

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Aktuální technický stav a diagnostika vypínačů vvn

autor: Pavel Fukač

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel FUKAČ**
Osobní číslo: **E09B0069K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Aktuální technický stav a diagnostika vypínačů vvn**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

Zpracujte rešeršním a praktickým způsobem aktuální technický stav a možnosti diagnostiky vypínačů vvn.

1. Rekapitulujte rešeršním způsobem technické řešení vypínačů vvn historické i aktuální konstrukční přístup.
2. Popište specifika konstrukčního řešení současných vypínačů vvn firmy Siemens.
3. Vytvořte názorný reálný výukový demonstrační model struktury a funkce vypínače vvn Siemens 3AP1FI.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Rusňák, Štěpán; Řezáček, Petr: Elektrické přístroje 1., 2.
2. Bárta, K., Vostracký, Z.: Spínací přístroje velmi vysokého napětí
3. Havelka, O. a kol.: Elektrické přístroje


Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.

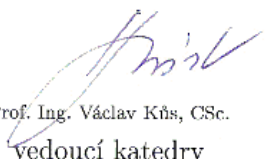
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 17. října 2011

Termín odevzdání bakalářské práce: 3. června 2012


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na problematiku vypínačů velmi vysokého napětí, rekapituluje jejich historický vývoj, současné konstrukční řešení a nové možnosti diagnostiky těchto zařízení.

Poslední kapitoly práce Vás seznámí s postupem vytvoření reálného výukového demonstračního modelu zhášecí komory vypínače vvn Siemens 3AP1FI.

Klíčová slova

Vypínač vvn, zhášecí komora, spínání, plyn SF₆, pohon, diagnostika, zhášení oblouku.

Theme:

Current technical state and diagnostics of the high voltage circuit breakers

Abstract

The present thesis is focused on high-voltage circuit breakers, summarizes the historical development, contemporary design and new diagnostic possibilities of these devices.

The last chapter you introduce to create the real learning demonstration model of arcing chamber the Siemens HV circuit breaker type 3AP1FI.

Key words

HV circuit breaker, quenching chamber, switching, SF₆ gas, drive, diagnostics, arc quenching.

Prohlášení

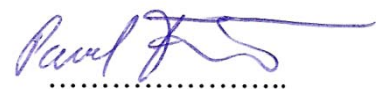
Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s využitím získaných poznatků z mého zaměstnání a také s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

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

V Plzni dne 22. 5. 2012

Jméno příjmení



.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Karlu Noháčovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Dále bych velice rád poděkoval prof. Ing. Zdeňku Vostrackému, DrSc. dr.h.c., za neocenitelné informace, které mi umožnili lépe se zorientovat v dané problematice a kvalitněji zpracovat tuto bakalářskou práci.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
SEZNAM SYMBOLŮ	9
1 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ VYPÍNAČŮ VVN; POHLED DO HISTORIE I AKTUÁLNÍ KONSTRUKČNÍ PŘÍSTUPY	10
1.1 REKAPITULACE HISTORICKÉHO VÝVOJE VYPÍNAČŮ VVN	11
1.1.1 <i>Kotlové olejové vypínače</i>	11
1.1.2 <i>Máloolejové vypínače</i>	12
1.1.3 <i>Expanzní vypínače</i>	12
1.1.4 <i>Tlakovzdušné vypínače</i>	13
1.1.5 <i>Plynové vypínače (SF₆)</i>	14
1.2 AKTUÁLNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	15
1.3 MOŽNOSTI BUDOUCÍHO VÝVOJE	17
2 SPECIFIKA KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ SOUČASNÝCH VYPÍNAČŮ VVN FIRMY SIEMENS [13]	18
2.1 DVA ZÁKLADNÍ TYPY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ VYPÍNAČŮ	18
2.1.1 <i>Konstrukce vypínače typu „dead tank“</i>	18
2.1.2 <i>Konstrukce vypínače typu „live tank“</i>	19
2.1.3 <i>Vizuální porovnání vypínačů v provedení „live tank“ a „dead tank“</i>	20
2.2 DVĚ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ ZHÁŠECÍCH KOMOR VYPÍNAČŮ SF ₆	20
2.2.1 <i>Vypínací proces ve starší zhášecí komoře typu „puffer type“</i>	20
2.2.2 <i>Vypínací proces v novější zhášecí komoře typu „self blast“</i>	22
2.3 DVA TYPY UŽÍVANÝCH POHONŮ VE VYPÍNAČÍCH SF ₆	23
2.3.1 <i>Popis funkce staršího typu hydraulického pohonu s hydraulicko-plynovým střádačem energie</i> ...	24
2.3.2 <i>Popis funkce novějšího typu pružinového pohonu s pružinovým střádačem energie</i>	25
3 SOUČASNÉ MOŽNOSTI DIAGNOSTIKY VYPÍNAČŮ VVN	28
3.1 DIAGNOSTIKA VYPÍNAČŮ V PROVEDENÍ „OFF – LINE“	28
3.1.1 <i>Hodnotící kritéria pro provedení diagnostiky vypínače vvn [13]</i>	28
3.1.2 <i>Sledované provozní parametry vypínačů vvn</i>	30
3.2 DIAGNOSTIKA VYPÍNAČŮ V PROVEDENÍ „ON – LINE“	32
3.2.1 <i>Automatický centrální monitoring stavu zařízení vvn a zvn – systém ACM (ČEPS)</i>	32
3.2.2 <i>Integrovaný monitoring stavu rozvodného zařízení – systém ISCM (Siemens)</i>	33
4 VYTVOŘENÍ NÁZORNÉHO REÁLNÉHO VÝUKOVÉHO DEMONSTRAČNÍHO MODELU STRUKTURY A FUNKCE VYPÍNAČE VVN SIEMENS, TYP 3APIFI 123KV	35
4.1 VÝROBA MODELU	35
4.1.1 <i>Demontáž zhášecí komory pro vytvoření řezů</i>	35
4.1.2 <i>Obrábění jednotlivých součástí</i>	36
4.1.3 <i>Sestavení modelu a umístění na stojan</i>	36
4.2 VÝSLEDNÝ MODEL	37
ZÁVĚR	38
POUŽITÁ LITERATURA	39
PŘÍLOHY	40

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na vypínače velmi vysokého napětí. V podmínkách České republiky se jedná o vypínače pro napěťové hladiny 110, 220 a 400 kV.

