

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Vliv řízeného spínání vypínačů na spolehlivý provoz
přenosové soustavy**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jana PETRILÁKOVÁ**
Osobní číslo: **E17N0012K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Téma práce: **Vliv řízeného spínání vypínačů na spolehlivý provoz přenosové soustavy**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte teoretický rozbor spínání v přímo uzemněné soustavě a v izolované soustavě, zabývejte se problematikou řízeného spínání s využitím synchroswitchů.
2. Proveďte posouzení diagnostiky stávajících vypínačů, které spínají tlumivky PS (měření statických a dynamických odporů provozovaných vypínačů, rozbor komor vypínačů a zjištění skutečnosti).
3. Analyzujte provoz nasazených synchroswitchů (PWC 600 výrobce ABB, PSD02 (03) výrobce Siemens).
4. Vyhodnoťte data ze spínání vypínačů se synchroswitchem a na základě získaných informací formulujte doporučení při využití řízeného spínání v ČEPS.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Ing. Ivo ULLMAN, Ph.D.: Nové výzvy pro přenosové soustavy.
2. Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers: Application Examples and Benefits D. Goldsworthy, T. Roseburg, D. Tziouvaras and J. Pope, <https://selinc.com/literature/technical-papers/>.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Eva Müllerová, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **4. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



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

L.S.

Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 4. října 2019

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na vliv řízeného spínání vypínačů na provoz přenosové soustavy. Práce je rozdělena na čtyři části. V první kapitole je popsána teorie spínání v přímo uzemněné a izolované soustavě. Součástí této kapitoly je i teorie o řízeném spínání. Následující kapitola je věnována plynovému vypínači SF_6 , kde je popsána teorie o procesu spínání a vypínání, měření dynamických a statických odporů elektrických kontaktů vypínače a rozboru komor vypínačů. Třetí kapitola popisuje zařízení synchroswitch PWC600 od firmy ABB a synchroswitch PSD02(03) od firmy SIEMENS. Poslední část této diplomové práce se zabývá analýzou dat s využitím řízeného spínání vypínačů, které jsou použity pro kompenzační zařízení pro 400 kV na stanicích TR Hradec u Kadaně a TR Přeštice.

Klíčová slova

Řízené spínání, plynový vypínač SF_6 , rozbor komor vypínače, synchroswitch PWC600, synchroswitch PSD02(03).

Abstract

The presented diploma thesis is focused on the influence of controlled switching of circuit breakers on the operation of the transmission system. The diploma thesis is divided into four parts. The first chapter describes the theory of switching in a directly grounded and isolated system. Part of this chapter is also the theory of controlled switching. The following chapter is devoted to the gas circuit breaker SF_6 , which describes the theory of the process of switching on and off, measuring dynamic and static resistances electrical contacts of the circuit breaker and analysis of circuit breaker chambers. The third chapter describes the synchroswitch PWC600 device from ABB and the synchroswitch PSD02 (03) device from SIEMENS. The last part of this diploma thesis deals with data analysis using controlled switching of circuit breakers, which are used for compensation devices for 400 kV at substations TR Hradec u Kadaně and TR Přeštice.

Key words

Controlled switching, gas circuit breaker SF_6 , circuit breaker chamber analysis, synchroswitch PWC600, synchroswitch PSD02(03).

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 16.6.2020

Bc. Jana Petriláková

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucí diplomové práce paní doc. Ing. Evě Müllerové, Ph.D. za metodické vedení této diplomové práce a za vstřícnost při jejím vypracování. Velké díky patří zcela jistě odbornému konzultantovi této diplomové práce panu Ing. Ivu Ullmanovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, poskytnutí studijních materiálů a ochotu při konzultacích této diplomové práce. Dále bych také chtěla poděkovat všem mým kolegům z TR Hradec u Kadaně, a to konkrétně z oddělení Údržba sekundární techniky a oddělení Údržba silového zařízení za poskytnutí odborných konzultací, jejich zkušeností z praxe a poskytnutí odborných studií a materiálů.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| OBSAH | 8 |
| ÚVOD | 9 |
| SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK | 11 |
| 1 PROCES SPÍNÁNÍ V IZOLOVANÉ A PŘÍMO UZEMNĚNÉ SOUSTAVĚ | 12 |
| 1.1 IZOLOVANÁ SOUSTAVA | 14 |
| 1.1.1 <i>Vypnutí v třífázové izolované síti</i> | 15 |
| 1.1.2 <i>Zapnutí v třífázové izolované síti</i> | 16 |
| 1.2 PŘÍMO UZEMNĚNÁ SOUSTAVA | 16 |
| 1.2.1 <i>Vypnutí v přímo uzemněné soustavě</i> | 17 |
| 1.2.2 <i>Zapnutí v přímo uzemněné soustavě</i> | 17 |
| 1.3 ŘÍZENÉ SPÍNÁNÍ..... | 17 |
| 2 VYPÍNAČ | 23 |
| 2.1 STATICKÁ A DYNAMICKÁ CHARAKTERISTIKA ELEKTRICKÉHO OBLOUKU | 27 |
| 2.2 ELEKTRICKÉ KONTAKTY | 29 |
| 2.3 ROZBOR KOMOR VYPÍNAČŮ..... | 31 |
| 2.3.1 <i>Rozbor vypínače pomocí průběhů zapnutí a vypnutí</i> | 32 |
| 2.3.2 <i>Rozbor komory vypínače podle výsledků diagnostiky vypínače</i> | 34 |
| 3 ANALÝZA PROVOZU NAsAZENÝCH SYNCHROSWITCH | 40 |
| 3.1 SYNCHROSWITCH SWITCHSYNC PWC600..... | 40 |
| 3.1.1 <i>Funkční bloky</i> | 42 |
| 3.1.2 <i>Spínací operace</i> | 44 |
| 3.1.3 <i>Optimalizace přesnosti</i> | 46 |
| 3.1.4 <i>Aplikace spínání zátěže</i> | 49 |
| 3.1.5 <i>Monitorování vypínače</i> | 51 |
| 3.1.6 <i>Požadavky na externí zařízení</i> | 53 |
| 3.2 SYNCHROSWITCH PSD02 (PSD03) | 54 |
| 3.2.1 <i>Provozní režimy</i> | 55 |
| 3.2.2 <i>Proces zapnutí a vypnutí</i> | 57 |
| 3.2.3 <i>Aplikace spínání zátěží</i> | 59 |
| 4 ANALÝZA DAT VYPÍNAČŮ S VYUŽITÍM SYNCHROSWITCH | 62 |
| 4.1 TLUMIVKA TR HRADEC U KADANĚ | 62 |
| 4.2 TLUMIVKA TR PŘEŠTICE..... | 63 |
| 4.3 ZHODNOCENÍ..... | 64 |
| 4.3.1 <i>Zkušenosti studijní skupiny A3 CIGRE</i> | 65 |
| ZÁVĚR | 66 |
| SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ | 67 |
| PŘÍLOHY | 1 |

Úvod

V současné době se česká přenosová soustava zabývá častými přetoky elektrické energie, kdy je nutné zavádět kompenzační zařízení pro dosažení požadované kvality elektrické energie. Je nutné vyřešit otázku častějšího spínání transformátorů, kompenzačních tlumivek pro 400 kV a 10,5 kV. Proto jsou na jednotlivých stanicích, kde vznikají největší přetoky elektrické energie, nainstalovány kompenzační zařízení pro 400 kV a 10,5 kV. Aby byl proces spínání kompenzačních zařízení v přenosové soustavě, pokud možno co nejspolehlivější, je nutné použít kvalitní vypínače a současně i monitorovat jeho parametry, což umožní řízené spínání. V české přenosové soustavě je k řízenému spínání používáno zařízení synchroswitch. [1]

Při použití řízeného spínání je velmi důležité neustále dodržovat a kontrolovat správné zapojení a nastavení synchroswitch. Nestačí tedy zkontrolovat synchroswitch pouze při první montáži, ale během celého průběhu provozu tohoto zařízení, aby měli pracovníci v úseku provozu a údržby přenosové soustavy stále jistotu, že synchroswitch funguje správně i po nějaké době provozu. O to se starají odborně zaškolení a vyučení zaměstnanci z několika oddělení firmy ČEPS, a.s., a to konkrétně oddělení Technická politika, Údržba a diagnostika silových zařízení a Sekundární technika.

Oddělení Technické politiky spolupracuje s výrobcí jednotlivých zařízení a vydává odborné technické normy, řády preventivní údržby pro jednotlivá zařízení, které jsou závazné pro všechny zaměstnance firmy. Zaměstnanci oddělení Sekundární techniky provádějí údržbu a diagnostiku sekundárních zařízení při poruše nebo závadě. Také uvádějí zařízení do provozu pomocí tzv. funkčních zkoušek zařízení v rámci investičních akcí. Naopak oddělení Údržby silového zařízení se skládá ze tří podskupin, a to řízení údržby silového zařízení na vedení a ve stanicích a diagnostiky silového zařízení ve stanicích i na vedeních. Hlavní činností podskupiny řízení údržby silového zařízení ve stanicích je plánování údržby dle informačního systému SAP, zadávání obchodních případů na údržbu silového zařízení ve stanicích, kontrola, vyhodnocení a převzetí údržby. Hlavní náplní podskupiny řízení údržby silového zařízení na vedení je plánování údržby, zadávání obchodních případů na údržbu silového zařízení na vedeních, kontrola, vyhodnocení a převzetí údržby v elektronickém systému. Podskupina diagnostiky silového zařízení ve

stanicích i na vedeních provádí diagnostiku silových zařízení dle plánovaných period dle systému SAP, kontrolu, vyhodnocení a předání výsledků z měření podskupinám údržby silového zařízení stanic a vedení. Aby celý tento proces zajištění správných informací a jejich následné použití byl efektivní, je důležitá spolupráce jednotlivých oddělení mezi sebou a zároveň i spolupráce s dodavateli.

Tato diplomové práce je zaměřena vliv řízeného spínání na spolehlivý provoz přenosové soustavy. Práce je konkrétněji zaměřena na plynový vypínač SF_6 a řízené spínání. Je zde podrobněji popsána teorie řízeného spínání s využitím zařízení synchroswitch PWC600 od firmy ABB a PSD02(03) od firmy SIEMENS. Součástí této práce jsou i fotografie s popsanými příklady z praxe v rámci rozboru komor vypínačů. Hlavním cílem této práce bylo zaměřit se na kompenzační zařízení pro 400 kV na stanicích TR Hradec u Kadaně a TR Přeštice a následně zhotovit analýzu nasazených synchroswitch na zmíněných stanicích.

Seznam symbolů a zkratek

| | |
|-----------------------|--|
| AROPO | Automatické rozpoznání poruch |
| atd. | A tak dále |
| CO | close to open |
| GOOSE | Generic object oriented substation event |
| Hz | Hertz – základní jednotka frekvence |
| IED | Intelligent electronic device – inteligentní elektronická jednotka |
| IT | Izolovaná elektrická soustava |
| kV | Kilovolt – jednotka elektrického napětí |
| ms | Milisekunda – jednotka času |
| PST | Phase. Shifting Transformers |
| SF ₆ | Fluorid sírový |
| SO ₂ | Oxid siřičitý |
| TN | Elektrická síť, která má jeden bod přímo uzemněný u zdroje |
| TR | Transformovna |
| TT | Elektrická síť, která má jeden bod přímo uzemněný u zdroje |
| tzn. | To znamená |
| tzv. | Takzvaně |

1 Proces spínání v izolované a přímo uzemněné soustavě

Pojem spínání zahrnuje tři stavy a to zapínání, vypínání a přepínání v jakémkoli stavu elektrického obvodu. Primárním úkolem spínacího přístroje je uzavírat anebo přerušovat elektrický obvod. Během procesu zapínání a vypínání v elektrickém obvodu dochází ke vzniku přechodových jevů. Přechodové jevy jsou důsledkem interakce vypínače a elektrického obvodu. Pro výpočty a sledování přechodových jevů se vytváří náhradní schéma elektrického obvodu. Spínací přístroje nad 1kV se rozdělují na přístroje pro vysoké napětí, velmi vysoké napětí a zvláště vysoké napětí. Následující odstavce popisují obecný proces vypnutí a zapnutí vypínače. [2], [3], [4]

Proces zapínání spočívá v uvedení do pohybu pohyblivého kontaktu vypínače pomocí ruky nebo pohonového mechanismu, například pružinového nebo tlakovzdušného a samotné přesunutí pohyblivého kontaktu z výchozí polohy, tzn. vypnuté do polohy zapnuté. Touto změnou polohy nastane mechanický styk obou kontaktů. Sníží-li se vzdálenost obou kontaktů, mezi kterými zůstává potenciální rozdíl, zvýší se intenzita elektrického pole. Po dosažení určité vzdálenosti, nastane elektrický průraz prostředí, tudíž mezi kontakty před jejich vzájemným stykem se zapálí elektrický oblouk. Tento proces musí proběhnout dostatečně rychle, aby účinky zapínacího kontaktu byly minimální a nedošlo k poškození vypínače. [2]

Opačný proces nastává při vypínání, kdy se musejí kontakty oddálit na dostatečně velkou vzdálenost. Opět lze tento pohyb realizovat pomocí pohonového mechanismu, ruky nebo pomocí vybavovacího impulsu, který oddálí kontakty pomocí vypínacích pružin. Během zapnutí vypínače se ustálí energetický tok, který vytvoří obranou reakci při přerušení elektrického proudu. Vznikne elektrický oblouk, který se ihned nepřeruší v okamžiku oddálení kontaktů, ale úplné přerušení nastává až po uhasnutí elektrického oblouku a následném obnovení elektrické pevnosti mezi kontakty. Aby se minimalizovaly škody na vypínači během zhášení oblouku, je ideální co nejvíce zkrátit dobu hoření oblouku. Jelikož je toto řešení prostorově náročné, vkládají se kontakty do zhášedla. Díky zhášedlu dojde k uhašení oblouku během pár setin sekund. [2]

Velmi důležitou roli během procesu spínání hraje zotavené napětí, které je popsáno v následujících odstavcích.

Zotavené napětí

Zotavená napětí, jsou taková, která se nachází mezi kontakty po uhašení elektrického oblouku, to znamená ihned po přerušení proudu. Tato napětí jsou příslušná pro vypínání zkratů se jmenovitým vypínacím proudem a z něj odvozených vypínacích proudů anebo při základních zkušebních sledech. Tento parametr je velice důležitým parametrem pro stanovení vypínací schopnosti vypínače. Průběh zotaveného napětí se skládá ze dvou složek. První složka se nazývá vysokofrekvenční neboli přechodné zotavovací napětí, která má harmonický průběh s úhlovou frekvencí. Druhá složka nazývaná obnovené napětí znázorňuje napětí zdroje. [2], [3], [4]

Zotavené napětí závisí na uspořádání síťového obvodu. Díky tomu mají zotavená napětí velkou počáteční strmost, která později klesá. Tato napětí mají tlumený jednkmitočtový nebo několikakmitočtový průběh (například elektrické vedení větší délky). Pro jednodušší zobrazení se tyto průběhy nahrazují jednoduchými obálkami složenými z úseček. Hodnoty zotaveného napětí zobrazují jednotlivé body úseček. Podle počtu definovaných parametrů existuje dvouparametrové a čtyřparametrové znázornění. Aby došlo k vypnutí proudu vypínačem, musí po zániku oblouku průrazné poobloukové napětí u_{pp} být vždy větší než zotavené napětí u_{zn} . [2], [3], [4]

Pro porovnání obtížnosti vypnutí ve dvou různých obvodech, je potřeba znát jejich ideální zotavená napětí. V případě, kdy je třeba provést dokonalou náhradu vypínače, je nezbytné znát časovou závislost odporu, pro kterou se vytvoří náhradní schéma obvodu a pomocí různých matematických operací se dopočítá. Zotavené napětí je výrazně ovlivněno odporem vypínače. [2]

Vlastní kmitočty sítě ovlivňují ideální průběh zotaveného napětí při zkratech. Při výpočtu průběhu napětí se vychází z toho, že má vypínač ideální vlastnosti. Předpokládá se, že během hoření oblouku je napětí oblouku nulové a po zhasnutí oblouku se izolační odpor vypínací dráhy skokem přiblíží k nekonečné hodnotě. Ve skutečnosti ovšem má vypínač poměrně značné napětí na oblouku, které částečně deformuje zkratový proud v oblasti před

nulovou hodnotou odporu. V elektrických stanicích velmi vysokého napětí se mohou vyskytovat místa s výskytem odchylek průběhu zotavených napětí, a proto je důležité při jejich projektování dbát důraz na výpočty průběhu zotaveného napětí, na které nemá vliv použití synchroswitch. [4]

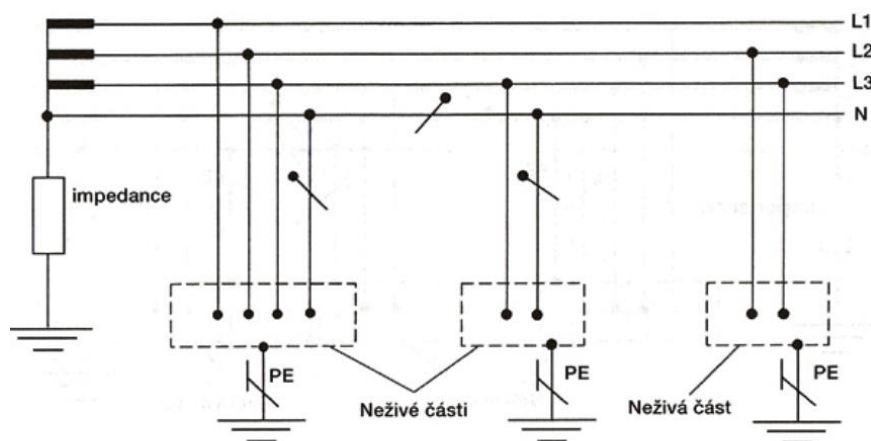
Zbývá část této kapitoly popisuje spínání v izolované, přímo uzemněné soustavě a princip řízeného spínání.

1.1 Izolovaná soustava

Síť IT neboli izolovaná soustava, je soustava, která má všechny živé části izolované od země nebo popřípadě jeden pól je spojený přes velkou impedanci. Toto spojení je obvykle v nulovém bodě, popřípadě středním bodě nebo umělém nulovém bodě. V případě, že je zvolen umělý bod nulový, je spojen přímo se zemí a výsledná impedance proti zemi je při frekvenci sítě dostatečně velká. V případě, že nulový nebo střední bod neexistuje, většinou se přes velkou impedanci uzemňuje vodič vedení. [5], [6]

V rámci bezproblémového provozu sítě je tato síť ideální řešení. Velkou nevýhodou je poměrně velká cena nákladů na provoz, jelikož je potřeba zajistit personál pro monitorování a údržbu sítě. Vzhledem k tomu, že je síť izolovaná, je potřeba zajistit ochranu nulového vodiče. [5]

Zapojení sítě IT se využívá v místech, kde by ztráta napětí sítě znamenala ohrožení na životě, například v nemocnicích, a to na jednotkách intenzivní péče nebo operační sály. Dalším příkladem využití této sítě jsou průmyslové podniky, pro které by ztráta napájení znamenala velké ekonomické ztráty, například sklárny. V energetice se tato síť využívá v elektrárnách a u venkovního vedení vysokého a velmi vysokého napětí. [5]

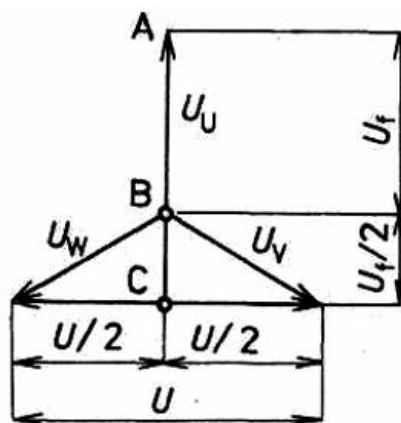


Obr. 1.1 Schéma IT sítě [5]

1.1.1 Vypnutí v třífázové izolované síti

Při procesu vypnutí nedojde k přerušení elektrického oblouku současně, ale po uhasnutí elektrického oblouku v jedné fázi, se třífázová izolovaná soustava změní na soustavu dvoufázovou. Přitom je jedno, která fáze bude ta první. Každý třípólový vypínač je vyroben tak, aby uměl být schopen vypnout jakýkoliv proud, a to až do výše jmenovitého vypínacího proudu při 1,5 násobku obnoveného napětí oproti fázovému napětí sítě. Před samotným vypnutím je napětí souměrné, tudíž jsou jednotlivá napětí fázově posunuta o 120° . Jelikož se jedná o souměrnou soustavu má nulový bod nulový potenciál. [2], [3]

Tento proces je znázorněn na fázorovém diagramu (Obr. 1.2). Uhasne-li elektrický oblouk nejprve ve fázi U, bude proud protékat pouze mezi fázemi V a W, kde bude sdružené napětí těchto fází. Aby byla splněna podmínka uzavřené soustavy, bude mít proud ve fázi V opačný směr oproti fázi W, pokud bude mít stejnou velikost. Nulový bod změní polohu z bodu B do bodu C. Díky tomu přesunu se potenciál bodu A fázoru napětí U proti uzlovému bodu zvýší, což zapříčiní skutečnost, že dané obloukové napětí mezi kontakty fáze U, ve kterém uhasíná oblouk, jako první je 1,5 násobkem velikosti fázového napětí. Po několika málo milisekundách po uhasnutí elektrického oblouku ve fázi U, uhasínají ostatní dva elektrické oblouky ve zbylých dvou fázích současně, jelikož v těchto fázích prochází stejný elektrický proud, jako když byla ještě soustava třífázová a napětí mezi fázemi nimi bude už posunuto pouze jen o 90° . [2], [3]



Obr. 1.2 Fázorový diagram napětí třífázové neuzemněné sítě [2]

1.1.2 Zapnutí v třífázové izolované síti

Průběh procesu zapnutí v izolované soustavě probíhá vzájemně oproti vypnutí téže soustavy. Při sepnutí první fáze se téměř nic neděje, jelikož se jedná o izolovanou soustavu, tudíž proudová dráha nemá možnost, kam se uzavřít. Proudová dráha se uzavře až při sepnutí druhé fáze, kdy mezi fázemi působí sdružené napětí. Proud obvodu se rozdělí na dvě zapnuté fáze a bude roven celkovému proudu zátěže. Tímto se dodrží podmínka uzavřené soustavy, a to tak, že součet proudů v každém okamžiku bude roven nule. Během sepnutí obou fází je napětí obou fází posunuto o 90° . Při sepnutí třetí fáze, vznikne nulový bod, to znamená, že napětí mezi jednotlivými fázemi se posune tentokrát o 120° . Napětí bude tedy souměrné. Proud soustavy se rozdělí na tři fáze a splní podmínku uzavřené soustavy. [2], [3]

