 B-L2 | | | |

Y-offset = -6 dílků

V CCMD1: 20 V/div

I CCIR1: 0.5 A/div

V CCMD1

I A 01M

t B 01M

t C 01M

Meritko = 10.0 ms/dílků

66.0 86.0 106.0 126.0 146.0 166.0 186.0 206.0 226.0 246.0 266.0 286.0 306.0 326.0 346.0 366

Operation: ZAP 1

| Parametry | Hodnota | Jednotka | OK / Chyba | Minimum | Maximum | Jmen. |
|----------------|---------|----------|------------|---------|---------|-------|
| Cas ZAP A 01M | 120.275 | ms | | | | |
| Odskok t A 01M | 7.500 | ms | | | | |
| Cas ZAP B 01M | 123.575 | ms | | | | |
| Odskok t B 01M | 7.700 | ms | | | | |
| Cas ZAP C 01M | --- | ms | | | | |
| Odskok t C 01M | --- | ms | | | | |

Default template for 'Report a recording' in TM1800

Príloha 8

| | | | | | |
|---------------------|---------------|--|-------------|-------------------|-----------|
| Megger | | Test report | | Date 11.4.2019 | Page 1 |
| Location | Tested by | Signature | Approved by | | |
| Breaker ID1: | 220 kV siroka | Test ID: | Pole 1 | | |
| Breaker ID2: | | Type of test: | | | |
| Breaker ID3: | | | | | |
| Breaker ID4: | | | Kapalla | | |
| Breaker Notes: n.a | | Test Notes: meranie ZAP1,VYP1 : A-L1 B-L2 meranie ZAP2,VYP2 : A-L3 B-L2 | | | |

Y-offset = -6 dlíkú

V CCMD1: 20 V/div

CCIR1: 0.5 A/div

tA: 01M

tB: 01M

tC: 01M

Meritko = 10.0 ms/dlíkú

Operation: ZAP 2

| Parametry | Hodnota | Jednotka | OK / Chyba | Minimum | Maximum | Jmen. |
|----------------|---------|----------|------------|---------|---------|-------|
| Cas ZAP A 01M | 116.225 | ms | | | | |
| Odskok t A 01M | 8.050 | ms | | | | |
| Cas ZAP B 01M | 118.975 | ms | | | | |
| Odskok t B 01M | 7.625 | ms | | | | |
| Cas ZAP C 01M | --- | ms | | | | |
| Odskok t C 01M | --- | ms | | | | |

Default template for 'Report a recording' in TM1800

Príloha 9

| | | | | | |
|---------------------|---------------|--|-------------|-------------------|-----------|
| Megger | | Test report | | Date 11.4.2019 | Page 1 |
| Location | Tested by | Signature | Approved by | | |
| Breaker ID1: | 220 kV siroka | Test ID: | Pole 1 | | |
| Breaker ID2: | | Type of test: | | | |
| Breaker ID3: | | | | | |
| Breaker ID4: | | | Kapalla | | |
| Breaker Notes: n.a | | Test Notes: meranie ZAP1,VYP1 : A-L1 B-L2 meranie ZAP2,VYP2 : A-L3 B-L2 | | | |

Y-offset = -6 dílků

Meritko = 10.0 ms/dílků

Operation: VYP 1

| Parametry | Hodnota | Jednotka | OK / Chyba | Minimum | Maximum | Jmen. |
|---------------|---------|----------|------------|---------|---------|-------|
| Cas VYP A 01M | 33.850 | ms | | | | |
| Cas VYP B 01M | 33.775 | ms | | | | |
| Cas VYP C 01M | --- | ms | | | | |
| Cas VYP A | 33.850 | ms | | | | |
| Cas VYP B | 33.775 | ms | | | | |
| Cas VYP C | --- | ms | | | | |

Default template for 'Report a recording' in TM1800

Príloha 10

| | | | | | |
|---------------------|---------------|--|-------------|-------------------|-----------|
| Megger | | Test report | | Date 11.4.2019 | Page 1 |
| Location | Tested by | Signature | Approved by | | |
| Breaker ID1: | 220 kV široka | Test ID: | Pole 1 | | |
| Breaker ID2: | | Type of test: | | | |
| Breaker ID3: | | | | | |
| Breaker ID4: | | | Kapalla | | |
| Breaker Notes: n.a | | Test Notes: meranie ZAP1,VYP1 : A-L1 B-L2 meranie ZAP2,VYP2 : A-L3 B-L2 | | | |

Y-offset = -6 dílků

Meritko = 10.0 ms/dílků

Operation: VYP 2

| Parametry | Hodnota | Jednotka | OK / Chyba | Minimum | Maximum | Jmen. |
|---------------|---------|----------|------------|---------|---------|-------|
| Cas VYP A 01M | 33.550 | ms | | | | |
| Cas VYP B 01M | 33.725 | ms | | | | |
| Cas VYP C 01M | --- -- | ms | | | | |
| Cas VYP A | 33.550 | ms | | | | |
| Cas VYP B | 33.725 | ms | | | | |
| Cas VYP C | --- -- | ms | | | | |

Default template for 'Report a recording' in TM1800