Celá práce vychází z mého dlouholetého působení u společnosti Siemens, kde se mimo jiné zabývám problematikou těchto vypínačů, hlavně z hlediska servisu a údržby v průběhu jejich životního cyklu.

Text je rozdělen do čtyř částí; první se zabývá stručnou rekapitulací a historickým vývojem těchto vypínačů, druhá uvádí současné technické řešení těchto přístrojů společností Siemens. Třetí část popisuje současné postupy kontroly a provozní diagnostiky těchto zařízení. V poslední čtvrté části je uveden popis vzniku názorného demonstračního modelu struktury a funkce zhášecí komory vypínače vvn Siemens, typ 3AP1FI 123kV.

Seznam symbolů

L1, L3, L3	Fázové vodiče napájecí soustavy
SF ₆	Plyn fluorid sírový
SO ₂	Plyn oxid siřičitý
AlF ₃	Fluorid hlinitý, pevná látka
Al	Hliník nebo jeho slitiny
ppmv	Označení pro jednu objemovou část v milionu, např. jeden mililitr v metru krychlovém
U _n	Jmenovité napětí
vvn	Velmi vysoké napětí (více jak 72,5 kV)
vn	Vysoké napětí (od 1kV do 72,5kV)
nn	Nízké napětí (do 1000V)
tgδ	Ztrátový činitel
R (Ω)	Elektrický odpor
L (H)	Indukčnost
C (F)	Kapacita
kV	kilovolt (10 ³ V) – jednotka elektrického napětí
O	Vypnutí (Open)
C	Zapnutí (Close)
t (t')	čas, časová prodleva
ISCM.....	Integrovaný monitoring stavu rozvodného zařízení (Integrated Substation Condition Monitoring)
BCM.....	Monitor stavu vypínače (Breaker condition monitor)
ACM.....	Automatický centrální monitoring stavu zařízení vvn a zvn

1 Technické řešení vypínačů vvn; pohled do historie i aktuální konstrukční přístupy

Prolog:

„Co je to výkonový vypínač? Proč ho potřebujeme, k čemu nám slouží...?“ :

Výkonové vypínače jsou klíčové pro bezpečný provoz elektrické sítě. Jsou nezbytné při výrobě elektřiny v elektrárnách, v rozvodnách a přenosových vedeních, kde spínají vysoké výkony. Jsou neméně důležitou součástí distribučních sítí, kde spínají vysoké proudy a řídí tok a distribuci el. energie.

Výkonový vypínač, bez ohledu na jeho pozici v el. síti, má dva úkoly: je zodpovědný za každodenní spínání linek při běžném provozu a odpojení elektrického napájení v případě přetížení nebo zkratu. Několik GVA výkonu musí být vypínačem „zkroceno“ za zlomek sekundy. Pokud by se to nepovedlo, síť zkolabuje ve zkratu.

Nelze opomenout blesk jakožto přírodní jev, který způsobuje krátkodobé proudy 60-100 kA při značných přepětích. Vypínač musí být schopen tomuto zatížení odolat a zkratový proud této velikosti velice rychle přerušit.

To je velice stručně význam tohoto jediného zařízení, na jehož vývoj byly během posledních 100 let vynaloženy celosvětově desítky miliard dolarů. Část těchto nákladů si vyžádal vývoj důmyslných pohonů těžkých kovových kontaktů s důrazem na jejich rychlost a spolehlivost, ale převážná část vývojových nákladů byla vynaložena na nelehký úkol řízení a zhášení elektrického oblouku.

Elektrický oblouk má obrovskou energii: v objemu menším než jeden litr může jeho teplota překročit 50.000 °C při tlaku až 100 MPa.

Za léta vývoje a provozu vypínačů byla vyzkoušena a použita řada zhášecích médií jako voda, olej, tlakový vzduch a inertní (elektronegativní) plyn, které měli odvést tuto obrovskou energii a uhasit oblouk.

Postupem času se došlo k závěru, že intenzivní teplo z oblouku lze rozptýlit buďto do proudu plynu, který vznikl vaporizací vnitřního prostředí (jako výsledek tvorby oblouku), nebo prostřednictvím plynu pod vysokým tlakem.[1]

No a budoucnost? Snad vakuum...

1.1 Rekapitulace historického vývoje vypínačů vvn

Jak již bylo předesláno v úvodu, práce je soustředěna na vypínače velmi vysokého napětí, což podmínkách ČR historicky představuje napěťovou hladinu 110 (100) kV, později též 220 a 400kV.

Začátek historie těchto zařízení u nás je spjat s projektem prvního dálkového vedení 100 kV z elektrárny Ervěnice do transformovny Praha Sever Holešovice, jež bylo uvedeno do provozu společně s elektrárnou v roce 1926. (Toto vedení s délkou 84,5 km a průřezem $2 \times 3 \times 95 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ je dodnes v provozu prakticky v původním rozsahu včetně původních vodičů a izolátorů.) První zde nasazené vypínače byli vypínače kotlové. [2]

1.1.1 Kotlové olejové vypínače

První vypínače tohoto typu pocházejí ze začátku 19. století. Jejich „zlatý věk“ byl v letech 1920 – 1930. Pracují tak, že využívají zplodiny vzniklé tepelným rozkladem oleje v oblouku k urychlení deionizačních pochodů mezi oddalujícími se kontakty.