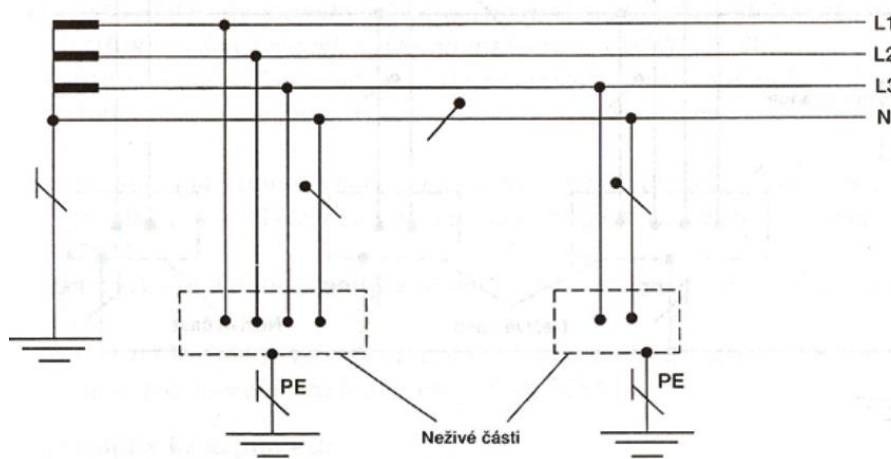
1.2 Přímou uzemněná soustava

Přímou uzemněná neboli síť TT má jeden bod přímo uzemněný. Spojeny se zemniči nezávislými na zemničích sítě jsou části neživé elektrických zařízení, které jsou nejčastěji provedeny individuálním nebo skupinovým ochranným uzemněním. Nejčastější výskyt této sítě je ve Francii a Španělsku, kde se využívá pro rozvod elektrické energie v nn soustavách. V kombinaci se sítí TN se vyskytuje v Belgii, Německu a Itálii. [5]

Sítě TT bývají přímo napájené z distribučních soustav. Výhodou těchto sítí je poměrně jednoduchý návrh a instalace. Při poruše izolace se mohou vyskytnout přerušování dodávek elektrické energie, které lze eliminovat pomocí umístěním sériových nebo paralelních

proudových chráničů, které místa poruchy izolují. Značnou nevýhodou je výskyt svodového proudu, který se objeví i během normálního provozu. [5]

Oproti izolované soustavě není mezi vodiči žádná vazba, tudíž se soustava během spínání chová jako tři samostatné třífázové obvody, kdy jsou jednotlivé fáze posunuty o 120° elektrických. [2], [3]



Obr. 1.3 – Schéma sítě TT [5]

1.2.1 Vypnutí v přímo uzemněné soustavě

Počáteční obnovené napětí v každé fázi je shodné s velikostí fázového napětí zdroje v momentně zániku elektrického oblouku. V každé fázi prochází proud nulou v jiném okamžiku, takže uhasnutí oblouku bude v každé fázi jiný. Při průchodu proudem nulou v jednotlivých fázích, dojde k přerušení proudu podle rozestupu jednotlivých fází ve 120° elektrických. [2], [3]

1.2.2 Zapnutí v přímo uzemněné soustavě

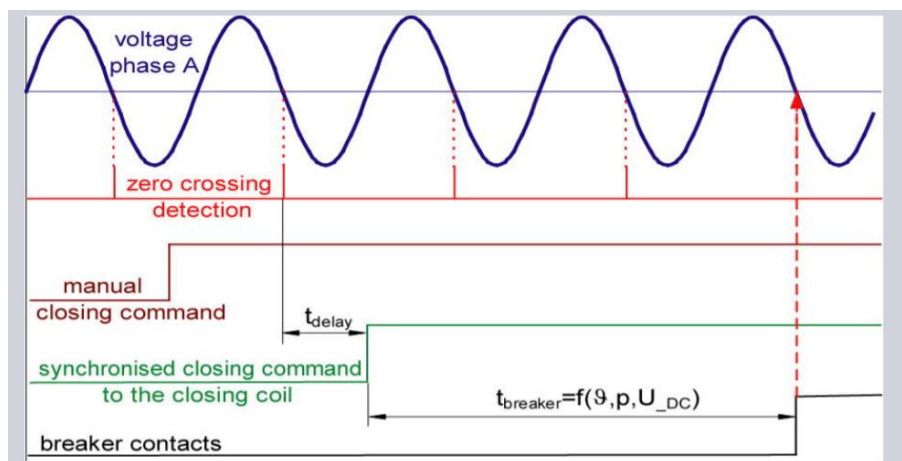
V zapnutém stavu jsou v jednotlivých fázích rovny hodnoty odporů a indukčností. Hodnota ustálené složky proudů, které jsou v každé fázi posunuté o úhel φ vůči napětí, v jednotlivých fázích pouze při jmenovitém napětí bude mít stejnou velikost jako hodnota odporů a indukčností. [2], [3]

1.3. Řízené spínání

Spínací procesy vypínače způsobují přechodná přepětí, podpětí nebo nadproudy v systému, které nelze vždy respektovat. Velikost těchto přechodných stavů závisí na fázové

pozici v momentě sepnutí. Při použití klasických metod spínání je fázová pozice v daném okamžiku sepnutí zvolena náhodně, tudíž časem pravděpodobně dojde k sepnutí ve velmi nevýhodné fázové pozici. Nejčastější metody ke snížení velikosti a nárazu přechodových jevů jsou použití reaktorů, vřazení odporů nebo omezovačů přepětí. Řízené spínání je vhodná alternativa k těmto klasickým metodám. Mezi výhody spínaného řízení patří především snížení vysokého nárazového proudu, nebezpečného spínacího přepětí a selhání vypínačů, které jsou velmi často namáhány. Zvyšuje životnost jističů, díky tomu, že snižuje velikost přechodových jevů. Díky řízenému vypínání dochází po vypnutí k větší mezeře mezi kontakty vypínače, což zvyšuje výkon jističe v dielektrické oblasti. [7], [8]

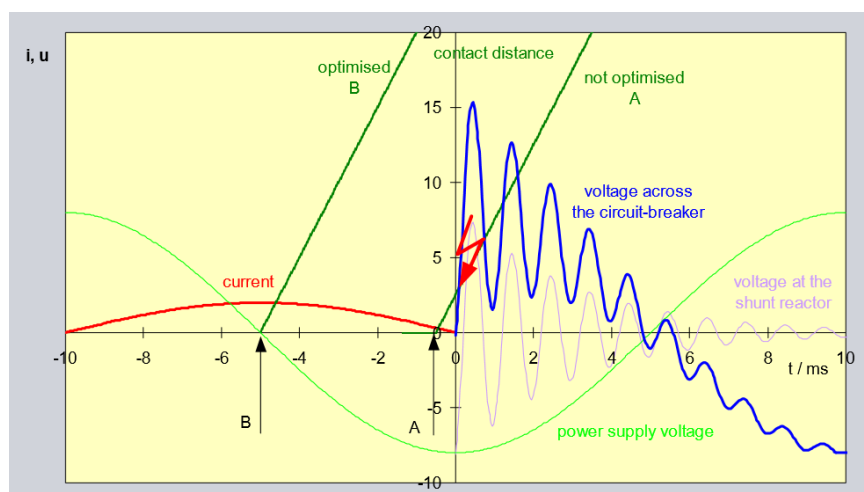
Řízené spínání používá moderní technické zařízení, které zahrnuje numerické relé nebo regulátor, pro řízení časování uzavření nebo otevření pólových vypínačů vzhledem k fázovému úhlu referenčního elektrického proudu nebo napětí. Vypínač musí být konstruován tak, aby mohlo k těmto řízeným spínáním a uzavíráním docházet za všech běžných provozních situací opakovaně, a to s přesností $\pm 1\text{ms}$ a méně. Řízené spínání dokáže okamžik sepnutí synchronizovat pomocí řídicí jednotky neboli synchroswitch právě tak, že se sepnutí uskuteční v takové pozici, ve které jsou přechodové jevy při spínání omezeny nebo až dokonce eliminovány. Díky tomu se méně namáhá vypínač a spínané zátěže. Například při vypnutí reaktoru, kdy není metoda vřazených odporů účinná, je pomocí řízeného spínání možné přepětí znovuzápalu zcela omezit. Tato metoda zajišťuje vyrovnané a beznárazové spínání. Jedná se o metodu modernější oproti metodě při použití vřazených odporů. Díky řízenému spínání je zabezpečena vyšší kvalitativní úroveň dodávky elektrické energie. [3], [7]



Obr. 1.4 Proces zapínání pomocí řízeného spínání pro kapacitní zátěž [9]

Proces zapínání je zobrazen na obrázku (Obr. 1.4). Jak vyplývá z obrázku, na vypínač přijde ze sychroswitch povel pro zapnutí. Sychroswitch spustí vlastní měření t_{delay} a zároveň měření t_{breakres} , které jsou předem dány v rámci nastavení vypínače. Toto měření slouží k výpočtu nalezení nejvýhodnějšího okamžiku pro zapnutí vypínače. Jakmile vypočítá nejvhodnější okamžik, vypínač se zapne. Díky nalezení nejvhodnějšího okamžiku sepnutí, se zamezí vzniku předzápalů kontaktů vypínače, které mohou způsobit problémy. Výpočet t_{delay} bývá zpravidla v rozmezí 16 až 21 ms. [9]

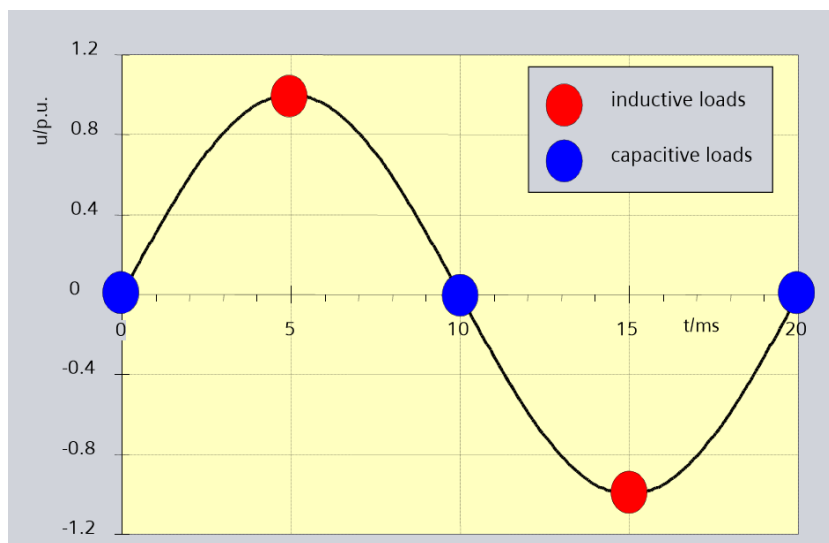
Na obrázku (Obr. 1.5) je průběh vypínání vypínače pomocí sychroswitch. Jakmile nastane situace jako v bodě B (tzn. před obnovením napětí, vznikne dostatečně velká kontaktní mezera), kontakty se rozepínají s minimálním namáháním. Oblouk začne dohořívát a tím pádem klesá i napětí, což nám zajišťuje, že nedojde k znovuzápalu elektrického oblouku. Jak lze vyčíst z grafu, mezi 4 až 6 ms napěťové zákmity hoření elektrického oblouku již protly nulu. [9]



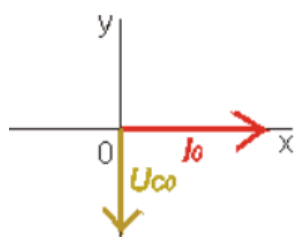
Obr. 1.5 Proces vypínání pomocí řízeného spínání pro indukční zátěž [9]

Sychroswitch lze nastavit pro různé typy zátěže (kapacitní, indukční), druhy a typy vypínačů. Každý výrobce vypínačů doporučuje využití vlastního sychroswitch, jelikož zná nejlépe nastavené parametry vypínače. Jak vyplývá z grafů průběhu zapínání i vypínání a grafu ideálních pracovních bodů (Obr. 1.6), řízené spínání využívá znalosti fázorových diagramů pro indukční a kapacitní charakter, které jsou znázorněny na obrázcích pod odstavcem (Obr. 1.7 a Obr. 1.8). Je velice důležité si uvědomit, že řízené spínání funguje pouze při běžných pracovních podmínkách, ale jakmile je dán povel pro vypnutí ze systému

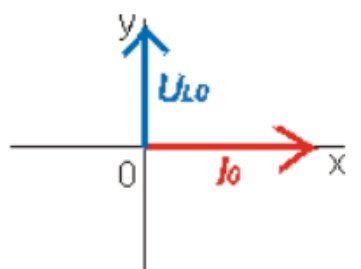
elektrických ochran, je okamžitě vypnut vypínač bez pomoci synchroswitch, jelikož elektrické ochrany jsou mu vždy nadřazeny. [9]



Obr. 1.6 Optimální pracovní body pro kapacitní a induktivní zátěž, vztahené k napětí [9]



Obr. 1.7 Fázorový diagram pro induktivní zátěž [10]



Obr. 1.8 Fázorový diagram pro kapacitní zátěž [10]

Kondenzátorové baterie

Většinou je pro zapnutí kapacitní zátěže nejvýhodnější ten stav, kdy je napětí na každém pólu vypínače nulové. V těchto stavech jsou totiž eliminovány přeskoky, které by ovlivňovaly systém jako například přechodová napětí či zapínací proud. Kondenzátorové baterie bývají zpravidla před zapnutím vybité, tudíž u kondenzátorové baterie s uzemněným nulovým bodem se kontakty zapínají v obráceném fázovém sledu v intervalu po 60°

v okamžiku, kdy je napájecí napětí nulové. Naopak při baterii zapojené do trojúhelníka nebo plovoucím nulovým bodem se zapínají dvě fáze v okamžiku, kdy je napětí na napájecí straně mezi těmito dvěma fázemi nulové. Poslední třetí fáze se zapne se zpožděním 90° . [3], [7]

Vypínače jsou nastavovány tak, aby eliminovaly předpokládaná zotavená napětí bez předzápalů, proto synchronizované vypnutí kondenzátorových baterií s požadavkem na minimalizování předzápalů, není nutné. [3], [7]

Harmonické filtry

Harmonické filtry a paralelní kondenzátory tvoří zpravidla kapacitní zátěže, ovšem sepnutí se liší v určitých bodech. Harmonické filtry mají tlumící efekt na napěťový ráz a také na zapínací proud, proto jejich potřeba řízeného spínání není tak často potřeba jako u paralelních kondenzátorů. Při nulovém napětí lze pomocí řízeného spínání snížit amplitudu proudu až téměř o 50 %, ale již není zcela možné eliminovat obsah harmonických složek, které naštěstí nezpůsobují žádné zásadní problémy. Oproti paralelním kondenzátorům má vypnutí harmonických filtrů za následek zvýšenou pravděpodobnost vzniku znovuzapálení oblouku a předzápalu. To je způsobeno tím, že přechodové zotavené napětí má v okamžiku vzniku vyšší amplitudu a také špičková hodnota zotavené napětí je vyšší. [3], [7]

Tlumivky

Vzhledem k tomu, že při zapínání lze zanedbat vliv remanence, budou fázové proudy narůstat z bodu jejich přirozené nulové hodnoty. Sekvence zapnutí u tlumivky závisí na vzájemném propojení fází v magnetických i elektrických obvodech. Během zapínání vznikne velký přechodový děj, proto se tento proces uskutečňuje bez přítomnosti elektrického oblouku. Nejvýhodnější bod pro spínání tlumivek je při maximálním napětí. [3], [7], [9]

Synchronizované vypnutí je nastaveno tak, aby eliminovalo znovuzapálení oblouku, tzn. ideálně, by měla být před obnovením napětí vytvořena dostatečně velká kontaktní mezera. Nahromaděná energie jde na komoru tlumivky, tudíž vznikne elektrický oblouk. Vypnutí tedy závisí na typu reaktoru a typu uzemnění. Okamžik sepnutí při procesu zapnutí

i vypnutí u jednopólového ovládaného vypínače lze nastavit u jednotlivých pólů navzájem nezávisle. [7]

Výkonové transformátory

Co se týče transformátorů, ty se obvykle nejčastěji zapínají nezatížené, proto se řízené vypínání nevyužívá, protože by zcela redukovalo přechodné jevy. Zapne-li se transformátor v nevýhodné fázové pozici, vzniknou značné proudové nárazy. Proto se u transformátorů vyžaduje spíše řízené zapínání. Nejvýhodnější bod pro spínání transformátoru je těsně před nástupem maximálního napětí. [3], [7], [9]

Vedení

Nejvýhodnější stav pro zapnutí je ten, kdy je vedení bez zatížení, tzn. na každém pólu je napětí nulové. Protože je vedení zapnuté naprázdno, eliminují se přechodné napěťové stavy, které mohou poškodit izolaci vedení a komponentů, které jsou připojeny k vedení na jeho konci. [3], [7]

Nemůže se ignorovat napětí na straně zátěže, jak tomu je u kondenzátorové baterie. Napětí na vedení zůstává nějaký čas po vypnutí, a to i v případě přímého snížení napětí nebo snížení střídavého napětí s frekvenční odchylkou od napětí sítě u paralelních kompenzovaných napětí. Komplikace s těmito provozními stavy lze řešit pomocí synchronizací, která jsou řízeny referenčním napětím na straně napájení. [3], [7]

Řízené vypínání vedení se požaduje ve výjimečných situacích, pokud zotavené napětí dosáhne větší velikosti než napětí, na které je vypínač určený. [3], [7]

Následující kapitola popisuje vypínač a jeho základní parametry potřebné pro řízené spínání a vliv spínání na zhášecí komoru vypínače.

2 Vypínač

Spínače, které mají plnou spínací schopnost, se nazývají vypínače a s omezenou spínací schopností se nazývají vypínače zátěže. Vypínače lze rozdělit do skupin dle použitého zhašejícího média, např. olejové nebo dle způsobu ovládní vypínače, např. pákové. V současné době neexistuje univerzální zhašecí komora, která by vyhověla veškerým spínacím podmínkám, ovšem plynový vypínač SF_6 vyhovuje prozatím nejlépe. V české přenosové soustavě se používá u spínání tlumivek právě pro využití vlastností synchroswitch, plynový vypínač SF_6 , kdy plyn SF_6 slouží k uhašení elektrického oblouku. Následující odstavce se věnují právě tomuto druhu vypínače. [2], [4]

Fluorid sírový neboli SF_6 je elektronegativní plyn, který se vyznačuje jako perfektní médium pro hašení elektrického oblouku, a to díky velké elektrické pevnosti, nehořlavosti, velké chemické stálosti atd. Tento plyn patří k nejstabilnějším chemickým sloučeninám a je 5krát těžší než vzduch. Mezi nejdůležitější požadavek na vlastnosti plynného média je schopnost předávat teplo z míst, kde dohází k jeho vzniku do okolí. Další z řady výhod tohoto plynu je, že převážnou část doby života vypínače nemění své zhašecí ani izolační vlastnosti, proto se náplň vypínače vyměňuje jen při revizích. Co se týče ekologického dopadu plynu SF_6 na klima, tak plyn SF_6 neníčí ozónovou vrstvu na planetě Zemi, ovšem přispívá ke skleníkovému efektu. Když plyn zareaguje s nestandardním stavem (přepětí, blesk atd.), tak vlivem vnitřního oblouku vzniknou splodiny hoření SO_2 a další různé sloučeniny. Tyto sloučeniny mají negativní vliv na lidský organismus, jelikož jsou karcinogenní. Nemají negativní dopad pouze na lidský organismus, ale i na samotný vypínač, protože rozežirají vnitřní ústrojí vypínače. [2], [11]

Plynový vypínač (Obr. 2.1) se skládá z několika částí, a to komor, izolátorů, pomocné ocelové konstrukce, ovládací skříně, zapínací pružiny, vypínací pružiny, densostatu, skříně pohonu, táhla, stavoznaku, kondenzátoru, rezistorů a napěťových svorek. Plyn SF_6 je neustále ve vypínači, stav vypínače lze zjistit dle množství plynu ve vypínači. Když množství poklesne, lze provést operace vypnutí nebo zapnutí. Protože pro zapnutí vypínače musí být dostatečné množství energie, která se nastřádá během natahování vypínacích pružin, tudíž je možno vykonat cyklus vypnutí, zapnutí a vypnutí. Ovšem poklesne-li plyn na ztrátu tlaku, nelze již s vypínačem manipulovat, protože je elektricky zablokovaný, i přestože má vypínač

nastřádanou energii. Jakmile se naplní vypínač plynem SF_6 , mohou pověřeni zaměstnanci manipulovat s vypínačem, protože se elektricky odblokuje. Životnost vypínače lze odhadnout na cca 30 let, což by mělo být zhruba v řádu tisíců operací, tzn. vypnutí nebo zapnutí. [12]

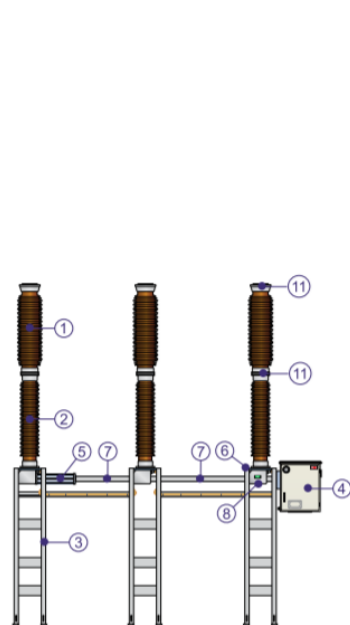


Figure 2.2. Three-pole operated circuit breaker with one interrupter per pole.

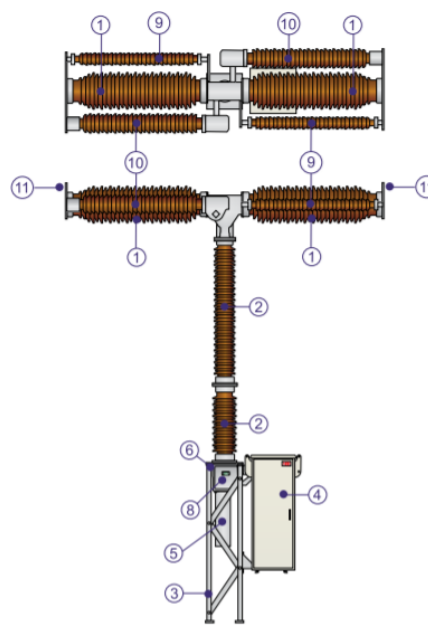


Figure 2.3. One pole of a single-pole operated circuit breaker with two interrupters per pole.