Rozdělujeme je na „klasické olejové vypínače“ s volným zhášením oblouku v oleji a na „kotlové vypínače se zhášedly“ se zhášením oblouku s využitím různých principů olejových komor a trysek. [3]

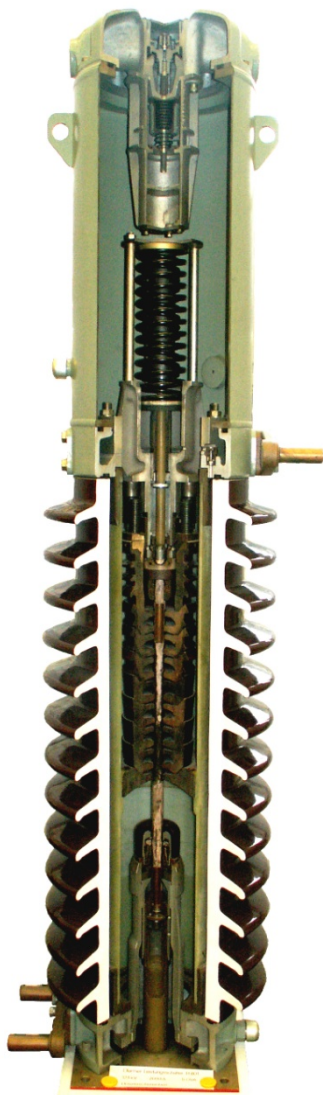
V zemích s dostatkem levné ropy (USA, SSSR), se vyráběli až do 70. let minulého století. A přestože se v dnešní době již s tímto typem vypínače v Evropě neseťkáte, v Mongolsku stále ještě tvoří páteř přenosové sítě. [4]



Obr. 1: Olejové kotlové vypínače 220 kV v rozvodně v Mongolsku; převzato z [4]

1.1.2 Máloolejové vypínače

Vypínače s malým množstvím oleje (máloolejové) byli až do nedávné doby vůbec nepoužívanější typ vypínačů v energetice. Hlavní období jejich výroby spadá do let 1960 - 1990.



Oproti kotlovým vypínačům měli řadu výhod, z nichž nejdůležitější byla vyšší požární bezpečnost a lepší schopnost vypínání blízkých zkratů (malá závislost na strmosti zotaveného napětí). Z hlediska údržby a servisu se jednalo také o značný pokrok. Množství olejové náplně kleslo oproti kotlovým vypínačům zhruba o řád.

Různých modifikací byla vyvinuta celá řada, z nich je důležité zmínit tři odlišná provedení zhášecí komory:

- Pružná zhášecí komora (viz. obr. 2) s postupným plynulým rozpínáním plynů a jejich unikem mezi jednotlivými články zhášedla.
- Pevná zhášecí komora s prudkým poklesem tlaku plynů zhruba v polovině délky komory.
- Pevná zhášecí komora s nuceným prouděním oleje v příčném směru.

Zdvih pohyblivého kontaktu byl poměrně velký a činil např. u vypínače 220kV z produkce ČKD 760mm. [5]

V současnosti je jich v sítích 110kV stále značné množství v provozu i když jsou postupně nahrazovány novými vypínači s plynem SF₆.

Obr. 2: Zhášecí komora máloolejového vypínače 123 kV v řezu; foto Siemens Berlín

1.1.3 Expanzní vypínače

Vzhledem k tomu, že klasické olejové spínače byli náchylné k explozi a následnému požáru, firma Siemens vyvinula expanzní vypínače s vodou jako zhášecím médiem. První vypínač tohoto typu byl dodán do veřejné utility v Hamburku již v roce 1930.

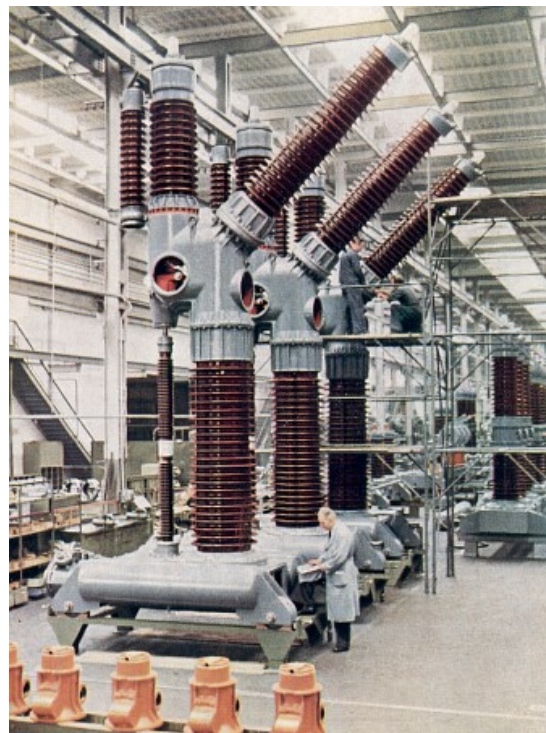
Elektrická pevnost vody je totiž velmi dobrá, plně porovnatelná s pevností oleje.

Napětí však nesmí působit delší dobu, jinak i velmi malý prosakující proud vodu zahřeje a v místě jeho největší hustoty dojde k vytvoření řetězce mikroskopických bublinek. Podél tohoto řetězce pak dojde k průrazu. Z tohoto důvodu bylo nutné zařadit k vypínači do série další vypínací kontakty, které nebyli pod vodou.

Oddělení spínacích kontaktů probíhalo v tlakové komoře, která byla naplněná vodou. Oblouk generoval v této komoře, silný nárůst tlaku při odpařování a rozkladu vody. Když opouštěl pohyblivý kontakt tlakovou komoru, byla zde silná expanze plynu, který uhasil oblouk.

Hlavní období výroby těchto vypínačů spadalo do let 1935 – 1960. V dnešní době jsou již zastaralé a jen těžko bychom je našli někde v provozu. [4]

Přes nehořlavost vody tyto vypínače nevyklučovali explosivnost, protože pracovali se směsí vodíku a kyslíku. [3]



Obr. 3: Expanzní vypínače Siemens, $U_n=200kV$; fotografie z jejich výroby je z roku 1952; převzato od Siemens AG

1.1.4 Tlakovzdušné vypínače

Průkopníkem řešení těchto vypínačů se stala v Evropě firma AEG. Ta již v roce 1936 dodala do rozvodny Praha-Jih několik těchto vypínačů se jmenovitým napětím 100kV.

Chlazení a zhášení oblouku se provádí stlačeným vzduchem o pracovním přetlaku 2 MPa, později u některých řešení až 6,3 MPa.

Různých provedení byla opět vyvinuta celá řada. Jedním hlediskem je provedení zhášecí komory vypínačů:

- Vypínače s otevřenými zhášedly, kde zhášení probíhá účinkem tlak. vzduchu, ale na volném ovzduší (vypínač s volným obloukem).
- Vypínače s uzavřenou zhášecí komorou, buď s izolačním porcelánovým pláštěm (viz obr. 4) nebo s kovovým pláštěm a průchodkou. [5]



Hlavní produkční období spadalo do let 1940 – 1980. Tlakovzdušné vypínače se vyráběli ve velkých objemech produkce pro všechna napětí od 6 do 400kV. Pro vyšší napětí se provádělo řazení zhášecích komor do série, zpravidla s paralelním řídicím kondenzátorem. [4]

I přes používání různých tlumičů byli vypínače při funkci poměrně hlučné. Jejich největší nevýhoda oproti dnešním vypínačům SF₆, byla náročná, drahá údržba a to byl také jeden z hlavních důvodů ukončení jejich výroby.

V ČR je jich v provozu posledních několik kusů a i ty budou jistě brzy nahrazeny novými vypínači SF₆.

Obr. 4 : Tlakovzdušný vypínač ŠKODA, ty 11VVR 220kV (se 4mi zhášedly); foto JAVYS 2011

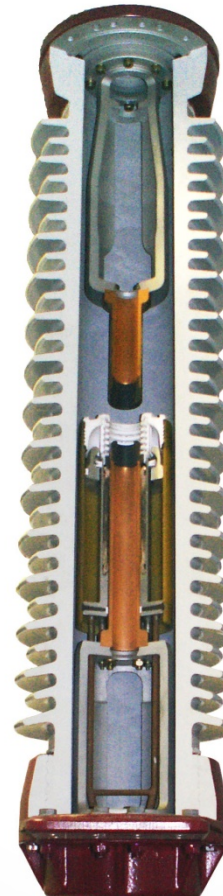
1.1.5 Plynové vypínače (SF₆)

Tento typ vypínačů bude dál podrobněji popsán v dalších kapitolách, zde se pouze krátce zmíníme o historii:

Historie těchto vypínačů je úzce spjata s vynálezem a výrobou elektronegativního plynu SF₆. Tento plyn byl objeven v roce 1900. Po dlouhých letech výzkumu jeho fyzikálních a chemických vlastností byl prvně použit pro vysokonapěťové aplikace v roce 1937. Jeho širší použití bylo možné až po zvládnutí jeho velkopřmyslové výroby v USA v roce 1948. První nasazení plynu SF₆ jako zhášecího média ve vypínačích je známé od 60. let minulého století (Westinghouse).[6] Následně se prakticky ověřilo, že tento tehdy nový a poměrně drahý izolační plyn je ideální pro zhášení oblouku, zejména u vypínačů VVN.

Firma Siemens představila svůj první vypínač s plynem SF₆ v roce 1964.

Obr. 5: Řez zhášecí komorou SF₆ vypínače 123 kV; provedení „ puffer type“; foto Siemens Berlín



Zhášecí komory tlakoplynových vypínačů s SF₆ byly z počátku vyvíjeny jako tzv. dvojtaké u nichž byl tlakový rozdíl ve zhášedle (cca 2MPa) a vně zhášedla (cca 0,4MPa) udržován kompresorem. Vzhledem k provozním potížím a velké složitosti tohoto řešení byl následně vyvinut systém jednotlaký (tzv. „puffer type“), kde potřebný tlakový rozdíl ve zhášedle obstarává píst spojený s kontaktním ústrojím (viz. obr.5).[5] Tyto vypínače mají poměrně velké požadavky na výkon a provedení pohonu, který musí kromě základní ovládací funkce pohybu kontaktů zajistit i natlakování kompresní zhášecí komory pomocí pístu.

Tento problém vyřešila až myšlenka využití energie hořícího oblouku k „samonatlakování“ kompresní zhášecí komory. Výroba vypínačů v provedení „self-blast“ se datuje od 80. let a je zatím nejmodernějším provedením zhášecí komory vypínačů.[7]

Vypínače s plynem SF₆ tak díky svým vynikajícím vlastnostem a nízkými nároky na údržbu postupně vytlačili z trhu ostatní typy vypínačů a v dnešní době jednoznačně dominují.