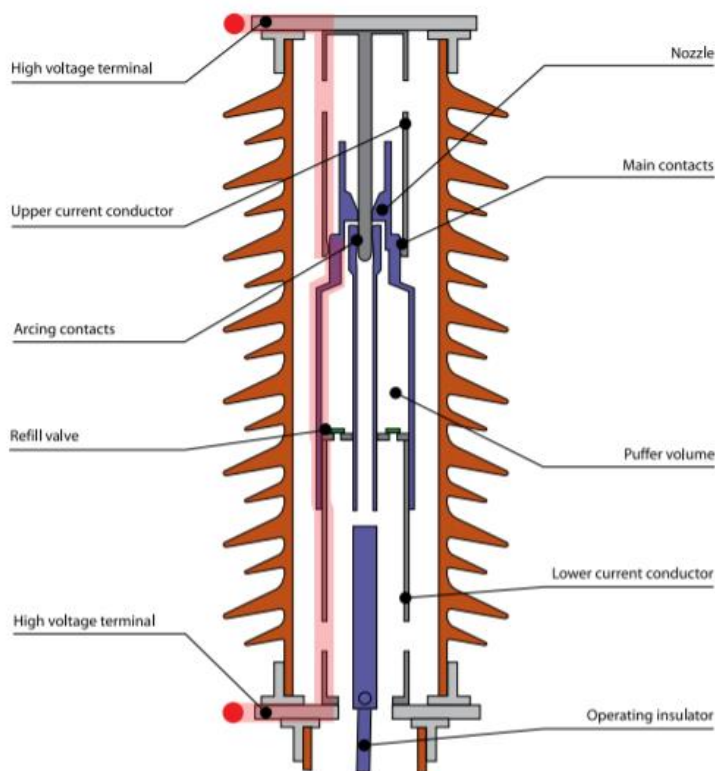
Circuit breaker components

| | | |
|------------------------|---------------------------------------|---|
| 1. Breaking unit | 5. Trip mechanism | 9. Grading capacitor (if required) |
| 2. Support insulator | 6. Gas supervision (on opposite side) | 10. Preinsertion resistor (PIR) (if required) |
| 3. Support structure | 7. Pullrod with protective tube | 11. Primary terminals |
| 4. Operating mechanism | 8. Position indicator | |

Obr. 2.1 Části vypínače pro 245 kV a 420 kV od firmy ABB [12]

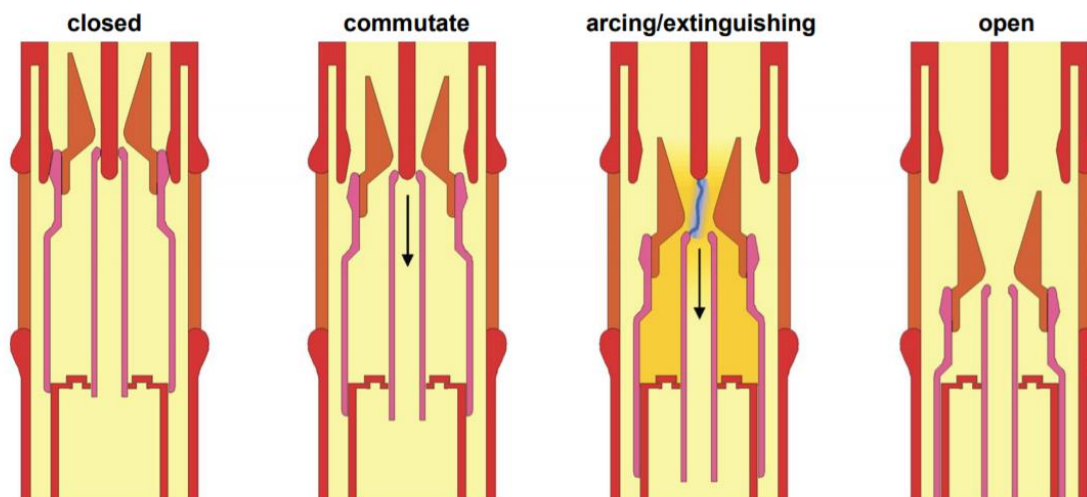
Na první pohled lze určit podle počtu komor, jestli se jedná o vypínač pro napětí 420 kV nebo 245 kV. Vypínač konstruovaný pro zátěž 420 kV se skládá ze dvou komor a dvou podpěrných izolátorů oproti vypínači konstruovanému pro zátěž 245 kV, který má pouze jednu komoru, ale pro každou fázi L1, L2, L3 a k ní připojený podpěrný izolátor opět pro každou fázi zvlášť (Obr. 2.1). V hlavní ovládací skříni je umístěna ovládací technologie spolu s pohonem, kde jsou zapínací pružiny. Blízko hlavní ovládací skříně vypínače se nachází stavoznak vypínače, který je důležitý, protože pouhým pohledem lze zjistit, zda je vypínač vypnutý nebo zapnutý. Toto se často využívá během kontroly při zajištění pracoviště v rámci údržby nebo opravy poruchy. Další důležitou součástí údržby vypínače je kontrola správného tlaku plynu SF_6 , k čemu slouží densostat, který je zároveň vyvedený do řídicího systému, tudíž v řídicím systému lze najít i hlášku o poklesu plynu ve vypínači. Zhášecí

komora (Obr. 2.2) se skládá z platle, trysky, výfukového ventilu, pohyblivého a pevného kontaktu, táhla, plynotěsného oddílu, plynu SF_6 atd. Tryska je většinou vyrobená z teflonu, na opalovacím kontaktu je vrstva wolframu nebo mědi. Uvnitř pohyblivého kontaktu jsou pláty mědi, které jsou postříbřené. Kondenzátory vyrovnávají rozdíl namáhání komor vypínače, snižují strmost zotaveného napětí při vypnutí. Ovšem značná část vypínačů v dnešní době nemá již kondenzátor, protože jsou již na tento jev přizpůsobené z výroby. [12], [13]



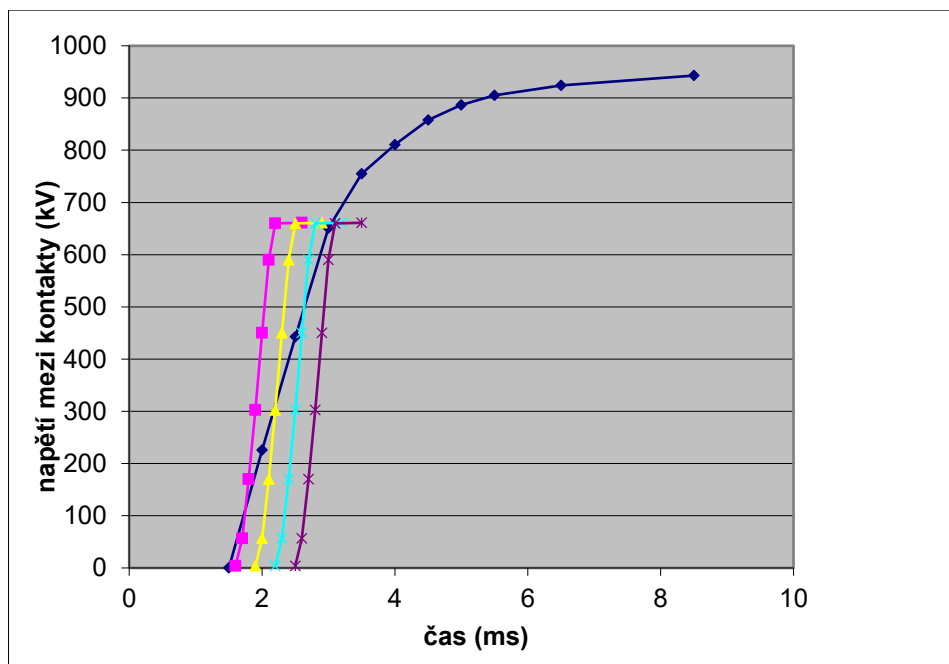
Obr. 2.2 Části komory vypínače [12]

Během procesu vypínání (Obr. 2.3), dochází k rozpojení a postupnému oddálení pohyblivého kontaktu od pevného opalovacího kontaktu. Přestože se přeruší proudová dráha hlavních kontaktů, proud stále pochází paralelními opalovacími kontakty. Díky pohybu hlavního pohyblivého kontaktu dochází ke stlačování plynu SF_6 . Jakmile se rozpojí opalovací kontakty, začne mezi nimi hořet elektrický oblouk. Zvyšuje se teplota a narůstání tlaku plynu SF_6 , který přes zhášecí trysku oblouk vyfoukne. Přeruší se proudový obvod a vznikne standardní izolační stav ve zhášecí komoře, jelikož se obnoví provozní tlak plynu SF_6 . [12]



Obr.2.3 Proces vypínání v komoře vypínače [14]

Synchroswitch je důležitou součástí vypínače během procesu vypínání. Jednou z jeho funkcí viz předchozí odstavce je také, že chrání vypínač před znovuzápal, které vznikají při průchodu proudem nulou. V tento okamžik se na křivce napětí objevují výrazné špičky, které jsou vyvolané nárůstem odporu oblouku. Z praxe a několika odborných studií vyplývá v případě použití řízeného spínání, při prvním přerušení proudu na tlumivce vzniká velký úbytek napětí se strmostí odpovídající v řádech stovek Hz. Zhruba do 1ms vzroste napětí mezi kontakty vypínače na dvojnásobek amplitudy. Jak lze vidět v grafu (Graf 2.1), křivky TRV1, TRV2 a TRV3 překročí křivku elektrické pevnosti, tudíž u nich dojde k znovuzápalu, kdy první dvě křivky při poměrně malých hodnotách elektrického napětí. Od polohy křivky TRV4 doprava nedochází již ke znovuzápalům. Důležitý je tedy časový úsek pro první přerušení proudu, a to zhruba od 1 ms do 10 ms. Dojde-li k prvnímu přerušení proudu v daný interval, zcela jistě vznikne znovuzápal. V případě neřízeného spínání vznikne nárůst náhodně z hlediska polohy rozjíždějících se kontaktů. U tohoto typu spínání záleží převážně na elektrické pevnosti mezi kontakty v závislosti na jejich vzdálenosti. [13], [15]



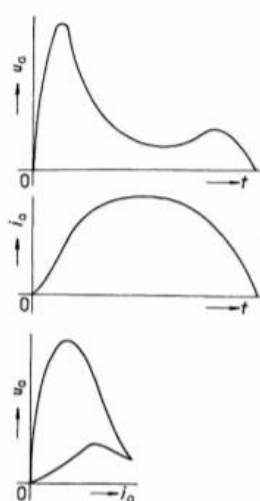
Graf. 2.1 Závislost elektrické pevnosti mezi kontakty na čase od vypnutí [13]

2.1 Statická a dynamická charakteristika elektrického oblouku

Křivka, znázorňující závislost napětí na elektrodách na proud procházejícím obloukem, se nazývá charakteristika výboje. Rozlišujeme dva druhy charakteristiky napájecího napětí, a to statickou a dynamickou. Poměry ve výboji ve stejnosměrném obvodu popisuje statická charakteristika oproti dynamické, která popisuje poměry v obvodu střídavého proudu. [2]

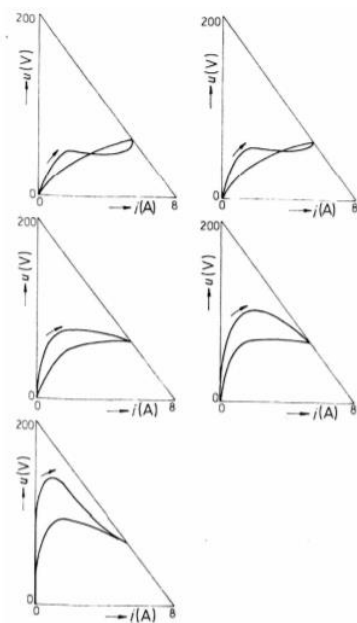
Co se týče dynamické stability střídavého oblouku je mnohem komplikovanější než u stejnosměrného kvůli tomu, že proud i napětí jsou periodickými funkcemi času. Charakteristika oblouku v obvodu střídavého proudu je zobrazena na obrázku (Obr. 2.4). Vyjadřuje závislost napětí na oblouku na proud jím procházejícím. Na začátku půlperrody stoupá napětí na elektrodách spolu se sítovým napětím, až do okamžiku napětí potřebného pro zapálení oblouku neboli zapalovací napětí. Poté napětí poklesne na hořící napětí oblouku a téměř se určitou část periody nemění. Proud se mění po celou dobu, kdy hoří oblouk. Dynamickou charakteristiku oblouku získáme tedy eliminací času z časových průběhů proudu či přímým snímáním oscilografem. Lze vyčíst, že napětí příslušná oblasti vytváření

oblouku jsou vyšší než napětí v oblasti uhasínání oblouku. [2]



Obr. 2.4 Časový průběh napětí a proud oblouku napájeného střídavým proudem a jeho dynamická charakteristika [2]

Vliv délky elektrického oblouku na tvar dynamické charakteristiky je znázorněn na obrázku (Obr. 2.5). Z průběhů vyplývá, že s rostoucí délkou oblouku se charakteristika posunuje k vyšším napětím. Zároveň se plocha omezená charakteristikou zvětšuje, současně narůstá velikost zapalovací špičky a klesá velikost amplitudy proudu. [2]



Obr. 2.5 Vliv délky oblouku na tvar dynamické charakteristiky [2]

2.2 Elektrické kontakty

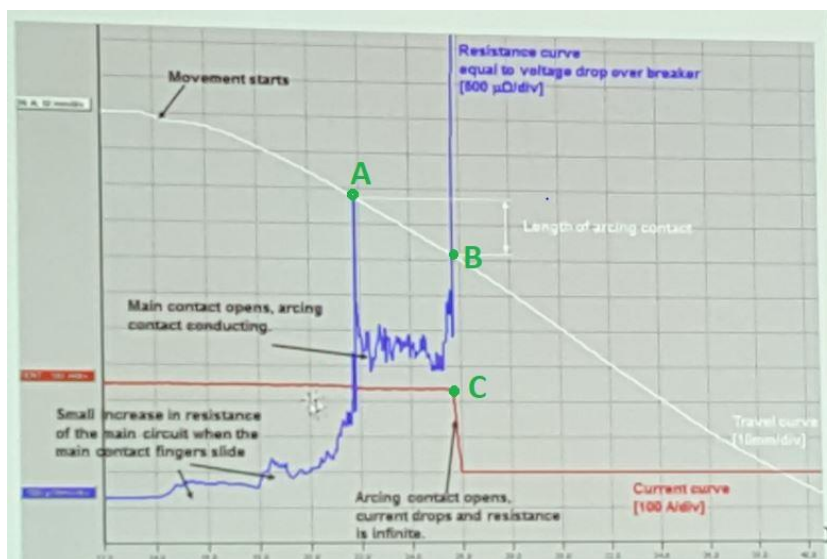
Při opakovaném dlouhodobém periodickém spínání zatížení přesahující maximální spínací schopnosti spínače dochází k mechanickému poškození kontaktů. Při spínání proudů v blízkosti jmenovitých vypínacích proudů časem dochází k elektrické erozi vypínacího kontaktu obloukem. Při častém vypínání zkratových proudů se také mohou kontakty znehodnotit do takové míry, že již nebudou schopny přenášet jmenovitý proud, a tudíž zajišťovat spolehlivě vypínací schopnost. Tyto všechny možnosti vedou k nutné výměně vypínače za nový. Požadavky na elektrické kontakty jsou malý stykový odpor, velká odolnost proti svaření, velká odolnost proti mechanickému opotřebení, velká odolnost proti opalování elektrickým obloukem a optimální vliv na vývoj deionizačních pochodů po uhasnutí vypínacího oblouku. [2], [3]

Na kontaktech se vytvářejí cizí vrstvy, které mají negativní vliv na správnou funkci kontaktů. Jsou způsobeny působením okolního prostředí, funkcí vypínače a ochrannými prostředky na kontaktech, např. mazací filmy a přilnavé povrchy. Mazací filmy slouží primárně jako ochrana kontaktů. Přilnavé povlaky se naopak získávají usazováním drobných částeczek z ovzduší. [3]

Velmi častým jevem je eroze kontaktů elektrickým obloukem. Eroze neboli úbytek materiálu na kontaktech vzniklý jeho tavením, vypařováním a přenosem z jedné elektrody na druhou. Velký vliv má na erozi doba hoření oblouku, napětí na kontaktech, materiál kontaktů a parametry spínaného obvodu. Elektrický oblouk působí na kontakty svou vysokou teplotou tím, že je taví a odpařuje. Velikost opalu kontaktů má několik činitelů například velikost a druh napětí a proudu, doba hoření oblouku, zapínací rychlost atd. [2], [3]

Statické odpory v ČEPSU vždy zvýšené, ale vypínače provozuschopné, jelikož se při použití synchroswitch neničí opalovací kontakty. Dynamický odpor je velmi důležitou veličinou sloužící ke kontrole stavu opalovacího kontaktu vypínače. Měření dynamického odporu se provádějí během vypnutí vypínače. Pro změření dynamického odporu je potřeba dodat určitý proud pomocí baterie. Princip spočívá v tom, že se pomocí napájení komory proudem změří úbytek napětí. Na obrázku (*Obr. 2.6*) je zobrazen průběh z měření

dynamického odporu vypínače. Červeně zobrazená křivka se nazývá proudová. Je na ní zobrazen moment přerušení proudové dráhy a s tím související prudký nárůst odporu. Bílá je křivka pohybu, která zobrazuje pohyb opalovacího kontaktu během procesu vypínání. Body A a B se vynášejí na křivku pohybu a určují stav kontaktního ústrojí i správnou funkci vypínače, kterou je nutno porovnat s udávanými hodnotami přímo od výrobce. Nastane-li stav, kdy bude délka dosahovat velmi malých hodnot, má to podstatný vliv na správnou funkci vypínače, protože vypínač nemusí spolehlivě fungovat. V bodě C dochází k úplnému vypnutí, tudíž proud klesá k nulové hodnotě a odpor se zvyšuje do nekonečna. Při měření dynamického odporu je vhodné i zkontrolovat průběh mezi body A a B. Čím více průběh kmitá, tím lépe. V případě, že lze vypožorovat pouze malý počet zákmitů nebo úplně vodorovnou čáru, má vypínač velmi opotřebované kontakty. [16]



Obr. 2.6 Průběh vypnutí jedné komory v rámci měření dynamického odporu [16]

Výsledky těchto dvou fyzikálních veličin se musejí vždy porovnat s hodnotami, které jsou udávány výrobcem. Udávají velice přesnou představu o momentálním stavu kontaktů vypínače. V případě zjištění skutečnosti, že naměřené hodnoty odporů jsou výrazně nižší nebo už podlimitní hodnoty odporů od výrobce, musí se zvážit, co dále, zda se dá opravit kontakt nebo se musí vyměnit část vypínače. [17]

Jak již bylo zmíněno v předcházejících odstavcích, elektrické kontakty představují jedno z nejdůležitějších částí vypínače, jelikož určují spolehlivost a elektrickou životnost vypínače. Následující část kapitoly se zabývá problematikou elektrických kontaktů ve vypínači.

Zbytek této kapitoly se zabývá detailněji rozбором komor vypínačů, který je obohacen o fotky z praxe.

2.3 Rozbor komor vypínačů

Často se během provozu vypínačů zaznamená nějaká jeho závada, ať jde o závadu způsobenou od výrobce, stárnutím nebo běžným provozem vypínače. Nejčastější příčiny závad jsou závady na pohonech vypínače, únik plynu SF_6 , opotřebení kontaktů, závady na sekundárních obvodech atd. Tato práce se primárně zaměřuje na rozbor komor vypínačů, tudíž opotřebení kontaktů vypínače. [18]

V 80. a 90. letech minulého století byly pro měření přepětí ve stanicích velmi vysokého elektrického napětí české přenosové soustavy používány kapacitní děliče a první dostupné digitizery. Tento způsob měření měl řadu nevýhod. Jelikož se zařízení muselo chránit před vlhkostí, nebylo možné je používat v rámci venkovního měření za stálého provozu. To zapříčinilo velmi složitou organizaci s demontáží příslušných přístrojů v laboratoři, přepravou a montáží do konkrétní stanice, kde bylo potřeba vykonat měření. Pole před samotným měřením bylo nutné zajistit. Celé toto měření vyžadovalo několikadenní přípravu včetně nepředvídatelnosti počasí, které bylo jedním z rizikových faktorů uskutečnění celého měření. Jeden z nejmenších problémů samostatného měření bylo zajistit kompatibilitu, neboli vyloučit rušivé vlivy velmi vysokého vysokofrekvenčního elektromagnetického pole na sekundární obvody měření. Tento problém byl vyřešen pomocí dvojité stíněných kabelů a záznamové zařízení bylo umístěno v nástavbě vozu, který byl dokonale stíněn. [13]

Další pokrok v měření přepětí byl, když se začaly používat kapacitní senzory neboli kapacitní děliče s velmi malou kapacitou mezi fázovými vodiči, které byly umístěné pod fázovými vodiči, tudíž bez nutnosti časově náročné přípravy před samotným měřením jako u kapacitních děličů s tehdy prvními dostupnými digitizery. Ovšem tento způsob vyžadoval opět nějaké nevýhody, například vzájemný vliv fází při měření, protože čím menší byl poměr vzdálenosti senzorů k příslušné fázi a k sousedním fázím větší, tím byl menší vzájemný vliv. Pro odstranění tohoto rušení se pro přenos ze senzoru do měřícího vozu použily optické vlákna, kde se musel zpětně převést optosignál na elektrický, který byl na vstupu digitizéru. Tyto senzory byly ovšem veliké. [13]

Proto se vymyslel upgrade kapacitních senzorů, kdy se senzory zmenšily s pomocí využití operačních zesilovačů s velkou vstupní impedancí a dostatečnou rychlostí přeběhu. Tím pádem bylo možno přiblížit senzory více k fázovým vodičům a vzájemný vliv fází rapidně klesl. I přes veškerá opatření bylo zjištěno, že vysílače nejsou imunní v silném vysokofrekvenčním elektromagnetickém poli a vykazovaly poměrně vysoký šum. Nebylo často poznat, co je skutečně měřený přechodový děj na straně velmi vysokého napětí a co je odezva na rušivý vliv vysokofrekvenčního elektromagnetického pole na optovysílač. [13]

Bylo zjištěno, že při zvolení vyššího omezovače napětí energetické třídy 5 místo tehdejšího omezovače energetické třídy 4 je situace při měření mnohem lepší. Tehdy totiž nebyla možnost využití řízeného spínání. Kapacitní měření tudíž neovlivňuje proces spínání. [13]

Naštěstí dnes již máme k dispozici ty nejmodernější přístroje a softwary k měření přepětí a zjišťování a modelace průběhů přechodového děje. V české republice se v přenosové soustavě využívá model AROPO. Tento software je propojen s několika dalšími softwary používanými v české přenosové soustavě. Zaznamenávají se zde veškeré operace a průběhy všech přístrojů používaných na stanicích velmi vysokého elektrického napětí. Například počet operací vypnutí a zapnutí vypínačů, průrazů komor, znovuzápalů, úderů blesků na jednotlivých úsecích vedení, velikostí a průběhů jednotlivých fyzikálních veličin atd. Veškeré tyto údaje jsou dostupné zaměstnancům z úseků přípravy a provozu, kteří podle těchto údajů provádějí mimořádné kontroly, zjišťují podrobnosti při závadách a výpadech, a také projektantům, kterým tyto údaje pomáhají k vypočítání jednotlivých parametrů při projektování nových přístrojů. Jedním ze softwarů, který je součástí AROPA jsou také data ze zapisovačů poruch, ze kterých lze vyčíst předzápaly, znovuzápaly, opotřebení vypínače, průběhy přechodových jevů atd. [19]

2.3.1 Rozbor vypínače pomocí průběhů zapnutí a vypnutí

Jedním z několika ukazatelů stavu komor vypínače je také četnost jejich znovuzápalů. O degradované vypínací schopnosti komor vypínače svědčí například, je-li četnost znovuzápalů při neřízeném vypínání stále ve stejné fázi nebo výskyt vícenásobných znovuzápalů s podstatně velkým sdruženým napětím. [13]

Jak již bylo zmíněno, zapisovače poruch zaznamenávají veškeré průběhy fyzikálních veličin daného vypínače. Lze z nich vyčíst, zda během procesu vypínání došlo k znovuzápalu. Při vzniku znovuzápalu může vzniklé přepětí dosahovat hodnot až do řádu stovek kV. Nejpravděpodobněji vznikají znovuzápaly v případě obyčejného spínání bez využití sychroswitch. Ovšem není tomu pokaždé. Znovuzápal může vzniknout během provozu vypínače, a to i například až při několikatém procesu vypínání. Následující odstavce jsou věnovány rozboru spínání kompenzačních tlumivek a rozdílu jejich průběhu při vypnutém a zapnutém sychroswitch. [13]

V rámci porovnání průběhů vypnutí a zapnutí v této podkapitole jsou využita data ze zapisovačů poruch a spolupráce ve vysokonapěťové laboratoři EGÚ Běchovice, konkrétně se následující rozbor zabývá průběhy na kompenzační tlumivce pro 400 kV na TR Hradec u Kadaně.