1.2 Aktuální konstrukční řešení

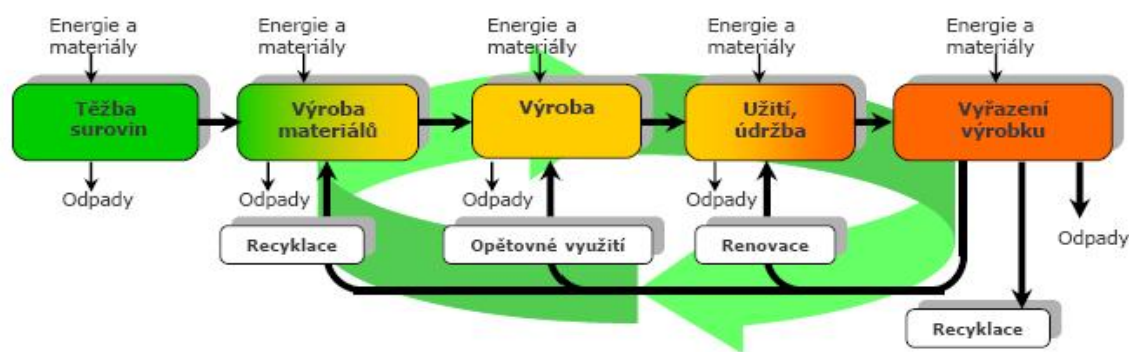
V současné době se jednoznačně dominuje konstrukční řešení vypínačů vvn s plynem SF₆ se zhášecí komorou typu „self-blast“ v kombinaci s elektrickým pohonem s pružinovým střadačem energie. Důvodů proč je tomu tak je opravdu mnoho a není zde prostor vytvářet rozsáhlý přehled. Ale zkusme se na problematiku podívat z hlediska konečných uživatelů a provést „jejich pohledem“ stručné hodnocení kladů a záporů. Jedno pro a jedno proti.

Pak nám vychází tyto dva základní parametry:

- **Pro:** *Nízké náklady na provoz a údržbu*

Pro naprostou většinu provozovatelů je právě tento argument rozhodující, neboť tento parametr výrazně snižuje celkové náklady na provoz a údržbu po dobu životnosti přístroje, které u některých starších typů překračovali počáteční pořizovací náklady.

Hodnocení tohoto parametru [8] je komplexně řešeno v rámci norem ISO 14040. Jedná se o části: užití, údržba a vyřazení výrobku v metodě posuzování životního cyklu - Life-cycle assessment (LCA).

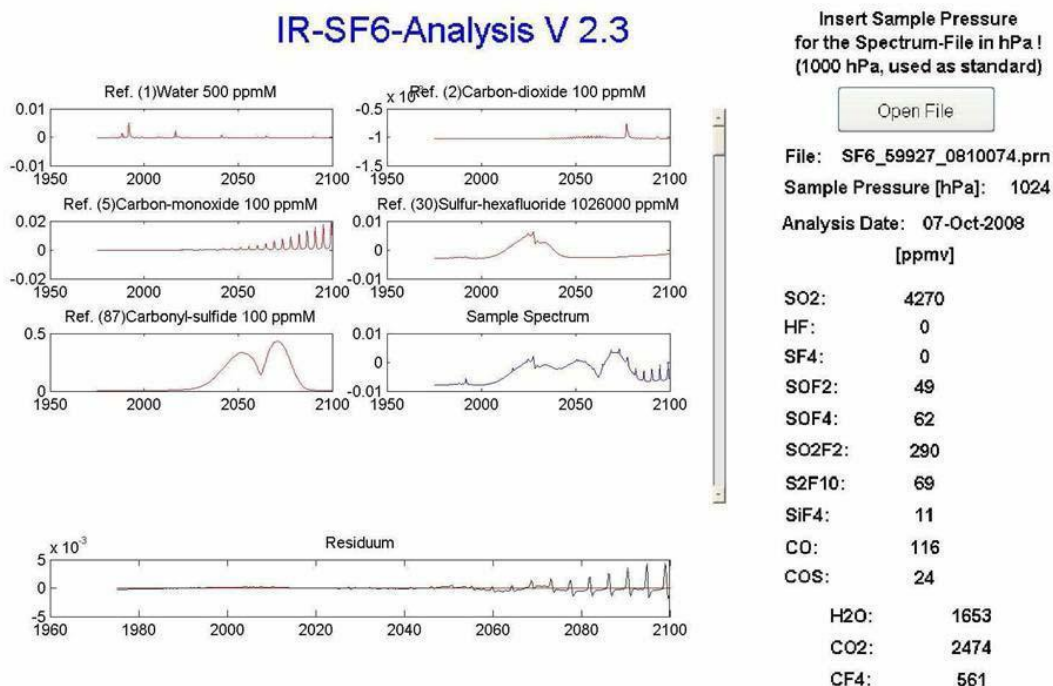


Obr. 6: Grafické znázornění životního cyklu vypínače (obecně produktu). (zdroj: [9])

• **Proti:** *Plynová náplň SF₆*

Plyn SF₆ je hodnocen jako silný skleníkový plyn a je zařazen mezi kontrolované látky podle Kjótského protokolu. Potenciál jeho molekul absorbovat infračervené záření unikající ze zemského povrchu je ve srovnání s nejvíce medializovaným oxidem uhličitým až 22 200x větší. Fluorid sírový má navíc díky své chemické inertnosti velmi dlouhou životnost.

Přestože je tento plyn ve své čisté podobě netoxický, při provozu vznikají za určitých podmínek působením el. oblouku rozkladné produkty, které ji často toxické jsou.



Obr. 7: Příklad naměřených hodnot z analýzy znečištěného a toxického plynu SF₆ odebraného z problematického přístroje vvn (zdroj: [10])

1.3 Možnosti budoucího vývoje

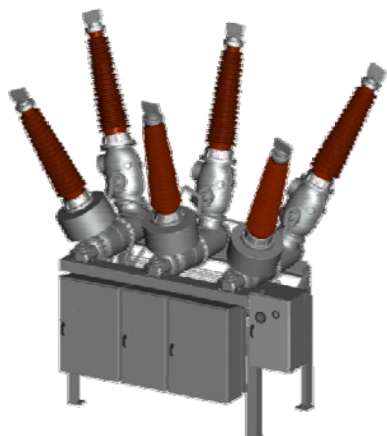
Možný směr, kam se vývoj vypínačů vvn bude dále ubírat je vakuum.

Na mezinárodním veletrhu HANNOVER MESSE v roce 2011 Siemens představil vakuový vypínač v projektové studii s vakuovým zhášedlem na napětí 145 kV. Tím dokázal, že vakuová technologie se nemusí zastavit na úrovni 52 kV, ale je proveditelné její nasazení i v sítích velmi vysokého napětí. Prototyp vakuového vypínače 72,5 kV již prošel kompletní řadou typových zkoušek v souladu s aktuální verzí IEC 62271-100 a některé vypínače z této prototypové série již byli instalovány do rozvodných sítí pro úspěšné dokončení praktických studií. [11]

Na vývoji vakuových zhášecích komor pro vvn sítě pracuje firma Siemens již řadu let. Důkazem je příspěvek na mezinárodním zasedání CIGRE 2002 v Paříži, kde byli prezentovány praktické zkušenosti ze zkoušek vakuových zhášedel 84kV/40kA. Zde se ukázal větší potenciál v počtu vypnutí zkratových proudů a to až 10-ti násobek oproti současným vypínačům SF₆. Také nároky na pohon těchto vypínačů jako je rychlost, zdvih kontaktů a s tím související energie pohonu, jsou podstatně nižší a dávají možnost budoucího vývoje alternativních pohonů. [12]



Obr. 8: Vakuová zhášecí komora 145kV; foto Berlín 2012



Zcela jistě se začínají více prosazovat vypínače v hybridním provedení (obr. 9), tzv. „Dead Tank Compact“, které již integrují v jednom celku i odpojovače, uzemňovače a měřící transformátory proudu. [13]

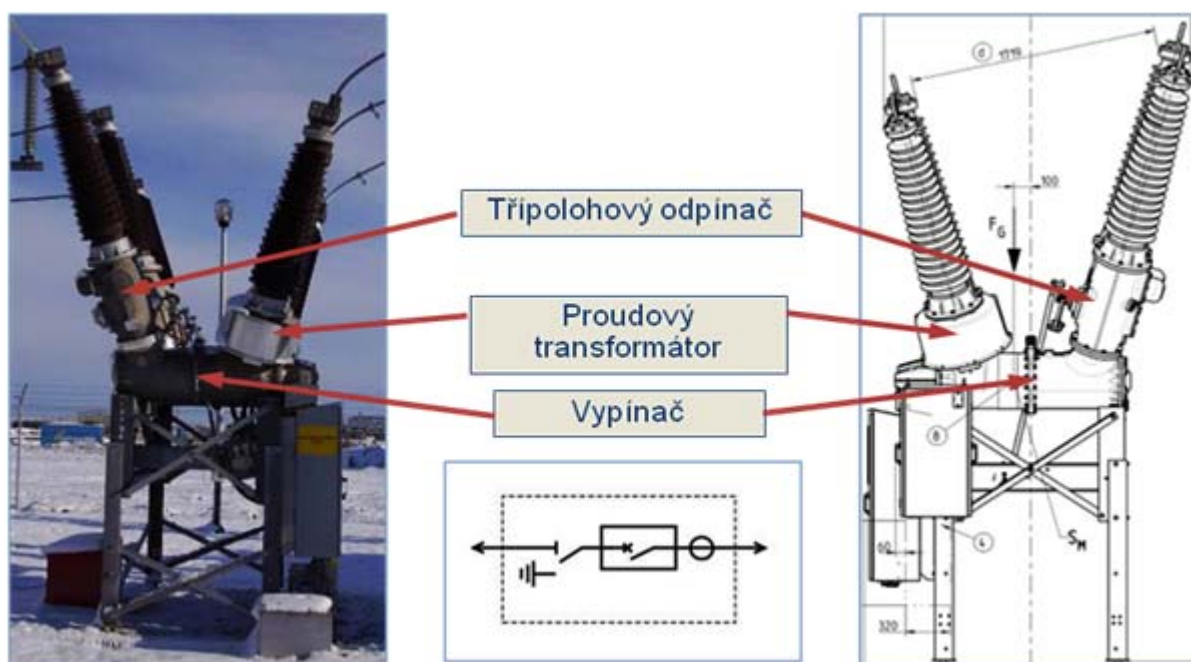
Obr. 9: Vypínač Siemens 123kV DTC v hybridním provedení [13]

2 Specifika konstrukčního řešení současných vypínačů vvn firmy Siemens [13]

2.1 Dva základní typy konstrukčního řešení vypínačů

Firma Siemens je v současné době špičkou na světovém trhu vypínačů vvn. Nové vvn vypínače Siemens splňují vysoké požadavky na náklady na životní cyklus při maximální použitelnosti a trvalém ekonomickém provozu. V první řadě mají na zřeteli měřítko jako hospodárnost, bezpečnost, spolehlivost a upotřebitelnost. Vysoká kvalita je zajištěna optimalizovanými výrobními procesy, stálým vývojem produktů a certifikovaným řízením jakosti. Vyznačují se rychlým uvedením do provozu.