Zapnutí

V přílohách A lze vidět průběh zapnutí s využitím sychroswitch. Je patrné, že všechny fáze spínají synchronizovaně v maximech napětí, aby se minimalizovaly zapínací proudy, přičemž z průběhu vyčíst minimální vzájemný vliv fází. [13]

V další příloze B je zobrazen průběh dalšího zapnutí s využitím sychroswitch. Lze vyčíst, že sychroswitch plní svoji úlohu, jelikož průběh je téměř stejný jako ten při předchozím zapnutí. [13]

Naopak v přílohách C i D je zobrazen průběh dalších zapnutí ovšem tentokrát bez využití sychroswitch. Při nevyužití sychroswitch se časový rozptyl pólů zúžil na 2 ms a časová poloha sinusovky není podobná u obou průběhů jako při průbězích se sychroswitch, jelikož se prostřídávají fáze. [13]

Vypnutí

V přílohách E a F lze vidět průběh vypnutí s využitím synchroswitch. Opět jako u průběhů zapnutí s využitím synchroswitch lze vidět, že průběhy jsou téměř identické, tzn. fáze se vypínají ve stejném pořadí, a hlavně je průběh vypnutí všech fází bez náznaků znovuzápalů. [13]

V přílohách G a H lze naopak vyčíst průběh vypnutí bez využití synchroswitch. Z grafů vyplývá, že vznikají znovuzápal a pořadí vypínání fází střídá náhodně, tudíž může dosahovat větších amplitud než při synchronizovaném vypínání. [13]

2.3.2 Rozbor komory vypínače podle výsledků diagnostiky vypínače

Podle řádu preventivní údržby společnosti ČEPS, a.s., v kterém jsou zahrnuty i doporučení od výrobce, má každý přístroj včetně vypínače popsané co kontrolovat, jak často a jakým způsobem. Tudíž zaměstnanci provozu a údržby nebo samotní zaměstnanci pověřeni výrobcem provádějí kontroly během roku.

U vypínače nás zajímá hned několik parametrů. Jednou z takových hodnot jsou časové charakteristiky, které ověřují soudobost fází a komor vypínače. Je potřeba vždy při diagnostice zkontrolovat, zda jsou hodnoty při vypnutí a zapnutí jednotlivých fází i komor v rámci doporučených hodnot od výrobce. Například kdyby fáze L_1 vypla za 10 ms a fáze L_2 za 15 ms, tak rozdíl mezi hodnotami fáze L_1 a L_2 je 5 ms. Ovšem v tabulce limitních hodnot od výrobce by bylo 3 ms. Vypínač by proto nevyhovoval doporučeným hodnotám od výrobce, tudíž se musí zajistit nějaké nápravné opatření, například rozebrat komoru vypínače a zjistit, kde nastala chyba. [17]

Další z mnoha ukazatelů stavu vypínače je statický a dynamický odpor, který již byl zmíněn v předchozích odstavcích. Dle doporučení ŘPÚ se dynamický odpor měří zhruba jednou za 8 až 10 let. V posledních letech se zjistilo, že během měření statického odporu při diagnostikách vypínačů v ČEPSU, mají vypínače konstruované pro terciéry a tlumivky zvýšení statický odpor, ale jsou stále provozuschopné. Proto se měří statický odpor častěji, než uvádí výrobce, a to konkrétně každé 3 roky. [17]

Vypínač se rozebírá vždy, když je nějaké podezření na špatnou funkčnost, například když při sepnutí se ozývají divné zvuky na vypínači, v případě zasažení bleskem, když při zapnutí vypínač vibruje nebo na základě výsledků diagnostiky i záznamů ze softwaru AROPO. Ve zbytku této kapitoly jsou ukázky vybraných fotografií z rozebírání vypínačů, kdy byly jednotlivé části rozebrány a odvezeny do vhodného prostředí a následně zdokumentovány za účasti zaměstnanců společnosti ČEPS, a.s., výrobců a zaměstnanců EGÚ Praha Engineering a.s. V popřípadě, že byly zjištěny nějaké závady, byly ještě provedeny diagnostické testy odbornými pracovníky a následovala případná výměna postižených částí vypínače či úplná výměna vypínače. Vždy je snaha o výměnu pouze některých částí vypínače oproti výměně celého vypínače, jelikož je to méně finančně a časově náročné.



Obr. 2.7 Pohled na komoru vypínače

Na obrázku (Obr. 2.7) lze vidět, že při rozebrání vypínače není komora vypínače čistá, ale zaprášená působením vlivů, například průrazů, vypínání zkratů, namáháním atd.

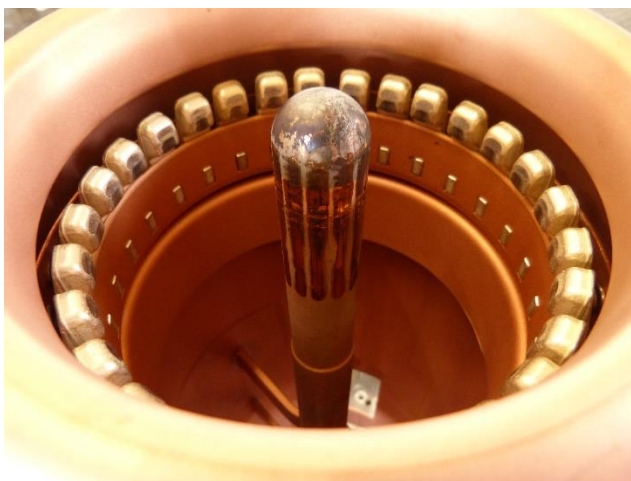


Obr. 2.8 Pohled na opalovací kontakty vypínače



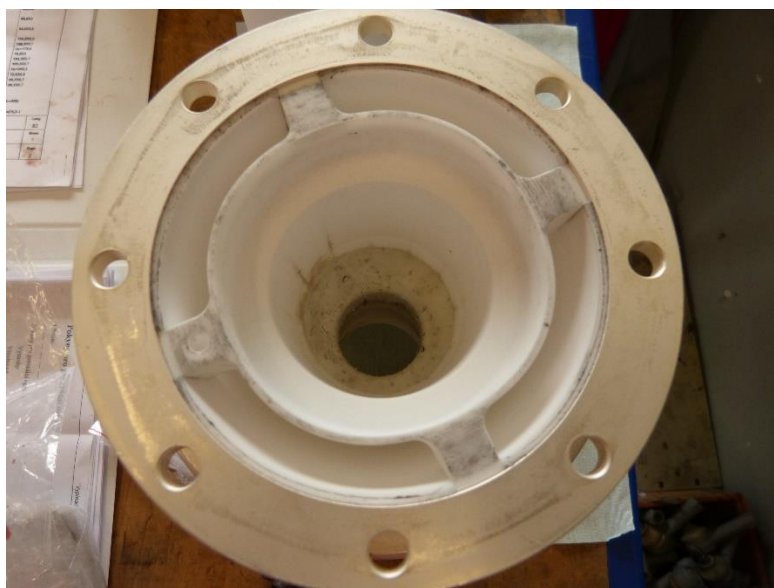
Obr. 2.9 Pohled na elektrické kontakty v komoře vypínače

Na obrázku (Obr. 2.8) lze vidět, že opalovací kontakty vypínače ve špatném stavu. Nejvíce špatný je první kontakt zleva, který má degradaci materiálu po celé ploše. Komora vypínače na obrázku (Obr. 2.9) má také známky degradace materiálů u elektrických kontaktů. Tato degradace materiálu je způsobena vypínáním větší zátěže, účinků elektrického oblouku nebo vypínání zkratů.



Obr. 2.10 Pohled na opalovací kontakt vypínače

Na obrázku (Obr. 2.10) je vidět opalovací kontakt vypínače, který je v mnohem lepším stavu oproti předchozí ukázce opalovacího kontaktu. Jsou zde vidět sice mírné náznaky degradace materiálu, ovšem v ne tak rozsáhlé formě a elektrické kontakty jsou oproti předchozímu opalovacímu kontaktu vypínače téměř nenarušeny.



Obr. 2.11 Pohled na teflonovou trysku vypínače



Obr. 2.12 Pohled na komoru vypínače

Na obrázku (Obr. 2.11) je teflonová tryska vypínače, která je ve velmi špatném stavu. Lze vidět, že uvnitř trysky je jednoznačná degradace materiálu. V tomto případě se ještě ke všemu jedná o rozstřílenou trysku, což způsobily zmiňované znovuzápaly a zhášení elektrického oblouku. Na obrázku (Obr. 2.12) je vidět, jak se při demontáži vypínače projevilo v komoře vypínače, že je tryska rozstřílená.



Obr. 2.13 Pohled na teflonovou trysku vypínače

Na obrázku (*Obr. 2.13*) je pro porovnání opět teflonová tryska, která je ve velmi dobrém stavu. Při rozebírání vypínače bylo v tomto případě na první pohled vidět, že nemá žádnou degradaci materiálu atd.

Následující kapitola se zabývá rozborem sychroswitch od firmy Siemens a ABB a jejich následným porovnáním a zhodnocením.

3 Analýza provozu nasazených synchronswitch

Tato kapitola se zabývá analýzou provozu nasazených synchronswitch v oblasti Západ ve společnosti ČEPS, a. s., a to konkrétně třemi typy synchronswitch. Prvním typem synchronswitch je PWC600 od společnosti ABB, který je na vypínači tlumivky pro 400 kV na stanici TR Přeštice. Druhým zmiňovaným typem je synchronswitch F236 od společnosti ABB, který je na vypínači tlumivky pro 400 kV na stanici TR Hradec u Kadaně. A poslední typ synchronswitch je PSD02(03) od firmy SIEMENS, který je umístěn na transformátorech PST v TR Hradec u Kadaně. Vzhledem k tomu, že synchronswitch F236 je již starší typ a tento rok ho čeká obnova za nový synchronswitch PWC600, není jeho detailnější popis součástí této kapitoly.

Důvody pro nasazení synchronswitch v české přenosové soustavě jsou plánovaná výstavba nových vedení, okolní vlivy z distribuční soustavy a zahraniční přenosové soustavy, zvýšená využívání kompenzačních prostředků pro dosažení požadované kvality elektrické energie a se předpokládá další vývoj české přenosové soustavy. Základní kritérium pro použití řízeného spínání je vypínač s oddělenými jednopólovými pohony, což znamená, že jednotlivé fáze jsou řízeny samostatně. Zařízení synchronswitch při řízeném spínání zajišťuje minimalizaci nebezpečných a škodlivých elektrických přechodných jevů při plánovaném spínání zátěží. Hlavním cílem při využití řízeného spínání jsou zlepšení kvality elektrické energie, díky snížení hodnot zapínacích proudů a omezení spínacích přepětí. A také prodloužení servisních intervalů vypínačů, snížení elektrického namáhání elektrického zařízení a snížení nákladů na údržbu a provoz vypínače. [20]

3.1 Synchronswitch Switchsync PWC600

Switchsync PWC600 (dále řečeno synchronswitch) je řídicí jednotka, která slouží k určení konkrétního bodu na sinusové vlně signálu. Tato vlna se používá pro snížení namáhání, kterému je vystaven vypínač, stejně jako spínaná zátěž, během operací, při kterých je prováděno připojení a odpojení zátěže ke zdroji napětí nebo od zdroje napětí. Synchronswitch sbírá informace o průběhu napětí a proudu z pole stanice, ve kterém se nachází vypínač a také z přípojnicového pole měření stanice. [3], [7]



Obr. 3.1 Pohled na Synchronswitch Switchsync PWC600

Samotný synchronswitch je umístěn na rozváděči v domku sekundární techniky daného pole. V tomto rozváděči je i přepínač provozu synchronswitch (Obr. 3.2), jelikož někdy je potřeba vypnout funkci řízeného spínání. Zapínací i vypínací povely, které nejsou časově kritické, jako například operace vypnutí a zapnutí během zkoušek diagnostiky a údržby vypínače, jsou vedeny právě přes toto zařízení. Samotné zařízení synchronswitch lze ovládat ze tří míst, a to přímo na rozváděči, na kterém je umístěn nebo na technickém dohledovém centru a také na počítačích pracovníků řídicího systému stanice. K jeho ovládání přes technické dohledové centrum a pomocí řídicího systému je nutné mít v daném počítači speciální software přímo od výrobce synchronswitch. Veškeré získané hodnoty a události jsou zaznamenány v provozním deníku synchronswitch. [3], [7]



Obr. 3.2 Přepínač provozu pro zařízení PWC600

Na základě informace o vypínacím proudu vypínače a zohlednění pomocných kontaktů vypínače, je synchronswitch schopný určit zbývající dobu životnosti včetně určení opotřebení kontaktů elektrické zhášecí komory vypínače. Jako každé IED musí být zařízení synchronswitch zabezpečeno před vystavením kybernetických útoků a dalších nežádoucích jevů. To lze docílit tím, že se zabrání obsluze IED z jiných fyzických rozhraní, které nejsou

specifikovány prodejcem nebo uživatelem. [7]

V kapitole č. 1.3. byly popsány typy zátěží, které lze pomocí řízeného spínání zapínat nebo vypínat. Pomocí konkrétně tohoto typu synchroswitch spínat kompenzační kondenzátorové baterie, výkonové transformátory, kompenzační tlumivky, nezátížená přenosová vedení a výkonové kabely. [3], [7]



Obr. 3.3 Aplikační oblasti [20]

3.1.1 Funkční bloky

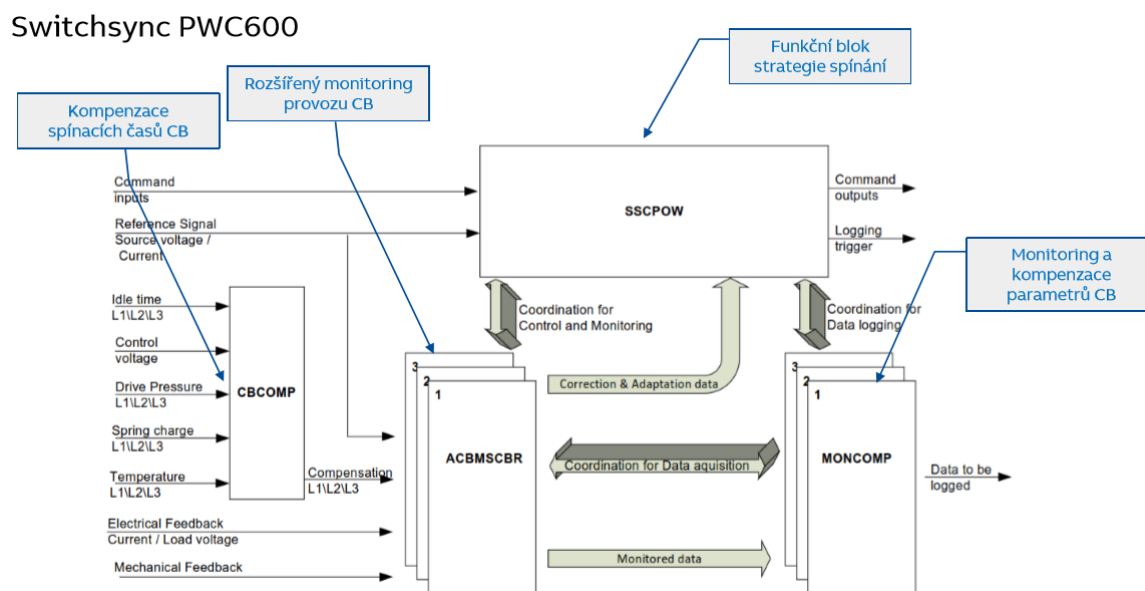
Zařízení synchroswitch se skládá ze čtyř funkčních bloků, a to SSCPOW (ústřední algoritmus řídicí strategie spínání), MONCOMP (monitoring a kompenzace provozních parametrů vypínač), CBCOMP (kompenzace spínacích dob vypínače) ACBMSCBR (rozšířený monitoring provozu vypínače). [7], [20]

Blok monitoringu a kompenzace provozních parametrů vypínače má tři různé funkce. První z nich je zajištění celkové kompenzace provozních a řídicích parametrů, například znovuzápaly, předzápaly atd. Také předpovídá provozní časy vypínače a odchylky od prvních deseti spínacích hodnot. [7], [20]

Kompenzace spínacích dob vypínače zajišťuje kombinovanou kompenzaci připočtením dostupných individuálních kompenzačních hodnot pro každý pól vypínače. Tyto hodnoty jsou následně použity pro optimalizaci predikce provozních časů vypínače pro stanovení přesného okamžiku sepnutí. Mechanické zapínací a vypínací časy mohou být ovlivněny vnějšími faktory, jako jsou ovládací napětí, teplota, energie a doba nečinnosti vypínače. [7], [20]

Rozšířený monitoring provozu vypínače měří a monitoruje elektrické a mechanické charakteristiky vypínače během vypínací a zapínací operace. Naměřené hodnoty ukládá do záznamu a pomáhá bloku SSCPOW v určení přesné hodnoty cílového fázového úhlu pro spínací operaci. Také vyhodnocuje aktuální systémové frekvence a napětí, statického rozptylu pro minimalizaci spínacích přepětí vlivem kolísání elektrických a mechanických parametrů vypínače. [7], [20]

Ústřední blok řídicí strategie spínání má za úkol zajišťovat odpovídající spínací strategie a zpracovávat napětí nebo proudy včetně určení sekvence průchodu nulou. [7], [20]



Obr. 3.4 Funkční bloky zařízení PWC600 [20]

3.1.2 Spínací operace

Během aktivace a příjmu spínacího povelu jsou pomocí IED vypočteny optimální fázové úhly sepnutí s ohledem na signály referenčního napětí nebo proudu, kterou jsou následně zpracovány, a na základě informace o typu spínané zátěže, jejím zapojením, konfiguračním řešením a informace o typu spínací operace, zatímco jsou v úvahu vztahy změny a kolísání provozních časů i změny externích parametrů. [3], [7]

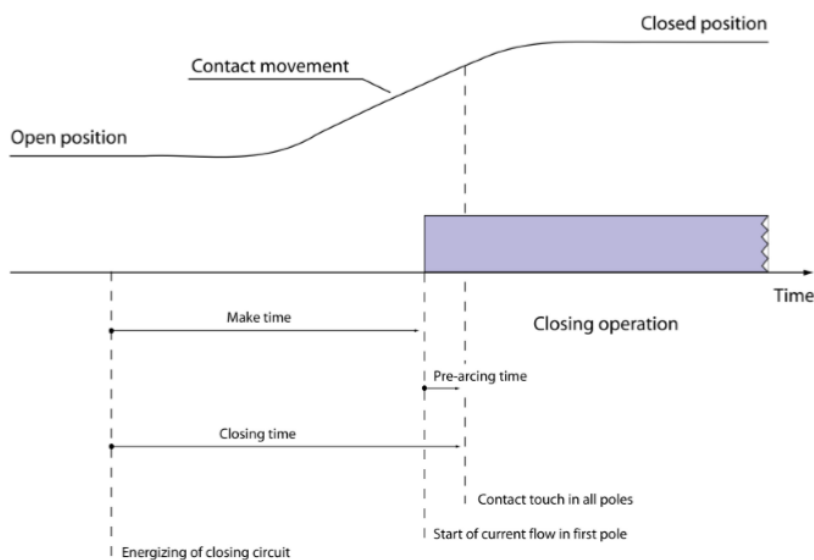
Veškeré spínací operace jsou definovány s ohledem na referenční signály. Jedná-li se o referenční signál při připojení ke zdroji napětí, používá se primární napětí, tudíž měřené napětí může být jak jednofázové, tak třífázové, tudíž lze měřit fázové nebo sdružené napětí. V případě, že se hovoří o odpojení zdroje napětí, může být použito napětí primárního zdroje napětí nebo proudu zátěže. Použije-li se druhá možnost tedy pomocí proudu zátěže, je nutné, aby proudové měření bylo bráno ze všech tří fází. Tyto referenční signály mohou být zajištěny pomocí přístrojových transformátorů proudu nebo napětí. Při nastavení je důležité brát v potaz i systém sledu fází, jestli se jedná o zpětný ($L_1 - L_3 - L_2$) nebo sousledný ($L_1 - L_2 - L_3$). [3], [7]

Podle zvoleného referenčního signálu jsou jednotlivé spínací operace zadávány jako fázové úhly plánovaného okamžiku nárůstu proudu nebo přerušování proudu, kdy je u každé fáze operace sepnutí definována v relativním vztahu k momentu kladného průchodu referenčního signálu nulovou hodnotou. [3], [7]

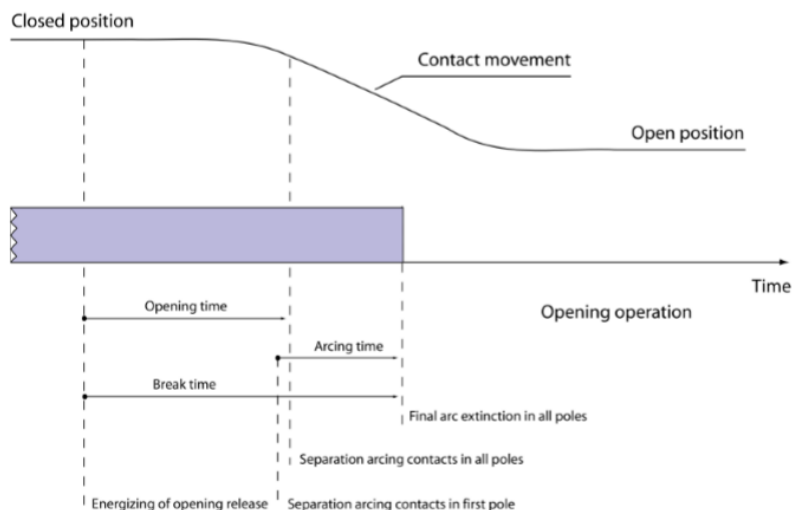
Předstihová fáze neboli fáze pólu vypínače, u které má proběhnout operace spínání jako první jsou k dispozici dvě různé varianty. První variantou je varianta, u níž je náhodně zvolená předstihová fáze, tudíž by měla statisticky rovnoměrně rozdělovat elektrické namáhání na všechny tři póly vypínače. Při zvolení druhé varianty je pevně zvolená fáze L_1 a ta se proto bude spínat vždy jako první. Pro ostatní dvě fáze je průchod referenčního signálu nulovou hodnotou zvolen jako průchod nulovou hodnotou, který bude následovat po průchodu nulovou hodnotou u předstihové fáze. Vzhledem k tomu, že se předpokládají u fázových úhlů operace pouze kladné hodnoty, není možné, aby v okamžiku spínání těchto dvou fází mohlo dojít dříve než v předstihové fázi. [3], [7]

Během odpojení zátěže od zdroje napětí je vypínač řízen synchronswtich, a to takovým způsobem, aby k oddělení jeho hlavních kontaktů došlo určitou dobu před okamžikem přerušení proudu. Právě časový rozdíl mezi okamžiky operace, kdy dojde k oddělení kontaktů a k přerušení proudu, se nazývá doba hoření oblouku, která je u převážné většiny definována oknem minimální a maximální doby hoření oblouku. [3], [7]

Optimální spínací operace, které jsou u převážné většiny běžných spínacích aplikací předdefinovány v softwaru vybavení IED, vykazují dobré výsledky. Uživatel tedy musí pouze konkretizovat, o jaký typ zátěže se jedná a její elektrické zapojení, popřípadě další parametry. Součástí zařízení synchronswitch je nástroj switchsync setting tool, který zajišťuje snadný přístup ke všem důležitým parametrům. Obsahuje také knihovnu některých modelů vypínačů firmy ABB, ve které jsou navrženy parametry k daným typům vypínače. V případě, že v knihovně není konkrétní typ vypínače, který uživatel používá, není problém definovat nový typ vypínače upravením dat z knihovny nebo rovnou vytvořit nový model. Další z funkcí zařízení synchronswitch je také možnost získat specifické parametry jednotlivých pólů vypínače před samotným tzv. ostrým sepnutím pomocí funkce CB timing test mode, kdy jsou k vyhrazeným vstupům připojeny hlavní kontakty vypínače a provedené zkušební spínání je kontrolováno a následně vyhodnoceno pomocí IED. Tyto zjištěné parametry jsou následně využity v rámci nastavení pro normální operace vypínače. [3], [7]



Obr. 3.5 Proces zapnutí [20]



Obr. 3.6 Proces vypnutí [20]

3.1.3 Optimalizace přesnosti

Aby bylo řízené spínání úspěšné, je nutná znalost klíčových parametrů vypínače, kterou jsou obvykle definovány pro operaci zapnutí a vypnutí samostatně. Tyto parametry definují povolené odchylky od standartních hodnot, mechanické chování vypínače při jmenovitých provozních podmínkách, dielektrické vlastnosti vypínače a dopady externích vlivů na vypínač. [3], [7]

Změny určitých parametrů jako například čas, teplota a doba nečinnosti vypínače od poslední operace mohou spolu společně měnit s provozními časy vypínače. Aby bylo možné provedení řízeného spínání při těchto změnách zdokonalit, je synchroswitch vybaven dvěma funkcemi, a to kompenzace parametrů a adaptivní korekce. [3], [7]

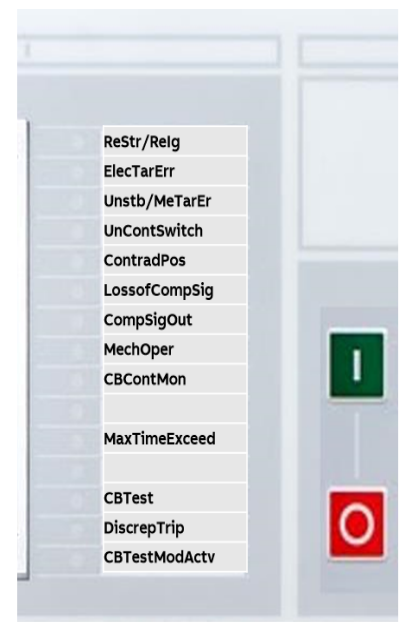
Kompenzace parametrů

Synchroswitch je umožněno kompenzovat vliv interních i externích parametrů, které jsou potřebné k spínání. Proto může jmenovitě ovlivnit činnosti změnou hodnoty stejnosměrného ovládacího napětí nebo tlakem v pohonu atd. Tato kompenzační funkce využívá individuální kompenzační křivky parametrů, zahrnující parametrické změny oproti

požadovaným korekcím provozních časů vypínače, kdy právě pro operace vypnutí i zapnutí jsou k dispozici samostatné kompenzační křivky, přičemž individuální kompenzační hodnoty jsou dodány k celkové kompenzační hodnotě každého pólu vypínače. Každá knihovna pro zařízení synchroswitch obsahuje opět pro každý typ modelu vypínače právě kompenzační křivky. Stačí pouze, aby uživatel v nástroji switchsync setting tool definoval, které čidla jsou připojena k IED. Signály čidel jsou připojeny přímo k IED nebo mohou být data získávána ze vzdálených zdrojů pomocí analogových GOOSE zpráv. Je ovšem možné jednotlivé kompenzační křivky ručně uvolnit, modifikovat či odblokovat. V případě potřeby operací se speciálními požadavky, je možné použít uživatelem definovanou strategii řízeného spínání, kterou lze vytvořit opět v nástroji switchsync setting tool, kdy musí uživatel definovat, zda bude předstihová fáze náhodná nebo pevně definována a také parametry sepnutí nebo rozepnutí mechanických kontaktů. Kompenzační hodnoty jsou průběžně aktualizovány, tudíž v okamžiku, kdy je provedena spínací operace, je k dispozici aktuální kompenzační hodnota. Z hlediska prahových úrovní, jsou dané signály čidel kontrolovány, tudíž při překročení limitů je možné aktivovat alarm. [3], [7]

Přiřazení signálů k LED

- **ReStr/Relg** - detekováno opětovné zapálení oblouku / přeskok
- **ElecTarErr** - elektrická chyba při zapnutí / vypnutí
- **Unstb/MeTarEr** - mechanická chyba při zapnutí / vypnutí
- **UnContSwitch** - neřízená operace spínání
- **ContradPos** - rozporné indikace mechanické a elektrické polohy
- **LossofCompSig** - teplota okolí je mimo limit výstrahy
- **MechOper** - mechanický čas zapnutí / vypnutí
- **CBContMon** - kontakt vypínače (opotřebení) / počet operací
- **Nevyužito**
- **MaxTimeExceed** - maximální povolená doba překročení času operace
- **Nevyužito**
- **CBTest** - režim testu vypínače (měření časů kontaktů - alarm)
- **DiscrepTrip** - vypnutí nesouhlasem pólů vypínače
- **CBTestModActiv** - režim testu časů vypínače je aktivní



Obr. 3.6 Seznam možných hlášek pro zařízení PWC600 [21]

Adaptivní korekce

Jakmile se provede řízené spínání je v synchroswitch získána informace o okamžiku, kdy se spínání opravdu uskutečnilo. Jedná se o výsledek analýzy primárních analogových signálů (proud zátěže, napětí zátěže) a v případě, že jsou dostupné tak také z časování

binárních signálů přivedeny z pomocných kontaktů v pohonu vypínače. Porovnávají se skutečné okamžiky provedeního spínání s předpokládanými údaji o okamžicích operace. Z rozdílu těchto údajů je použita část jako korekční hodnota tzv. Beta faktor, který bude následně použit u další operace spínání. Celý tento proces se nazývá adaptivní korekce hodnot a jeho úkolem je kompenzovat systematické změny provozních charakteristik vypínače v čase. V rámci řízených zapnutí kapacitních nebo induktivních zátěží je doporučováno pro zpětnovazební signál adaptivní korekce okamžiku zapnutí použít proud zátěže. Oproti tomu pro řízené připojení ke zdroji napětí u transformátorů, přenosových vedeních či výkonových kabelů je doporučeno používat napětí zátěže, pokud je právě tato veličina k dispozici. [3], [7]

Při odpojení zátěže od zdroje napětí se ve většině případů okamžik přerušení proudu objeví v okamžiku přirozeného průchodu proudu nulovou hodnotou, tudíž skutečný okamžik oddělení kontaktů není možné odvodit z primárních napěťových a proudových signálů. Synchronswitch však tyto signály kontroluje z hlediska známek procesu zhášení oblouku, například opětovná zapálení oblouku. Objeví-li se tento nežádoucí jev, zaktivuje se alarm a plánovaná doba hoření oblouku se automaticky zvýší o 1 ms. Tato doba může být zvyšována až na standartní limit 3 ms. Tento proces se nazývá adaptivní korekce řízené operace vypnutí. [3], [7]

Celková optimalizace

Pro operace zapnutí je okamžik doteku mechanického kontaktu T_{tc} vyjádřen v každé fázi podle následujícího vztahu [3], [7]:

$$T_{tc} = T_0 + T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \quad (3.1)$$

kde T_0 je ideální okamžiku sepnutí [s], T_1 značí odchylku od ideálního okamžiku (zohledňuje dielektrický a mechanický rozptyl) [s], T_2 je celková kombinovaná korekční hodnota odvozená z kompenzačních parametrů [s], T_3 značí celkovou kombinovanou korekční hodnotu elektrického nebo mechanického přizpůsobení [s] a T_4 je očekávaná doba před zapálením oblouku [s].

Pro operace vypnutí je okamžik oddělení mechanického kontaktu T_{to} vyjádřen podle následujícího vztahu [3], [7]:

$$T_{tO} = T_0 - T_3 - T_4 \quad (3.2)$$

kde T_0 je ideální okamžiku rozeprnutí [s], T_3 označuje adaptivní korekce pro dobu hoření oblouku s ohledem a detekci přeskoků nebo opětovného zapálení oblouku[s], T_4 je čas hoření oblouku (doba mezi oddělením mechanického kontaktu a okamžikem přerušení proudu) [s].

3.1.4 Aplikace spínání zátěže

Pro každý typ zátěže, který lze pomocí toho zařízení spínat jsou v sychroswitch již předdefinované strategie spínání. Tato diplomová práce se zabývá jedním konkrétním, a to kompenzační tlumivkou, proto je tento proces jako jediný popsán v následujících odstavcích této podkapitoly.

Připojení kompenzační tlumivky ke zdroji napětí může vést k plné nesymetrii fázových proudů, přičemž může způsobit nadměrné elektromagnetické namáhání vinutí tlumivky a vyvolat chybnou činnost ochranných relé. Proto, aby se zamezilo těmto nežádoucím jevům, je připojení každé fáze tlumivky ke zdroji napětí provedeno na vrcholu fázového napětí, jelikož je tímto zajištěn symetrický proud tlumivky v každé fázi. [3], [7]

V tabulce (*Tab. 3.1*) je uveden seznam předdefinovaných strategií řízeného spínání při připojení třífázové kompenzační tlumivky ke zdroji napětí pomocí jednopólově ovládaného vypínače. Jako předstihová fáze byla vždy zvolena fáze L_1 . Hodnota ΦC je vypočtena z faktoru K , který je formulován jako poměr nulové reaktance a fázové reaktance. V případě, že nastane situace, kdy je faktor $K \geq 2$, tlumivka se považuje za neuzemněnou a je aplikována příslušná strategie řízeného připojení tlumivky ke zdroji napětí. Hodnotu ΦC a zvolenou strategii lze opět vyčíst v nástroji Switchync Setting Tool, poté, co jsou zadána všechna příslušná data. [3], [7]

Tab. 3.1 Strategie řízeného připojení kompenzačních tlumivek ke zdroji napětí [3], [7]

| Zapojení vinutí | Návrh jádra | Volba předstihové fáze | L1 (předst. fáze) - operace zapnutí | L2 - operace zapnutí | L3 - operace zapnutí |
|--|------------------------------|------------------------|--|------------------------------|--------------------------|
| Yn (hvězda / uzemněný uzel) | Skupina 4/5 sloupce jádra | Náhodná volba | Kladný vrchol fázového napětí předstihové fáze | 120° po předstihové fázi | 240° po předstihové fázi |
| | 3 sloupce jádra | Pevná volba (L1) | Kladný vrchol fázového napětí fáze L1 | 112° po fázi L1 | 85° po fázi L1 |
| Y (hvězda / neuzemněný uzel) nebo Δ (trojúhelník) | Skupina 4/5 sloupce jádra | Náhodná volba | Kladný vrchol sdruženého napětí L1-L2 | | 90° po předstihové fázi |
| | 3 sloupce jádra | Pevná volba (L1) | Kladný vrchol sdruženého napětí L1-L2 | | 90° po předstihové fázi |
| Y (hvězda / uzel) se zemním reaktorem | Skupina 4/5 sloupce jádra | Náhodná volba | Kladný vrchol fázového napětí předstihové fáze | Φ_C po předstihové fázi | 240° po předstihové fázi |
| | 3 sloupce jádra | Pevná volba (L1) | Kladný vrchol fázového napětí fáze L1 | Φ_C po fázi L1 | 240° po předstihové fázi |

Při odpojení tlumivky od zdroje napětí vzroste velmi rychle hodnota TRV neboli přechodného zotaveného napětí, které má za následek vysokou pravděpodobnost opětovného zapálení oblouku. Tento jev je možné minimalizovat tím, že se vytvoří mezi kontakty vypínače dostatečná dielektrická pevnost v okamžiku přerušování obvodu. Což je splněno řízeným okamžikem mechanického oddělení kontaktů, které zajišťuje nastavení časů hoření oblouků do „okna“ bez rizika opětovného zapálení oblouku ve vypínači. Pokud však není tato možnost k dispozici, je nutné toho docílit pomocí nastavení na bod, kde je minimalizován vliv opětovných zápalů oblouků. Při volbě okamžiku operace v každé fázi je třeba vzít v potaz o jakou konstrukci jádra tlumivky a konfiguraci zapojení vinutí se jedná. V tabulce (Tab. 3.2) je uveden seznam předdefinovaných strategií řízeného spínání při odpojení třífázové kompenzační tlumivky od zdroje napětí pomocí jednopólově ovládaného vypínače. Jako předstihová fáze byla opět vždy zvolena fáze L_1 . [3], [7]

Tab. 3.2 Strategie řízeného odpojení kompenzačních tlumivek od zdroje napětí [3], [7]

| Zapojení vinutí | Návrh jádra | Volba předstíhové fáze | L1 (předst. fáze) - operace zapnutí | L2 - operace zapnutí | L3 - operace zapnutí |
|---|------------------------------|------------------------|---|--------------------------|-------------------------|
| Yn (hvězda / uzemněný uzel) | Skupina 4/5 sloupce jádra | Náhodná volba | Kladný průchod proudu předstíhové fáze nulovou hodnotou | 120° po předstíhové fázi | 60° po předstíhové fázi |
| | 3 sloupce jádra | Pevná volba (L1) | Kladný průchod proudu fáze L1 nulovou hodnotou | 120° po fázi L1 | 60° po fázi L1 |
| Y (hvězda / neuzemněný uzel) nebo Δ (trojúhelník) | Skupina 4/5 sloupce jádra | Pevná volba (L1) | Kladný průchod proudu fáze L1 nulovou hodnotou | 90° po fázi L1 | 90° po fázi L1 |
| | 3 sloupce jádra | | | | |
| Y (hvězda / uzel) se zemním reaktorem | Skupina 4/5 sloupce jádra | Pevná volba (L1) | Kladný průchod proudu fáze L1 nulovou hodnotou | 120° po fázi L1 | Φ0 po fázi L1 |
| | 3 sloupce jádra | | | | |

Časy hoření oblouku jsou zobrazeny v tabulce (Tab. 3.3), které vycházejí z minimálního a maximálního času hoření oblouku.

Tab. 3.3 Časy hoření oblouku [3], [7]

| Zapojení vinutí | L1 (předstíhová fáze) | L2 | L3 |
|---|--|---|--|
| Yn (hvězda / uzemněný uzel) | $(T_{amin} + T_{amax}) / 2$ | $(T_{amin} + T_{amax}) / 2$ | $(T_{amin} + T_{amax}) / 2$ |
| Y (hvězda / neuzemněný uzel) nebo Δ (trojúhelník) | $(1,5 \times T_{amin} + T_{amax}) / 2$ | $(0,87 \times T_{amin} + T_{amax}) / 2$ | $(0,87 \times T_{amin} + T_{amax}) / 2$ |
| Y (hvězda / uzel) se zemním reaktorem | $((1 + K/4) \times T_{amin} + T_{amax}) / 2$ | $(T_{amin} + T_{amax}) / 2$ | $((1 + K/4) \times T_{amin} + T_{amax}) / 2$ |

3.1.5 Monitorování vypínače

Všechny signály pro synchroswitch jsou primárně určeny pro provoz a optimalizaci řízeného spínání. Tyto signály lze také použít pro monitorování a kontrolu průběhu spínacích vlastností vypínače a jeho stárnutí. Kompenzační signály jsou při příjmu spínacího povelu vyhodnoceny z hlediska kompenzačních hodnot, protože po vyslání spínacího povelu synchroswitch zaznamenává vstupní signály z hlediska stavových změn. Veškeré tyto hodnoty jsou zaznamenány do provozního deníku. V tabulce (Tab. 3.4) jsou vypsány

jednotlivé signály. [3], [7]

Tab. 3.4 Monitorování vypínače (signály) [3], [7]

| Signály | Optimalizace řízeného spínání | monitorování a kontrola |
|----------------------------|---|---|
| Proud tekoucí přes vypínač | Adaptivní korekce časů elektrických spínání Kompenzace časů mechanického spínání dobou nečinností vypínače | Elektrické chyby spínací operace Elektrický čas zapnutí (vypnutí) Opětovné zapálení oblouku Opotřebením žhášecí komory Stav vypínače Doba nečinnosti vypínače Externě iniciovaná spínací operace Počítání operací Počítání úspěšně řízených operací |
| Napětí zátěže | Adaptivní korekce časů elektrických spínání Kompenzace časů mechanického spínání dobou nečinností vypínače | Elektrické chyby spínací operace Elektrický čas zapnutí (vypnutí) Opětovné zapálení oblouku Stav vypínače Doba nečinnosti vypínače Externě iniciovaná spínací operace Počítání operací Počítání úspěšně řízených operací |
| Stavy pomocných kontaktů | Adaptivní korekce časů elektrických spínání Kompenzace časů mechanického spínání dobou nečinností vypínače | Mechanické chyby spínací operace Mechanický čas zapnutí (vypnutí) Počáteční časové zpoždění Rychlost kontaktů Doba nečinnosti Externě iniciované spínací operace Počítání operací |

| Signály | Optimalizace řízeného spínání | monitorování a kontrola |
|-------------------------------|--|-------------------------|
| Stejnoseměrné ovládací napětí | Kompenzace časů mechanického spínání změnou napětí | Kontrola limitů |
| Teplota | Teplotní kompenzace časů mechanického spínání | Kontrola limitů |
| Tlak v pohonu | Kompenzace časů mechanického spínání tlakem | Kontrola limitů |
| Nastřádání energie pružiny | Kompenzace časů mechanického spínání nastřádáním energie pružiny | Kontrola limitů |
| Doplňkové veličiny | Kompenzace časů mechanického spínání doplňkovou veličinou | Kontrola limitů |

3.1.6 Požadavky na externí zařízení

Pro každé externí zařízení platí určité nároky od výrobce, které musejí splňovat, aby bylo řízené spínání účinné a spolehlivé.

Například co se týče vypínače, je nutné, aby vykazoval stabilní a předvídatelné vlastnosti, chování a reakce. Pokud jsou v IED pro adaptivní korekci nebo pro funkci provozního monitorování použity pomocné kontakty, musí být jejich přesnost z hlediska časování hlavních kontaktů vypínače v rozsahu $\pm 0,3$ ms. Časový rozdíl mezi spínáním hlavních a pomocných kontaktů vypínače, musí být nastaven tak, aby ke změně stavu pomocných kontaktů došlo v lineární části křivky přestavné dráhy hlavních kontaktů. [3], [7]

U transformátorů proudu je kladen důraz na třídu přesnosti podle typu zátěže. Pro kondenzátorové baterie a kompenzační tlumivky musí být použit transformátor proudu s přesností 5P. Naopak pro transformátory, přenosová vedení nebo kabely musí být použit transformátor s přesností 3P, aby se vyloučilo přesycení těchto transformátorů. Další podmínkou je, aby fázový posuv transformátoru při jmenovitém proudu nepřekročil hodnotu ± 1 elektrický stupeň. [3], [7]

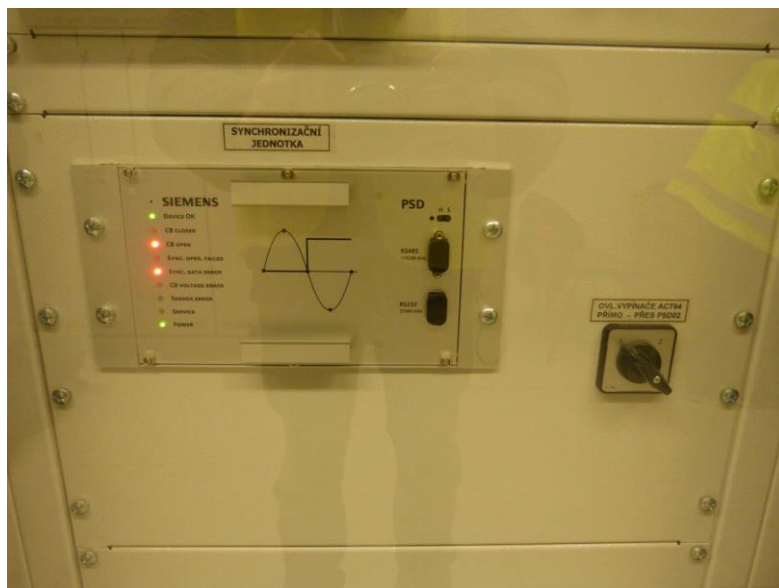
Co se týče transformátorů napětí, je nutné opět dodržet podmínku, aby fázový posuv transformátoru při jmenovitém napětí nepřekročil hodnotu ± 1 elektrický stupeň. Doporučuje se používat transformátory s třídou přesnosti 1. [3], [7]

Následující podkapitola popisuje zařízení Synchronswitch PSD02 (PSD03) od výrobce SIEMENS.

3.2 Synchronswitch PSD02 (PSD03)

Zařízení synchronswitch PSD02 (PSD03) slouží ke snížení elektrodynamických a dielektrických zátěží v síti, které mohou nastat díky provoznímu spínání vysokonapěťových vypínačů. Tyto nežádoucí jevy mohou způsobit snížení spolehlivosti a provozuschopnosti vypínače. Díky řízení okamžiku zapnutí a vypnutí vypínačů pomocí synchronswitch lze tato zatížení účinně redukovat. Opět jako u předchozího druhu synchronswitch jsou vždy vypínací povely, které jsou vyvolané ochranou sítě prováděny automaticky bez nutnosti využít zařízení synchronswitch. Co se týče vzhledu a designu, tak tento synchronswitch nemá žádný displej, pouze se na přední straně přístroje nacházejí kontrolky jednotlivých alarmů. Tudiž veškeré průběhy a hodnoty veličin se musejí stáhnout pomocí speciálního softwaru. Synchronswitch má opět přepínač stavu, který je umístěn v rozváděči jako předchozí synchronswitch. [22]

Při procesu spínání jsou snímány průběhy proudu a napětí včetně dalších parametrů, které jsou následně ukládány společně s vypočtenými hodnotami. Tyto průběhy se zaznamenají do softwaru a lze je stáhnout do počítače. Aby bylo řízené spínání úspěšné je potřeba znát vždy dvě charakteristiky, a to vlastní dobu spínání a předobloukovou. [22]



Obr. 3.7 Pohled na zařízení PSD02(03)

3.2.1 Provozní režimy

Zařízení synchroswitch má na výběr několik typů provozních režimů viz následující odstavce.