Ve společnosti se vyrábí dvě základní provedení plynových vypínačů SF₆. Odlišují se umístěním (polohou) zhášecí komory a dělíme je na vypínače typu „dead tank“ a na vypínače typu „live tank“.



Obr. 10: Vypínač Siemens 123kV v hybridním provedení „Dead Tank Compact“ [13]

2.1.1 Konstrukce vypínače typu „dead tank“

Příznačnou vlastností provedení vypínače „Dead-Tank“ je umístění jednotky zhášedla v kovovém pouzdře, které je uzemněno a proto se označuje jako „dead“ neboli „mrtvé“.

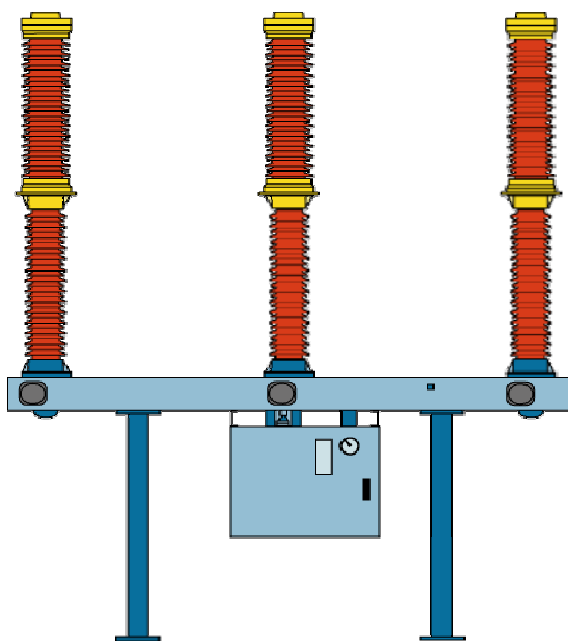
Při tomto uspořádání tvoří izolaci mezi proudovou dráhou zhášedla a kovovým pouzdem plyn SF₆. Připojení vypínače do sítě je realizováno přes venkovní průchodky.

Shrnutí základních charakteristik (předností) vypínače v provedení „Dead Tank“:

- Kovově krytá zhášecí jednotka (uzemněné pouzdro)
- Vysoké vypínací proudy (až do 63 kA s jedním zhášedlem)
- Větší množství zhášecího plynu SF₆
- Není zde povrchová cesta přes zhášecí jednotku
- Nízké statické zatížení základů
- Nízko položené těžiště přístroje a z toho plynoucí vyšší seizmická odolnost
- Toroidní transformátory proudu v pouzdech kompaktní konstrukce
- Možnost vybavení topným systémem pro nízkoteplotní aplikace

2.1.2 Konstrukce vypínače typu „live tank“

U vypínačů „Live-Tank“ je jednotka zhášedla umístěna v izolátorovém plášti. Materiál tohoto pláště může být v provedení z porcelánu nebo z kompozitu se skleněným vláknem. Jednotka zhášedla se nachází na elektrickém potenciálu, je tedy „live“ neboli „živá“. Napěťová hladina, pro kterou jsou tyto vypínače určeny, vychází z průrazné vzdálenosti izolátoru jak zhášecí komory, tak také z průrazné vzdálenosti podpěrného izolátoru pólového sloupce.

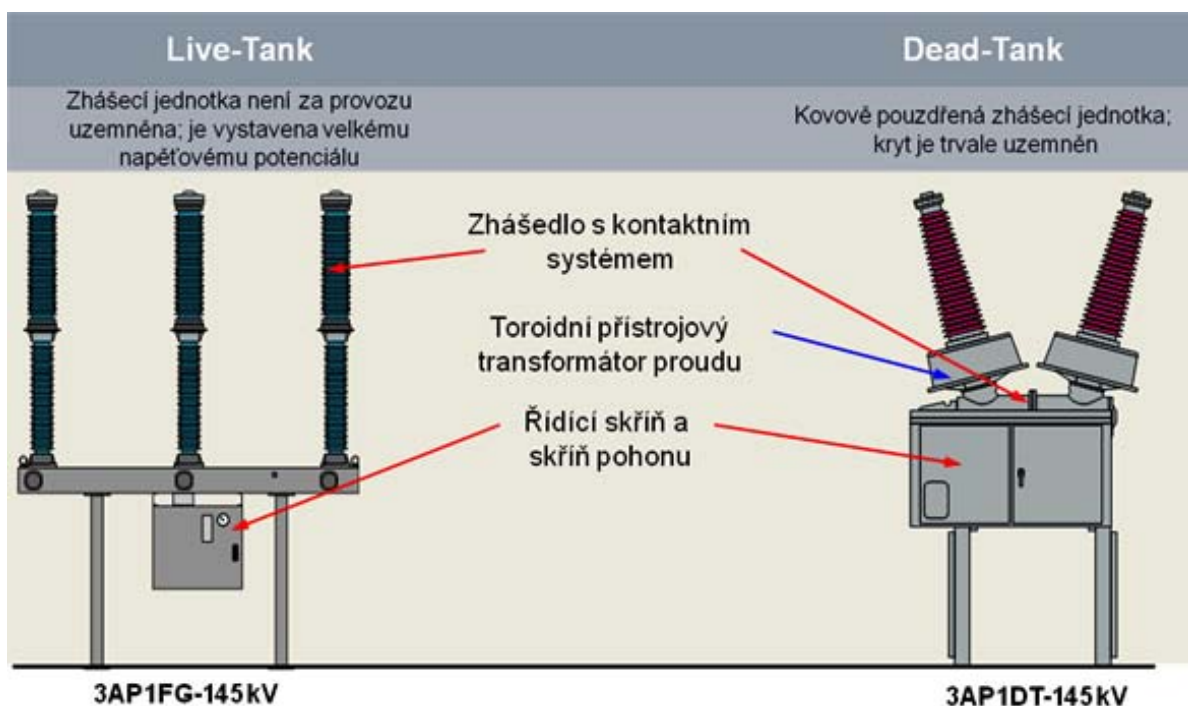


Obr. 11: Vypínač Siemens 3APIFG-123kV[13]



Obr. 12: Vypínač Siemens 3APIFI-245kV.