Dvourežimový provoz je použit v případě, kdy je zapotřebí jednoho nebo dvou případů spínání, které je možno separátně konfigurovat. Výběr správného případu spínání je řízen prostřednictvím vstupu režimu, kdy pro režimy lze volit požadavky jako například nastavení alarmů, fázová poloha atd. [22]

Režim Spínání v každém případě lze použít pouze po konzultaci s výrobcem. Princip toho režimu spočívá v tom, že v případě, kdy není možné řízené spínání (např. není rozpoznán průchod nulou) lze přednastavit na zařízení synchroswitch, zda má být i přesto předán povel k vypínači. [22]

Řídící jednotka umožňuje zohlednit změny v okamžiku sepnutí, které mohou být vyvolány tendenčními změnami vlastností vypínače v průběhu provozní doby. Tento princip se nazývá Adaptivní režim. Vypínače vyrobené firmou SIEMENS mají zabudovaný speciální kabel, který je propojen se zařízením synchroswitch, jehož funkcí je zjišťovat informaci o stavu vypínače. Tento kabel se nazývá referenční kontakt a nachází se

v pohonové skříni vypínače (Obr. 3.8). Režim Adaptivního řízení není nutný pro vypínače vyrobené firmou SIEMENS, tudíž není nutno tento režim více rozepisovat. [22]



Obr. 3.8 Referenční kontakt vypínače

Režim Prony umožňuje řízení automatického opětovného zapnutí pro kompenzovaná nadzemní vedení, kdy po rozeznání vypnutí je snímáno napětí přes vypínač a předběžně vypočítáno pro určité období. Pomocí toho výpočtu jsou pro každou fázi vypočítávány možné okamžiky sepnutí. Důležité je v případě tohoto režimu, aby byly zapojeny před a za vypínačem přístrojové transformátory napětí, které zpracovávají informace z vypínače a kontrolují stavy veličin. [22]

V případě že je zapotřebí spínat vypínač i tehdy, když není synchroswitch v provozu, například při údržbářských pracích, je možno po dohodě s výrobcem použít tzv. bypass. Přes bypass jsou předávány spínací povely přímo vypínači, ale toto zapínání probíhá bez využití řízení okamžiku zapnutí. Je nutné opět možnost použití bypassu konzultovat přímo s výrobcem. [22]

3.2.2 Proces zapnutí a vypnutí

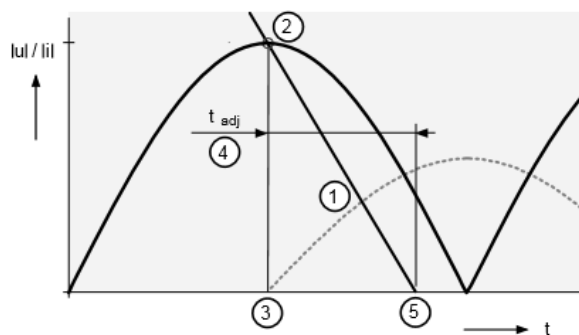
Před samotným popisem operací spínání a vypínání je důležité umět rozlišit určité pojmy, které synchroswitch využívá pro jeho správnou funkci a výpočty.

Vlastní doba zapnutí je doba mezi elektrickým povelům sledovaného pólu vypínače a galvanickým dotykem kontaktů na tomto pólu vypínače. Oproti tomu doba zapnutí je doba mezi elektrickým povelům sledovaného pólu vypínače a vznikem elektrického oblouku na tomto pólu vypínače. Další z pojmů je doba tvorby oblouku, což znamená doba, během které při zapnutí hoří elektrický oblouk na sledovaném pólu vypínače. Vlastní doba vypnutí je doba mezi elektrickým povelům sledovaného pólu vypínače a galvanickým rozpojením kontaktů na tomto pólu vypínače. Dobou vypnutí se myslí doba mezi elektrickým povelům sledovaného pólu vypínače a zhasnutím elektrického oblouku na tomto pólu vypínače. Doba trvání oblouku je doba, během které při vypnutí hoří elektrický oblouk na sledovaném pólu vypínače. [22]

V praxi se využívá obecný pojem vlastní doba, který zahrnuje vlastní dobu vypnutí a vlastní dobu zapnutí. Tyto vlastní doby se stanovují ve výrobním závodě nebo na místě pomocí vhodného měřicího přístroje pro měření doby sepnutí. Během provozu se tyto vlastní doby mění v závislosti na následujících parametrech, a to na napětí spouštěče a okolní teplotě. Veškeré pojmy v předchozím odstavci se průběžně snímají pomocí zařízení synchroswitch a používají pro výpočet aktuální kompenzované vlastní doby. Synchroswitch vypočítává kompenzovanou vlastní dobu průběžně. [22]

Předoblouková charakteristika

Další z důležitých pojmů v rámci operací spínání a zapínání je předoblouková charakteristika, protože při zapnutí má tato charakteristika velký vliv na okamžik zahájení průtoku proudu. Kdy pro každý typ vypínače je charakteristická určitá křivka předobloukové charakteristiky. [22]

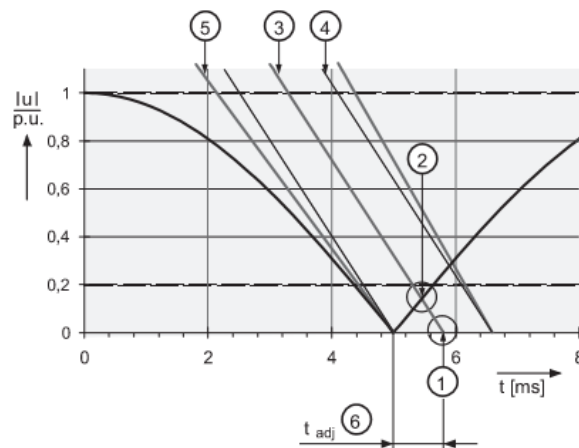


| | | | |
|---|---|---|--|
| 1 | Křivka předobloukové charakteristiky | 1 | Vorüberschlagskennlinie |
| 2 | Průsečík: Křivka předobloukové charakteristiky - napětí | 2 | Schnittpunkt: Vorüberschlagskennlinie-Spannung |
| 3 | Zahájení průtoku proudu | 3 | Stromflussbeginn |
| 4 | Čas nastavení | 4 | Einstellzeit |
| 5 | Dotyk kontaktů | 5 | Kontaktberührung |

Obr. 3.9 Předoblouková charakteristika [22]

Zahájení průtoku proudu proběhne dříve než galvanický dotyk kontaktů, kdy pomocí času nastavení t_{adj} je možno posunout okamžik galvanického dotyku kontaktu vůči průchodu nulovým bodem napětí pro dosažení optimálního zapnutí. Mechanický rozptyl vypínače posouvá křivku předobloukové charakteristiky, tudíž se průběh předobloukové charakteristiky mění. Kdy se oba efekty pohybují v určených mezích, proto okamžik vzniku oblouku leží v omezené oblasti rozptylu, kdy právě tato oblast rozptylu je zohledněna pro zajištění optimálního zapínání. [22]

Na obrázku (Obr. 3.10) lze vidět rozsah zapnutí pro kapacitní zátěž. Z obrázku vyplývá, že oblast rozptylu vzniku oblouku musí být umístěna v oblasti rostoucího napětí po průchodu nulou, aby k zapnutí došlo při co nejnižším napětí. Díky tomu se musí cílový okamžik galvanického dotyku kontaktu pomocí času nastavení t_{adj} posunout za průchod nulovým bodem napětí. [22]



101

| | | | |
|---|---|---|--|
| 1 | Cílový okamžik pro galvanický dotyk kontaktu | 1 | Zielzeitpunkt für galvanische Kontaktberührung |
| 2 | Okamžik sepnutí | 2 | Einschaltzeitpunkt |
| 3 | Křivka předobloukové charakteristiky | 3 | Vorüberschlagskennlinie |
| 4 | Mechanický rozptyl výkonového spínače | 4 | Mechanische Streuung des Leistungsschalters |
| 5 | Mechanický rozptyl výkonového spínače a dodatečná oblast rozptylu okamžiku vzniku oblouku | 5 | Mechanische Streuung des Leistungsschalters und zusätzlich Streubereich des Vorüberschlags |
| 6 | Čas nastavení | 6 | Einstellzeit |

Obr. 3.10 Rozsah zapnutí pro kapacitní zátěž [22]

Obecný popis operací zapínání a vypínání

V okamžiku, kdy jednotka synchronswitch obdrží zapínací povel, je nejprve zjištěna fázová poloha síťového napětí. Požadované okamžiky zapnutí nebo vypnutí se vztahují vždy k průchodu napětí nebo proudu nulou. V závislosti na druhu zátěže (kompenzační tlumivka, transformátor atd) je spínací povel řídicí jednotkou synchronswitch předáván spouštěčům vypínače s odpovídající prodlevou a předsazený při zohlednění fázové polohy, kdy povely k jednotlivých třem fázím vypínače jsou předávány vzájemně nezávisle. Při výpočtu doby prodlevy je vzata do úvahy vlastní doba a tvorba doby oblouku (zapnutí) nebo doba trvání elektrického oblouku (vypínání) vypínače. [22]

V případě režimu Prony se ze signálů měniče napětí před a za vypínačem určí průběh napětí přes vypínač. Tyto data slouží k předběžnému výpočtu budoucího průběhu napětí, aby bylo možné stanovit vhodný okamžik pro opětovné zapnutí. [22]

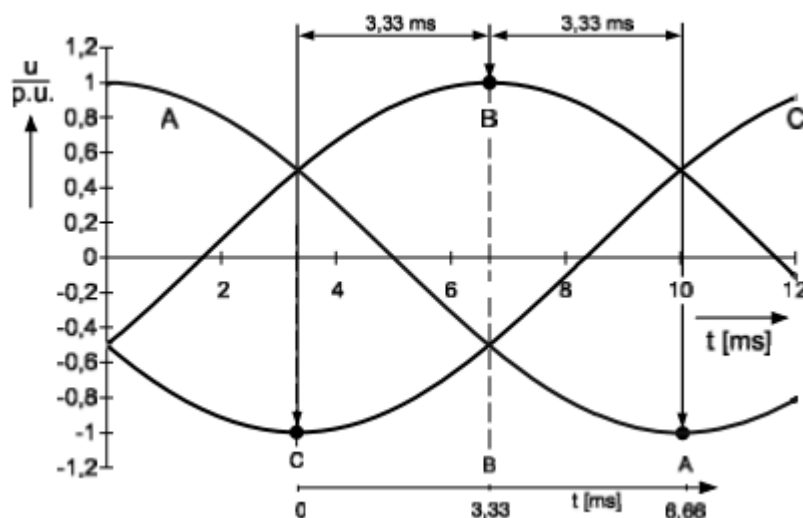
3.2.3 Aplikace spínání zátěží

Jak již bylo zmíněno u prvního druhu synchronswitch, tato diplomová práce se zabývá pouze jedním druhem zátěže, a to kompenzační tlumivkou, která je popsána v následujících

odstavcích.

Co se týče operací zapnutí, je dán zapínací povel v libovolný okamžik sepnutí, který je nejprve přijat pouze řídicí jednotkou. Poté řídicí jednotka stanoví následující průchod nulovým bodem proudu nebo napětí jako referenční okamžik. Následně po uplynutí vypočtené doby prodlevy předá řídicí jednotka spínací impuls spouštěčem vypínače. Jakmile se začne vytvářet oblouk neboli po uplynutí doby zapnutí od předání povelu vypínači, je zahájen průtok proudu v maximálním napětí. Nakonec nastane galvanický dotyk kontaktu po uplynutí doby tvorby oblouku. [22]

Následující graf zobrazuje průběh zapnutí kompenzační tlumivky. Lze vidět, že jednotlivá fázová napětí jsou posunuta o 120° , aby zapnutí v každé fázi bylo v maximu napětí. Také když jsou fáze zapínána v pořadí A, B a C lze vyčíst, že okamžik sepnutí mezi jednotlivými fázemi je 3,33 ms. [22]

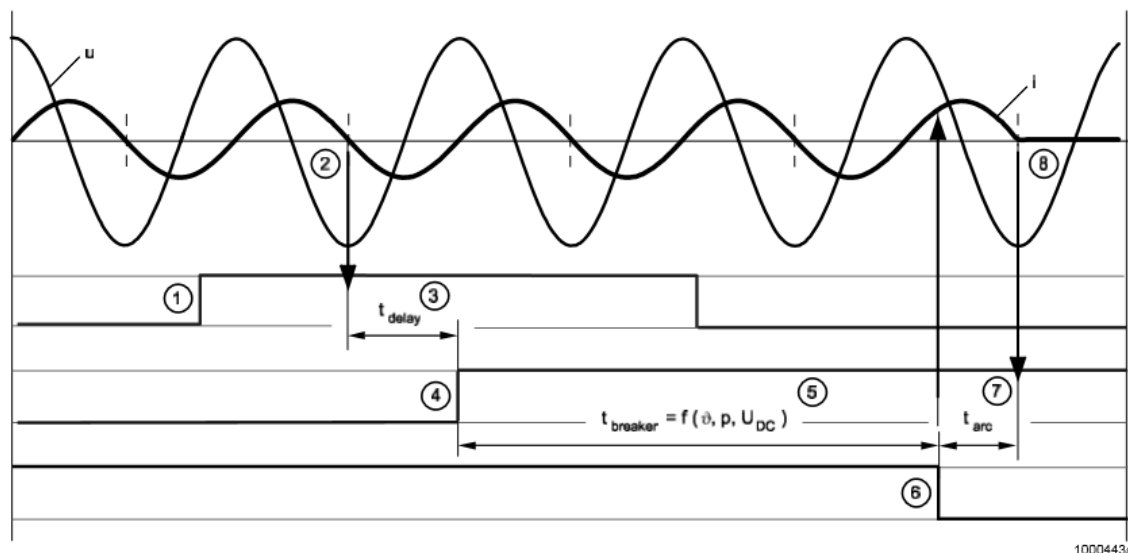


Obr. 3.11 Okamžiky sepnutí pro třífázovou tlumivku při 50 Hz [22]

U procesu vypínání je zase snaha docílit to, aby byl konec průtoku proudu v průchodu proudu nulou, kdy rozpojení kontaktů vypínače proběhne o dobu trvání elektrického kontaktu dříve. Ovšem tuto hodnotu, která se jmenuje doba trvání elektrického oblouku, je nutno nastavit na synchroswitch. [22]

Jako při procesu zapínání je dán vypínací povel v libovolný okamžik sepnutí, který je nejprve přijat pouze řídicí jednotkou. Poté stanoví řídicí jednotka referenční bod, a to konkrétně následující průchod bodem proudu nebo napětí. Jakmile se vypočítá doba

prodlevy, předá řídicí jednotka spínací impuls spouštěčům vypínače. Po uplynutí vlastní doby vypnutí dojde ke galvanickému rozpojení kontaktů, kdy proud nejprve dále protéká pouze přes elektrický oblouk. Po ukončení doby trvání elektrického oblouku v následujícím průchodu proudu nulou je však průtok proudu ukončen. Na obrázku (Obr. 3.12) lze vidět podrobněji proces řízeného vypínání. [22]



| | | | |
|---|----------------------------|---|--|
| 1 | Vypínací povel (velín) | 1 | Ausschaltkommando (Warte) |
| 2 | Rozpoznání průchodu nulou | 2 | Nulldurchgangserkennung |
| 3 | Doba zpoždění | 3 | Verzögerungszeit |
| 4 | Řízený povel spouštěči VYP | 4 | Gesteuertes Kommando an den Auslöser AUS |
| 5 | Vlastní doba vypnutí | 5 | Ausschaltigenzeit |
| 6 | Rozpojení kontaktů | 6 | Kontakttrennung |
| 7 | Doba oblouku | 7 | Lichtbogenzeit |
| 8 | Ukončení průtoku proudu | 8 | Stromflussende |

Obr. 3.12 Proces řízeného vypínání [22]

Následující kapitola se zabývá analýzou dat z vypínačů, které spínají kompenzační tlumivky 400 kV a jsou spínány pomocí řízeného spínání v oblasti Západ ve společnosti ČEPS.

4 Analýza dat vypínačů s využitím synchronswitch

V oblasti Západ se nacházejí konkrétně dvě kompenzační tlumivky pro 400 kV s vypínači využívající řízené spínání, konkrétně stanice TR Hradec u Kadaně a TR Přeštice. Abych získala potřebná data pro porovnání, bylo zapotřebí stáhnout veškeré informace, data a průběhy daných vypínačů ze softwaru AROPO (viz kapitola 2). Z veškerých dat, průběhů atd. jsem vybrala ty nejdůležitější z mého pohledu, a to stav CO operací, maximální a minimální jalový výkon, maximální a minimální napětí a proud.

Stav CO operací neboli veškerý počet operací za dobu životnosti vypínače, kdy se počítá jako jeden celek stav zapnuto a vypnuto, tzn, pokud dvakrát vypneme vypínač, provedeme dva stavy CO (zapnuto, vypnuto, zapnuto, vypnuto). Jelikož se stavy CO operací sčítají dohromady již od prvního zapnutí vypínače po celou dobu jeho životnosti, musela jsem od sebe odečíst hodnoty k 1.1.2020 minus hodnoty k 31.12.2018. Stav CO operací u jednotlivých fází může být jiný, jelikož při nestandardním měření, například údržba a diagnostika vypínače nebo při podezření na špatnou funkci jedné fáze vypínače, dodavatel nebo oprávněný pracovník skupiny ČEPS, a.s. může ozkoušet proces zapínání a vypínání jen u jedné fáze. Oba vypínače byly porovnávány pro stejné období, které bylo stanoveno od 1.1.2019 do 31.12.2019.

4.1 Tlumivka TR Hradec u Kadaně

Tab. 4.1 Zjištěné veličiny pro tlumivku na stanici TR Hradec u Kadaně

| | L1 | L2 | L3 |
|----------------------|--------|--------|--------|
| stav CO operací | 112 | 111 | 112 |
| Qmax [MVar] | 125,22 | 125,22 | 125,22 |
| Qmin [MVar] | -178,8 | -178,8 | -178,8 |
| Umax [kV] | 417,6 | 417,6 | 417,6 |
| Umin [kV] | 403,68 | 403,68 | 403,68 |
| I _{max} [A] | 246,75 | 246,75 | 246,75 |
| I _{min} [A] | 0,6 | 0,6 | 0,6 |

Tab. 4.2 Počet CO operací v jednotlivých měsících

| | I. | II. | III. | IV. | V. | VI. | VII. | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. | Celkem |
|-----------|----|-----|------|-----|----|-----|------|-------|-----|----|-----|------|--------|
| L1 | 3 | 5 | 9 | 11 | 8 | 8 | 9 | 15 | 6 | 6 | 12 | 1 | 90 |
| L2 | 3 | 5 | 9 | 11 | 8 | 8 | 9 | 15 | 6 | 6 | 12 | 1 | 90 |
| L3 | 3 | 5 | 9 | 11 | 8 | 8 | 9 | 15 | 6 | 6 | 12 | 1 | 90 |

V tabulce (Tab. 4.1), lze vyčíst, že fáze L3 má největší počet CO operací. V roce 2019 byla sepnuta tlumivka 90krát. Nejdelší doba, kdy byla tlumivka sepnuta, bylo období Vánoc, konkrétně 22. až 26. prosinec 2019. Nejvytíženější měsíc byl měsíc srpen a oproti tomu v prosinci byla sepnuta pouze jednou, a to na období Vánoc. Nejčastěji byla tlumivka sepnuta od dubna do srpna, prakticky každý víkend.

4.2 Tlumivka TR Přeštice

Tab. 4.3 Zjištěné veličiny pro tlumivku na stanici TR Přeštice

| | L1 | L2 | L3 |
|----------------------|---------|---------|---------|
| stav CO operací | 102 | 84 | 85 |
| Qmax [MVar] | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| Qmin [MVar] | -177,74 | -177,74 | -177,74 |
| Umax [kV] | 416,75 | 416,75 | 416,75 |
| Umin [kV] | 399,17 | 399,17 | 399,17 |
| I _{max} [A] | 245,6 | 245,6 | 245,6 |
| I _{min} [A] | 0,06 | 0,06 | 0,06 |

Tab. 4.4 Počet CO operací v jednotlivých měsících

| | I. | II. | III. | IV. | V. | VI. | VII. | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. | Celkem |
|-----------|----|-----|------|-----|----|-----|------|-------|-----|----|-----|------|--------|
| L1 | 0 | 2 | 7 | 6 | 3 | 13 | 9 | 13 | 5 | 3 | 8 | 2 | 71 |
| L2 | 0 | 2 | 7 | 6 | 3 | 13 | 9 | 13 | 5 | 3 | 8 | 2 | 71 |
| L3 | 0 | 2 | 7 | 6 | 3 | 13 | 9 | 13 | 5 | 3 | 8 | 2 | 71 |

V tabulce (Tab. 4.3), lze vyčíst, že fáze s největším počtem stavu CO operací je fáze L1. V roce 2019 byla sepnuta tlumivka 71krát. Nejdelší doba kdy byla tlumivka sepnuta, bylo opět období Vánoc, konkrétně 21. až 30. prosinec 2019. Nejvytíženější měsíce byly červen a srpen, a naopak v lednu nebylo zapotřebí tlumivku ani nejdou zapnout. Nejčastěji byla tlumivka sepnuta od června do srpna, prakticky každý víkend.

4.3 Zhodnocení

Tlumivka na stanici TR Hradec u Kadaně byla v roce 2019 spínaná více než tlumivka na stanici TR Přeštice. Obě tlumivky měly jako jeden z měsíců, kdy bylo zapotřebí nejvíce spínat měsíc srpen. To bylo pravděpodobně způsobeno kvůli letním celozávodním dovoleným v Německu i České republice. Vzhledem k tomu, že tlumivka se spíná nejčastěji během víkendů (od pátečního do nedělního večera) nebo prodloužených víkendů a svátků, jelikož není takový odběr elektrického proudu v průmyslových podnicích atd., vzniká v přenosové síti značné množství jalového výkonu. Období od dubna do září patřilo k nejvíce potřebným ke spínání tlumivky. Zajímavé bylo, že během období jarních a podzimních prázdnin nebylo zapotřebí spínat tlumivku.

Z tabulek vyplývá, že tlumivka na stanici TR Hradec u Kadaně sepnula mnohonásobně vyšší jalový maximální výkon oproti tlumivce na stanici TR Přeštice. Což opět dokazuje, že tlumivka na stanici TR Hradec u Kadaně je vytiženější než tlumivka na stanici TR Přeštice. Ale obě tlumivky sepnuly téměř stejný jalový minimální výkon. Co se týče veličin maximálního a minimálního proudu a napětí, tak ten byl srovnatelný u obou tlumivek.

V softwaru AROPO a dalších pomocných softwarech skupiny ČEPS, a.s. bylo zkontrolováno, že během daného období nebyl zjištěn žádný zásah bleskem, žádný zkrat ani žádná závada na vypínačích konkrétních tlumivek. Během stanoveného období nebyla řešena žádná oprava či plánovaná odstávka. Tudíž lze říci, že stav CO operací je opravdu způsoben prováděním diagnostiky a údržby vypínače.

Jak lze vyčíst z nasbíraných hodnot veličin a údajů, vypínače tlumivek jsou opravdu velmi vytižené v dnešní době. Je tedy dobré zajistit jejich správný chod a funkci a také dlouho životnost, vzhledem k ekonomicky náročným opravám či výměnám. Proto lze říci, že je ekonomicky výhodnější spínání pomocí zařízení synchroswitch oproti klasickému spínání bez využití řízeného spínání (viz. kapitola 2 a rozbor vypínačů).

Z popisů principů zařízení synchroswitch jednotlivých výrobců, je určitě velmi dobré instalovat zařízení synchroswitch na vypínače tlumivek od stejného výrobce jako je vypínač. Vzhledem k tomu, že většinou mají výrobci již přednastavené parametry v softwaru zařízení

synchroswitch pro všechny typy vypínačů, které kdy vyrobili. Což usnadní práci při instalaci a nastavení jednotlivých parametrů.

4.3.1 Zkušenosti studijní skupiny A3 CIGRE

Skupina ČEPS, a.s. je součástí několika světových i evropských organizací. Právě jednou z organizací je organizace CIGRE, která se zaměřuje na výměnu informací z výzkumu, vývoje a praxe technologických řešení všech součástí přenosových a distribučních sítí velmi vysokého i zvláště vysokého napětí a provozování a rozvoje těchto sítí. Organizace CIGRE stejně jako skupina ČEPS, a.s. spolupracuje s vysokými školami a společnostmi zabývajícími se provozem a údržbou přenosových soustav. Součástí této diplomové práce jsou i některé poznatky z praxe této organizace, přesněji pracovní skupiny A3 Transmission & Distribution Equipment, které jsou popsány v následujícím odstavci. [23], [24]

Řízené spínání je používáno v přenosových i distribučních sítích ve světě už přes 30 let, tedy od roku 1990. Ze zjištěných informací a odborných studií vyplývá, že tato zařízení, určené pro řízené spínání šetří životnost a provozuschopnost vypínačů, popřípadě dalších druhů zařízení, které lze řízeně spínat, jelikož omezují opalování kontaktů komor vypínače, snižují zotavené napětí atd. Jedním z dalších přínosů je, že monitorují stav vypínače v průběhu jeho životnosti. Všechny tyto poznatky skupiny A3 potvrzují poznatky a teorii v předchozích kapitolách a odstavcích. [23], [24]

Závěr

Tato diplomová práce byla zaměřena na technické nastavení synchronswitch používaných v české přenosové soustavě, jelikož v některých částech mohou mít odlišné vlastnosti, funkce atd. Některé synchronswitch mají i funkci monitorování vypínače, kterou využívají pracovníci z oddělení Údržba silového zařízení při diagnostice vypínače. Správné nastavení synchronswitch i vypínače nastaví pouze výrobce, ale případné nestandardní chování konzultují specialisté z firmy ČEPS, a.s. právě s těmito dodavateli. Skupina ČEPS, a.s. se zabývá diagnostikou vypínačů a následně zjišťuje, jaký mají vliv na provoz.

Statické odpory některých vypínačů bývají lehce zvýšené oproti doporučeným limitním hodnotám od výrobce, ovšem vypínače jsou stále provozuschopné, jelikož mají nainstalovaný synchronswitch, který prodlužuje jejich životnost. Cílem je, aby během celé životnosti vypínačů a synchronswitch bylo všechno správně nastavené. Elektronika i parametry plynových vypínačů SF_6 jsou zcela jistě správně nastaveny, a jsou na takové úrovni, že lze s danou spolehlivostí tato zařízení provozovat. O čemž svědčí i analýza dat nastavení nasazených synchronswitch, kde lze vyčíst, že i když jsou vypínače a synchronswitch pro kompenzační tlumivky 400 kV v provozu již několik let, přičemž se spínají téměř každý víkend, stále dosahují vypínače během testů a zkoušek v rámci údržby a diagnostiky velice dobrých hodnot.

Z popisu principů jednotlivých synchronswitch v této diplomové práci vyplývá, že je ideální instalovat synchronswitch na vypínač od stejného výrobce, jelikož výrobce má nejpřesnější parametry a nastavení jednotlivých typů vypínačů.

Řízené spínání v české přenosové soustavě je na velice dobré úrovni a velmi blízké celosvětové úrovni v řízeném spínání jako například v Hydro-Québec v Kanadě, Brazílii, Indii a Japonsku.

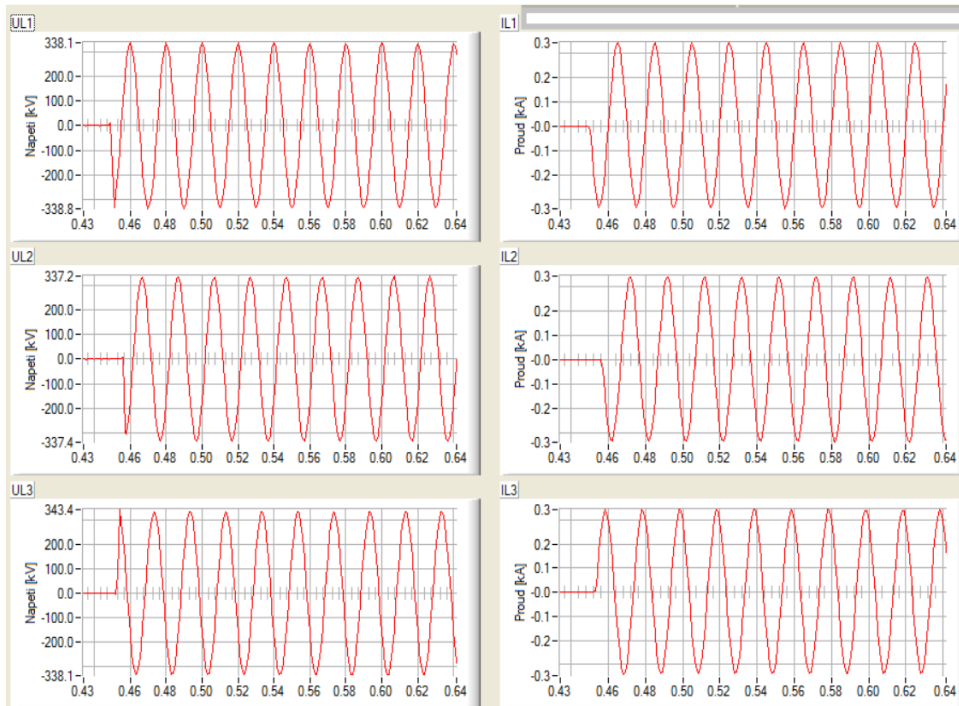
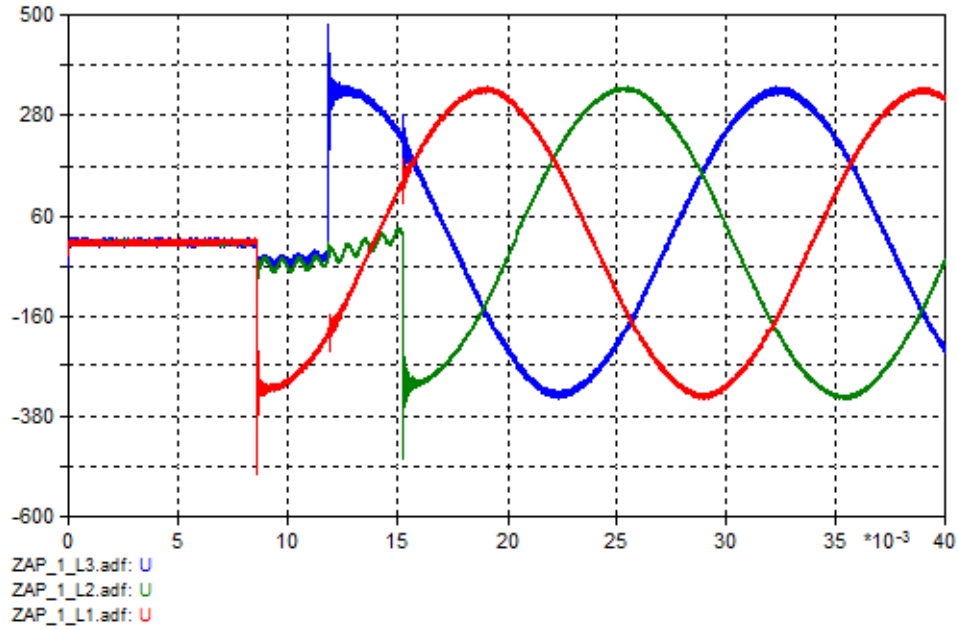
Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ULLMAN, PH.D., Ing. Ivo. *Nové výzvy pro spolehlivý provoz přenosové soustavy*. 1. ČEPS, a.s., 2017. Dostupné také z: http://www.odbornecasopisy.cz/data-ftp-user/konference/2017/Energie_pro_budoucnost_XX_Amper2017/_02-PS_spolehlivy_provoz_Ullman.pdf.
- [2] Ing. Otto HAVELKA CSC., a kolektiv. *Elektrické přístroje*. Praha: SNTL, 1985. DT 621.31(075.8).
- [3] REDER, Zdeněk. *Optimalizované spínání* [online]. Ostrava, 2018 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/128492>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská -Technická univerzita Ostrava.
- [4] BÁRTA, CSC., ING. KAREL, ING. VLADIMÍR POSPÍŠIL, ING. MILOSLAV ULČ, ING. ZDENĚK VOSTRACKÝ, CSC. A ING. MILAN ZELENKA. *Spínací přístroje velmi vysokého napětí*. 1. Praha: SNTL, 1983.
- [5] MORAVEC, Jan. *Rozvodné sítě TN, IT a TT - popis, výhody a nevýhody* [online]. 2015 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/rozvodne-site-tn-it-tt>.
- [6] K čemu jsou sítě TT a IT? In: <https://elektrika.cz> [online]. 2009 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/sit-tt-a-it/view>.
- [7] ABB. *Switchsync PWC600: User manual*. Revision: A, Product version: 1.0. Sweden: ABB, 2015. ISBN Document ID: 1MRK 511 346-UEN.
- [8] GOLDSWORTHY, Dan, Tom ROSEBURG, Demetrios TZIOUVARAS a Jeff POPE. *Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers: Application Examples and Benefits* [online]. 2008, , 1-17 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: https://cdn.selinc.com/assets/Literature/Publications/Technical%20Papers/6288_ControlledSwitching_DT-JP-DG_20080206_Web.pdf.
- [9] RICHTER. *PSD02: Controlled switching*. SIEMENS, 2017.
- [10] Zápisy do sešitu - 11. pokračování. *Elektrina a magnetismus* [online]. 2004 [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <http://elektross.gjn.cz/sesit/sesit11.html#fazor>
- [11] KOPEJTKOVÁ, Ing. Dagmar. *Učební texty*. 1. ORGREZ, a.s., 2009.
- [12] ROININEN, Tomas, Carl Ejnar SÖLVER, Helge NORDLI, Per JONSSON a Alfredson ALFREDSSON. *Live Tank Circuit Breakers: Application Guide*. ABB, Sweden, 2013.
- [13] KOČIŠ, Ing. Lubomír a Ing. Jan LACHMAN, PH. D. *Spínání kompenzačních tlumivek 400 kV*. 1. EGU - HV Laboratory, a.s., 2014.
- [14] *ELK3/420 with circuit breaker SP3-2/drive mechanism HMB8: Overview on Switchgear Apparatus*. ABB, Switzerland, 2017.
- [15] MORAVEC, Jan. *Elektrický oblouk - jak vzniká a jak se zháší?* [online]. 2017 [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/elektricky-oblouk>.
- [16] KRŇOUL, Antonín. *Přehled metod diagnostiky výkonových vypínačů vn, vvn a zvn: Diagnostika a testování v energetice a průmysl*. OpenHouse TMV SS, 2016.
- [17] *Řád preventivní údržby - Adresná příloha č.18*. ČEPS, a.s., 2014.
- [18] TESKA, Zdeněk. *ČEPS, a.s. - něco málo o vypínačích - poruchy a závady - 2018*. ČEPS, a.s., 2018.
- [19] SPURNÝ, Petr. *ESADA: Expertní SW podpora pro oblast stanic a vedení PS*. ČEPS, a.s., 2019.
- [20] *Zařízení pro řízené spínání*. ABB, 2018.
- [21] *Switchsync TM PWC600: SW nástroje, inženýring*. ABB, 2018.
- [22] *Betriebsanleitung: Steuergeräte PSD02 und PSD03*. 1. SIEMENS, 2015.

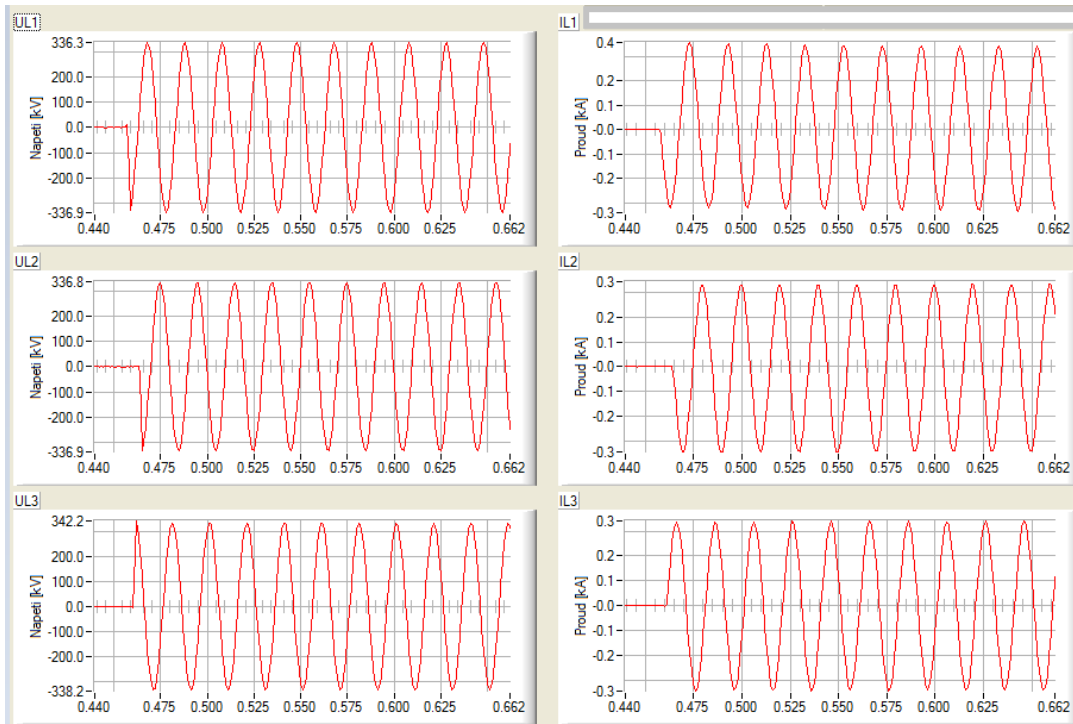
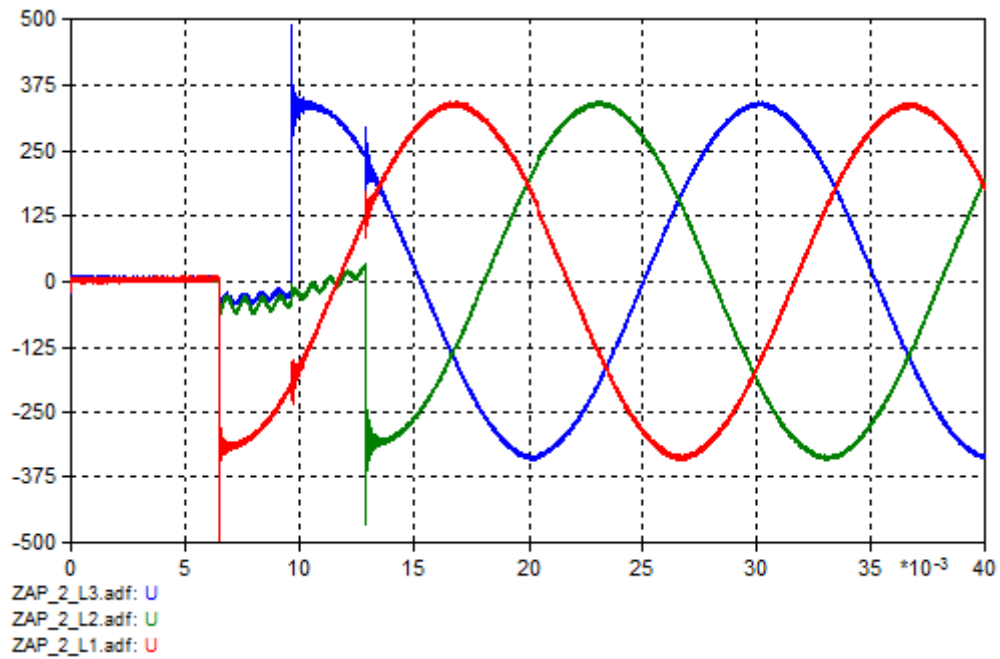
- [23] SMEETS, R., LOU VAN DER SLUIS, KAPETANOVIC, M., PEELO, D.F., JANSSEN, A.: *Switching in Electrical Transmission and Distribution Systems*; Wiley, 2015, ISBN 978-1-118-3815-9
- [24] CIGRE GREEN BOOKS – SC A3 HIROKI, ITO editor: *Switching Equipment*; Springer Nature Switzerland AG, 2019, ISBN 978-3-319-72537-6.

Přílohy

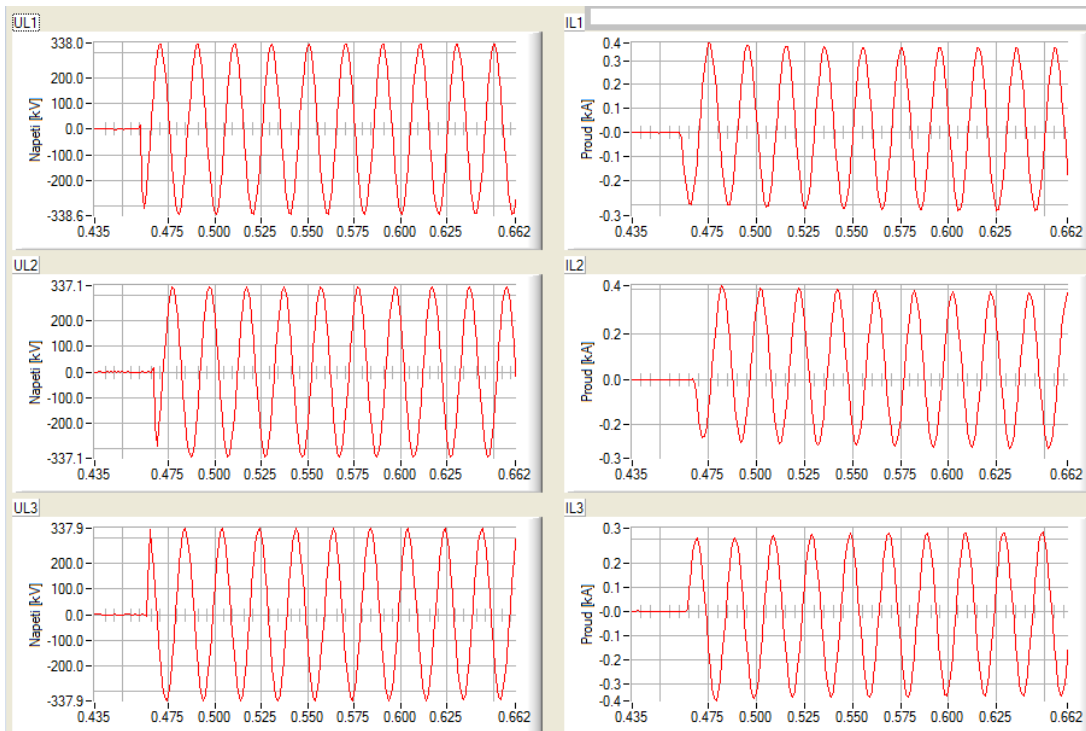
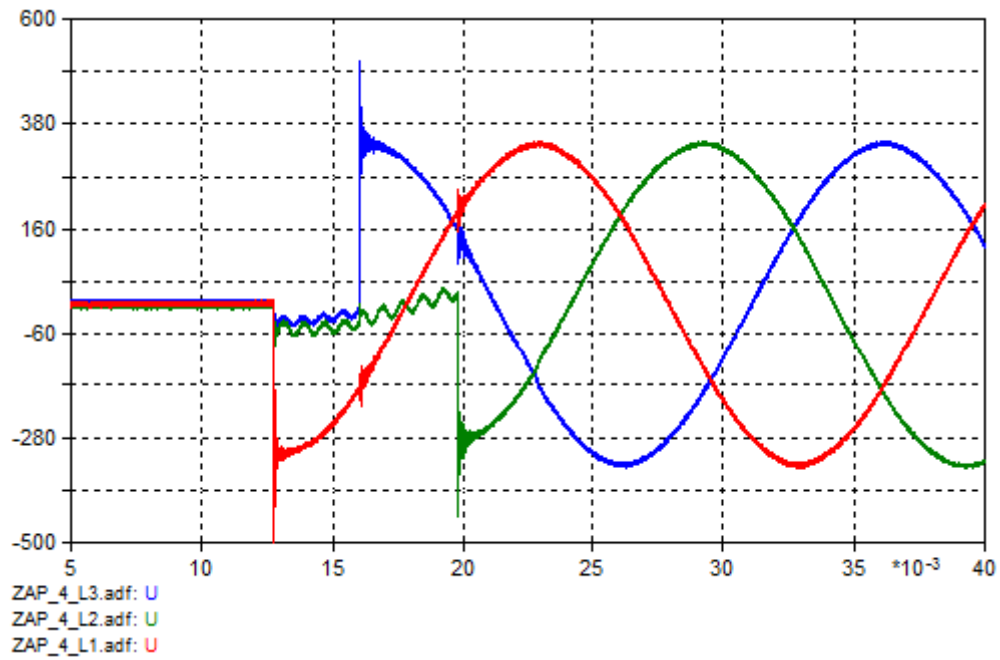
Příloha A – Průběh zapnutí tlumivky 400 kV při řízeném spínání (1. spínání) [13]



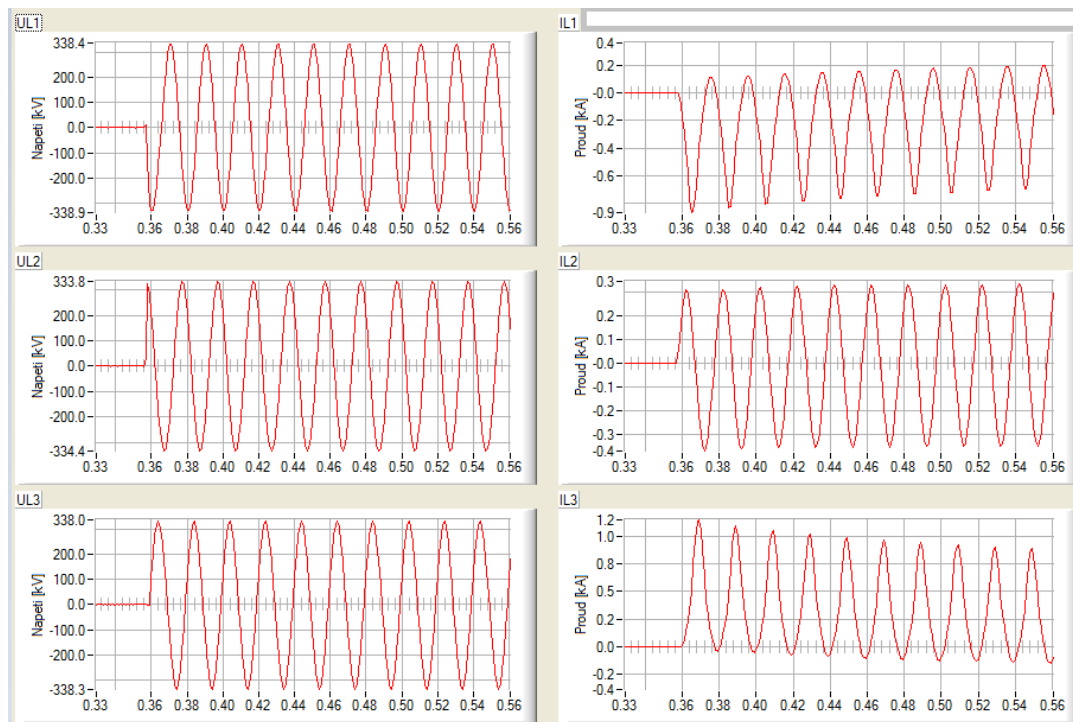
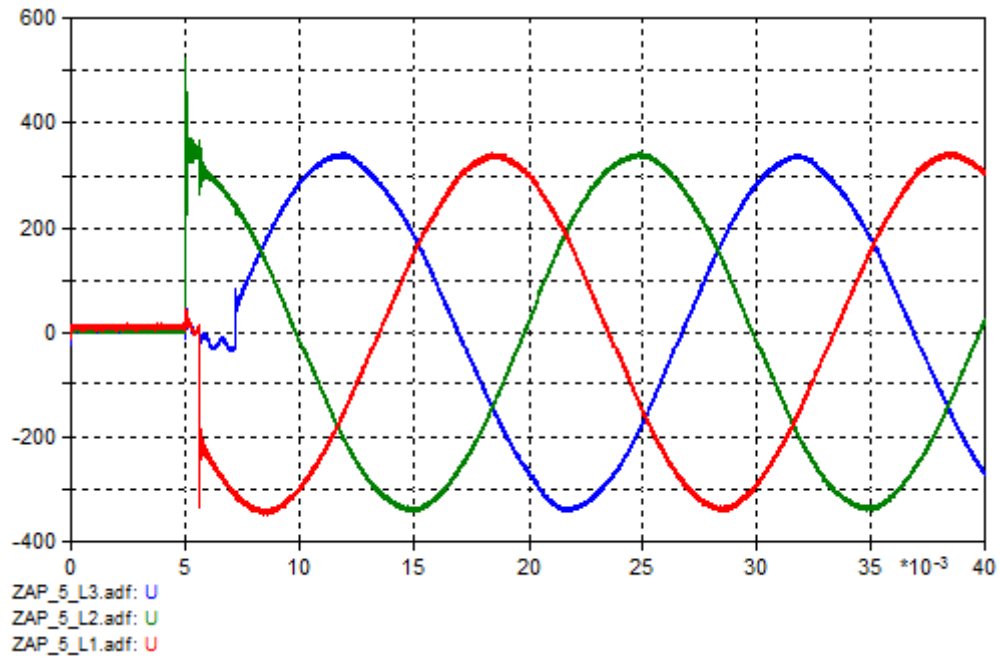
Příloha B – Průběh zapnutí tlumivky 400 kV s řízením spínáním (2. spínání) [13]



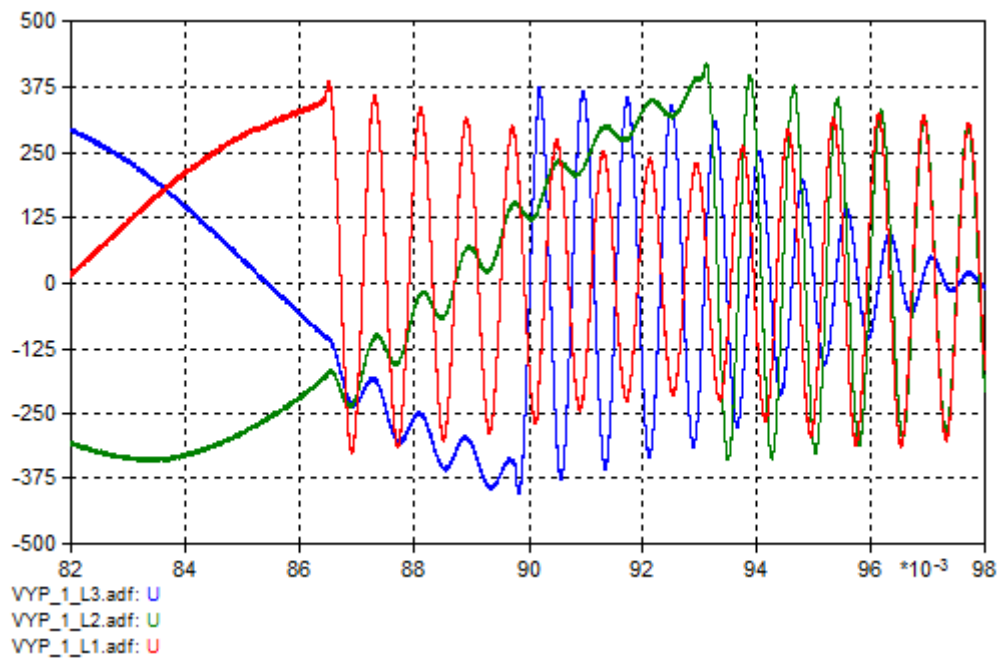
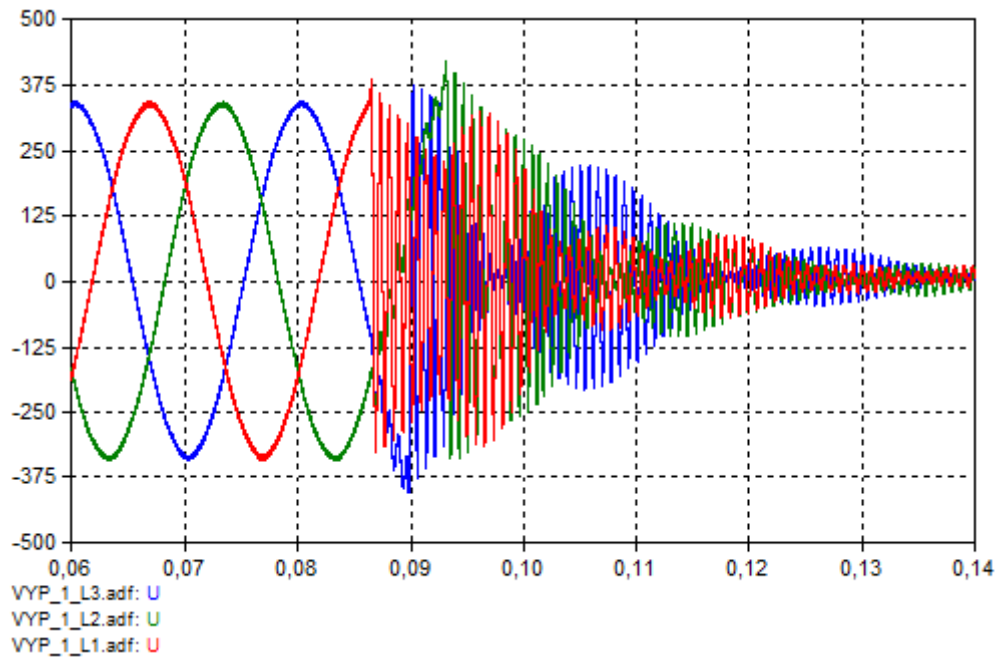
Příloha C – Průběh zapnutí tlumivky 400 kV bez řízeného spínání (3. spínání) [13]

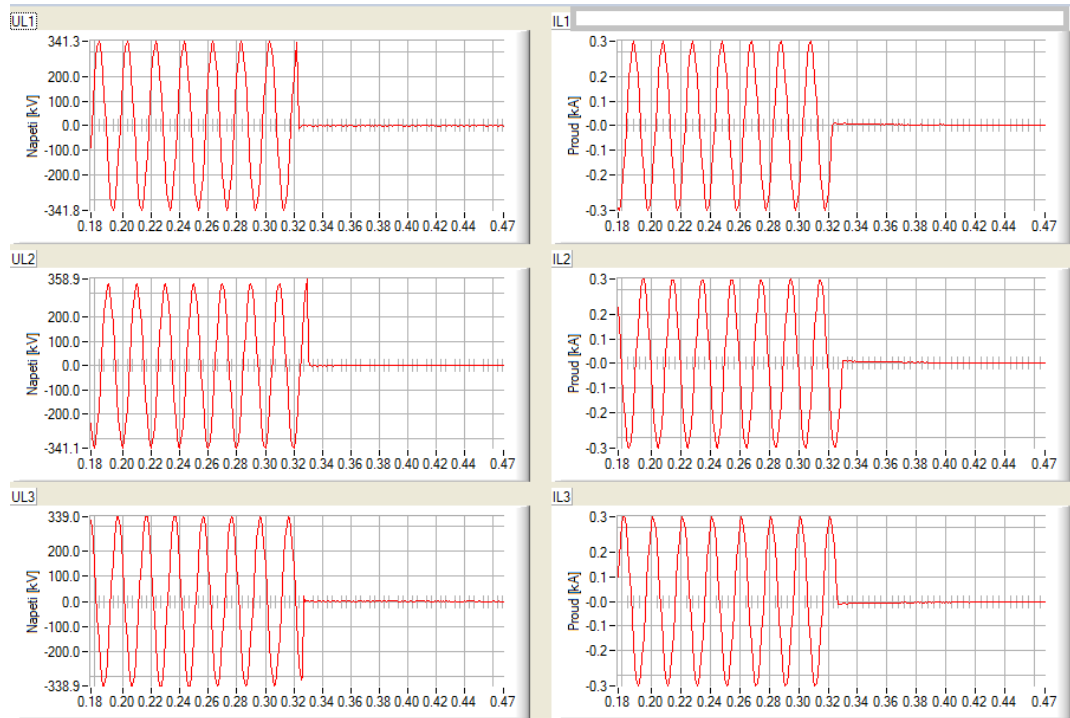


Příloha D – Průběh zapnutí tlumivky 400 kV bez řízeného spínání (4. spínání) [13]

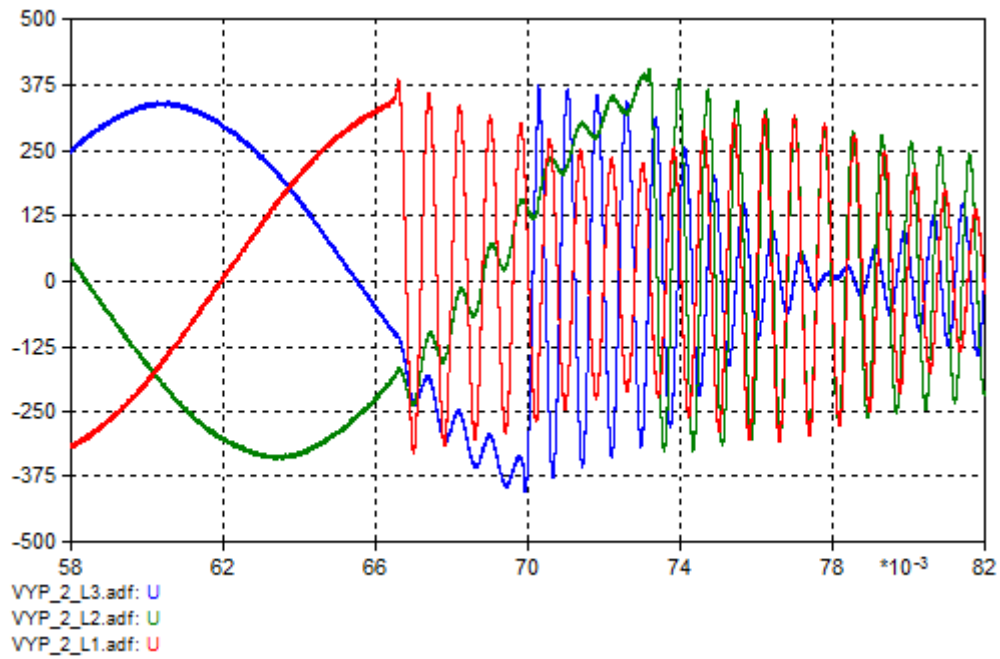
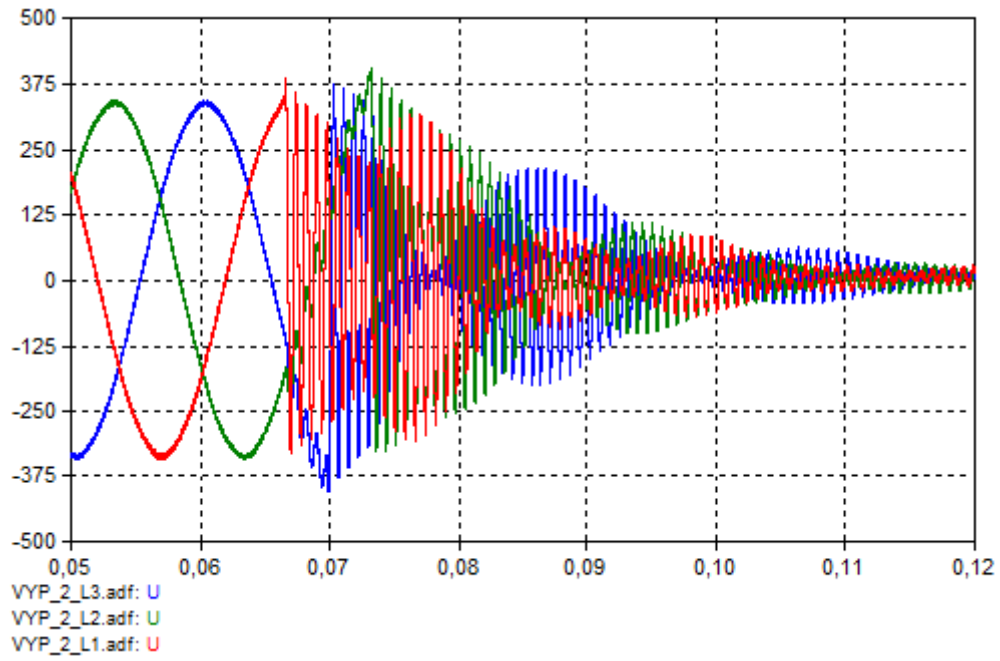


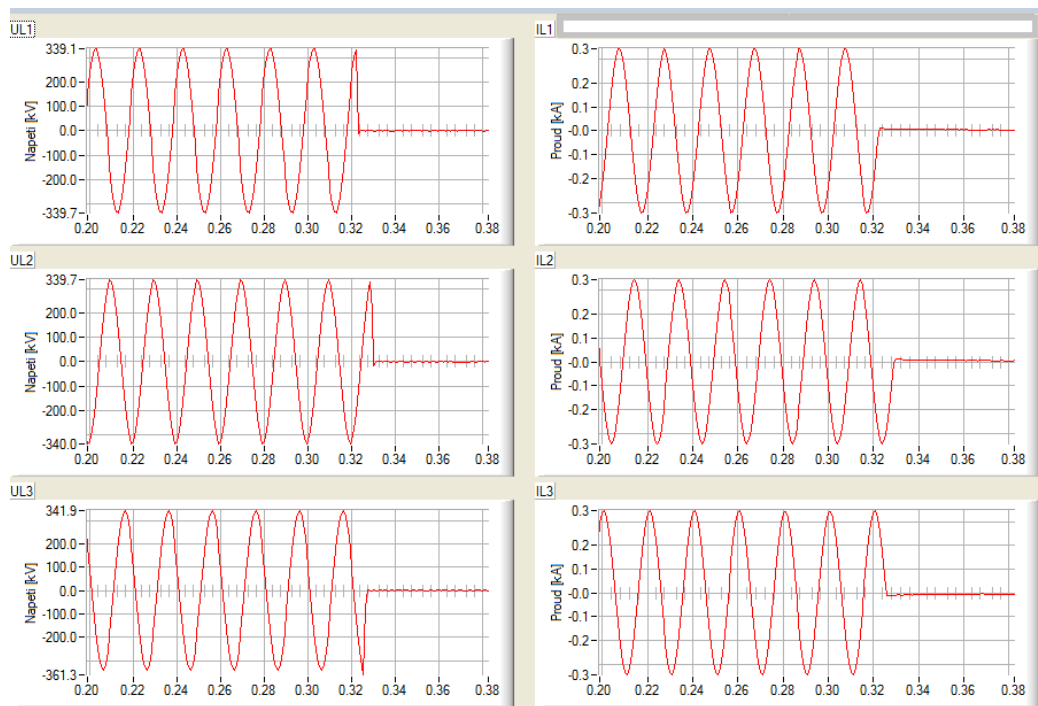
Příloha E – Průběh vypnutí tlumivky 400 kV s řízením spínáním (1. spínání) [13]



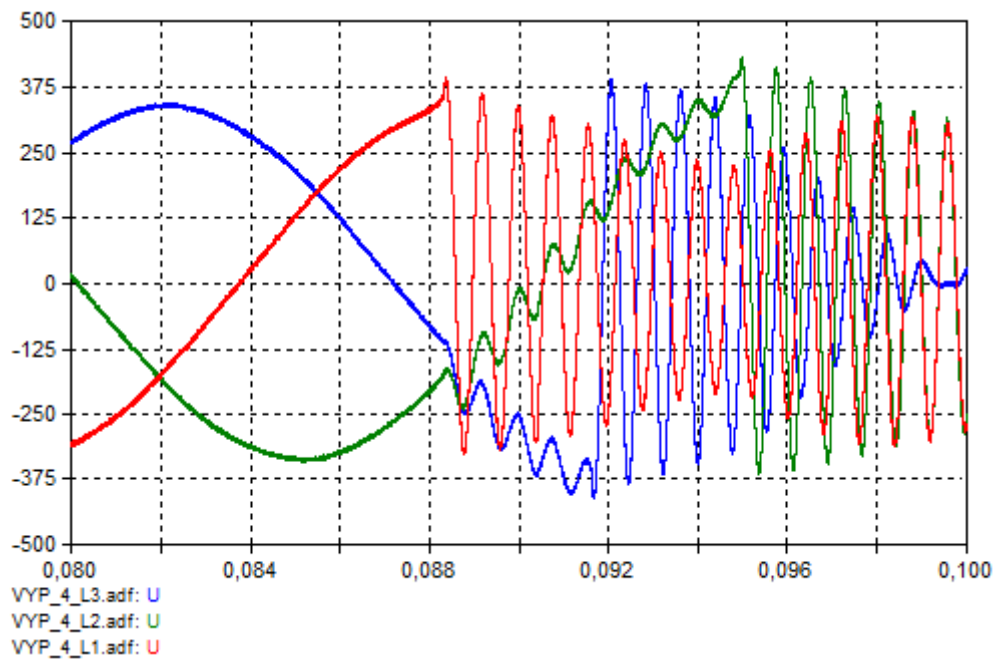
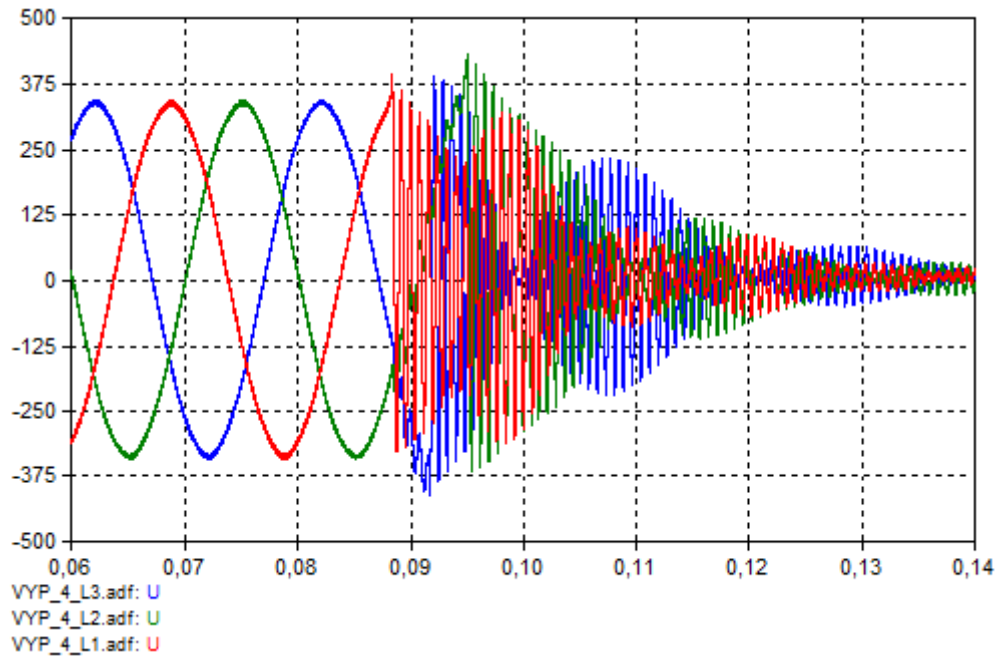


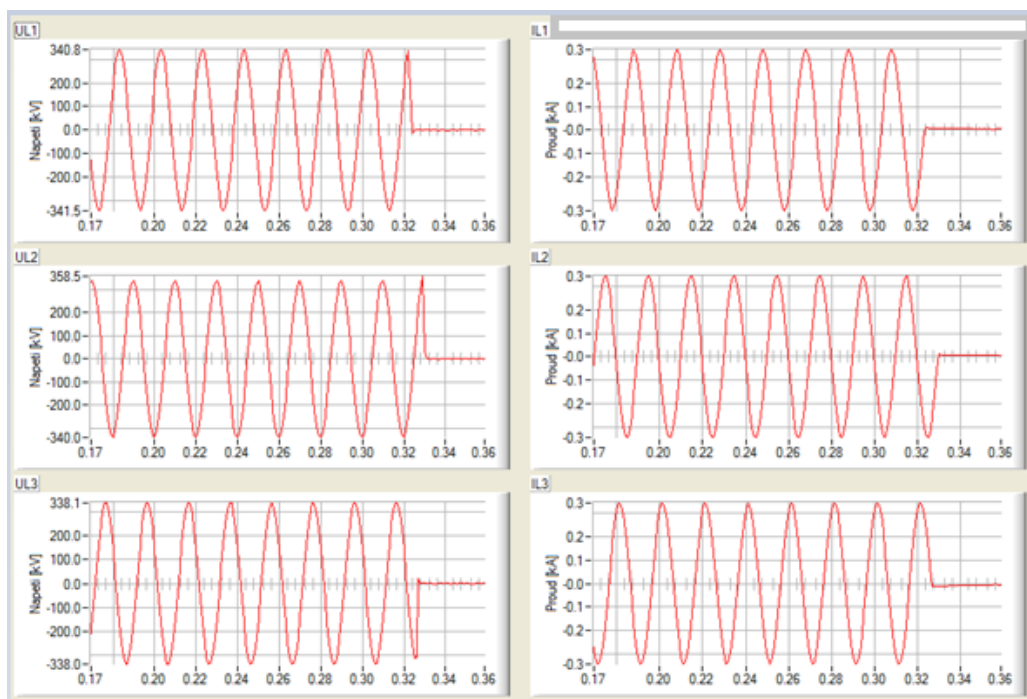
Příloha F – Průběh vypnutí tlumivky 400 kV s řízením spínáním (2. spínání) [13]





Příloha G – Průběh vypnutí tlumivky 400 kV bez řízeného spínání (3. spínání) [13]





Příloha H – Průběh vypnutí tlumivky 400 kV bez řízeného spínání (4. spínání) [13]