2.1.3 Vizuální porovnání vypínačů v provedení „live tank“ a „dead tank“



Obr. 13: Srovnání konstrukce vypínačů v provedení „Live tank“ X „Dead tank“ [13]

2.2 Dvě konstrukční řešení zhášecích komor vypínačů SF₆

Přestože již v roce 1973 výzkumné oddělení firmy Siemens vyvinulo zhášecí komoru typu „self blast“, trvalo dalších cca 25 let, než byla zahájena ve firmě výroba těchto moderních zhášedel. Silně konzervativní přístup se zde firmě vyplatil a léty osvědčená konstrukce zhášecí komory typu „puffer type“ si ještě dnes drží některé zákazníky. Společnost tak měla dostatek času, aby doslova „vypiplala k dokonalosti“ nová zhášedla a k nim také nové pohony. Vypínače s novou zhášecí komorou typu „self blast“ dnes jednoznačně dominují a tvoří cca 97% veškeré produkce vvn vypínačů.

Porovnáním staršího a novějšího provedení zhášecí komory tlakoplynových vypínačů SF₆ je vidět, že v obou případech jsou zhášedla hermeticky oddělena od okolního prostředí a uložena v tlakovém izolačním pouzdru naplněném plynem SF₆ na provozní přetlak ~ 0,6 MPa.

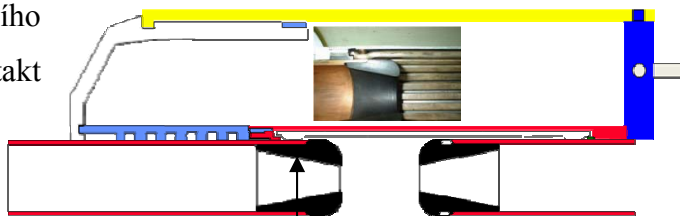
Zatímco uložení zhášedel je řešeno téměř totožně, vlastní vnitřní uspořádání se podle vypínacího procesu odlišuje.

2.2.1 Vypínací proces ve starší zhášecí komoře typu „puffer type“

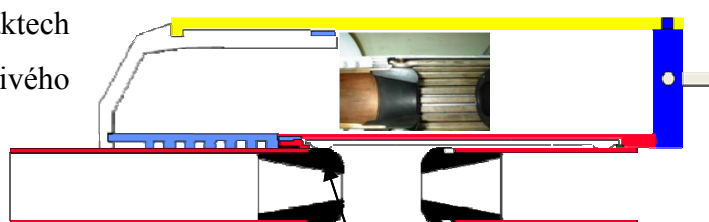
Prostorové řešení zhášedla je zřejmé z řezu zhášecí komory na obr. 5 v odstavci 1.1.5. na

straně 13. Vypínací proces zhášecí jednotky lze rozdělit na 4 úseky z hlediska polohy pohyblivého kontaktu a tomu odpovídajícímu druhu kontaktního styku:

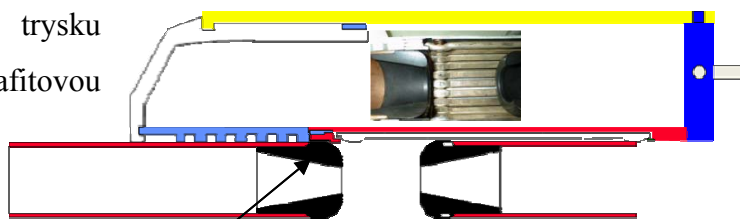
1.úsek: Na začátku vypínacího pochodu se pohybuje pohyblivý kontakt společně s tlakovým válcem a mřížkou směrem k pevnému tlakovému pístu. Začíná komprese zhášecího plynu. Proud prochází přes kontakty s povrchem „stříbro – stříbro“



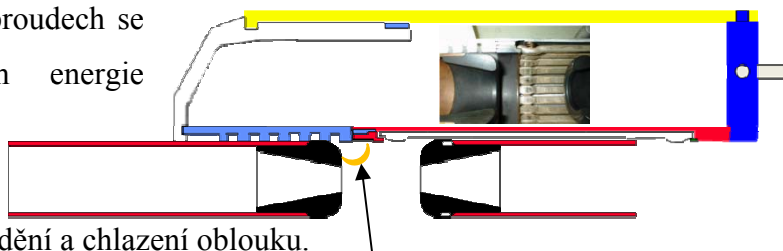
2.úsek: Po pevných kontaktech pokračuje posuvný pohyb pohyblivého kontaktu společně s tlakovým válcem a mřížkou směrem k pevnému tlakovému pístu. Pokračuje komprese plynu. Proud nyní prochází přes povrchy „stříbro – grafit“.



3.úsek: Dál pokračuje posuvný pohyb pohyblivého kontaktu a tlakového válce s mřížkou k pevnému tlakovému pístu. Komprese plynu se blíží k vrcholu. Proud je nyní převáděn přes grafitovou opalovací trysku pevného kontaktu a přes grafitovou výstelku opalovacího kroužku, jež je součástí pohyblivého kontaktu; tedy přes povrchy „grafit – grafit“.

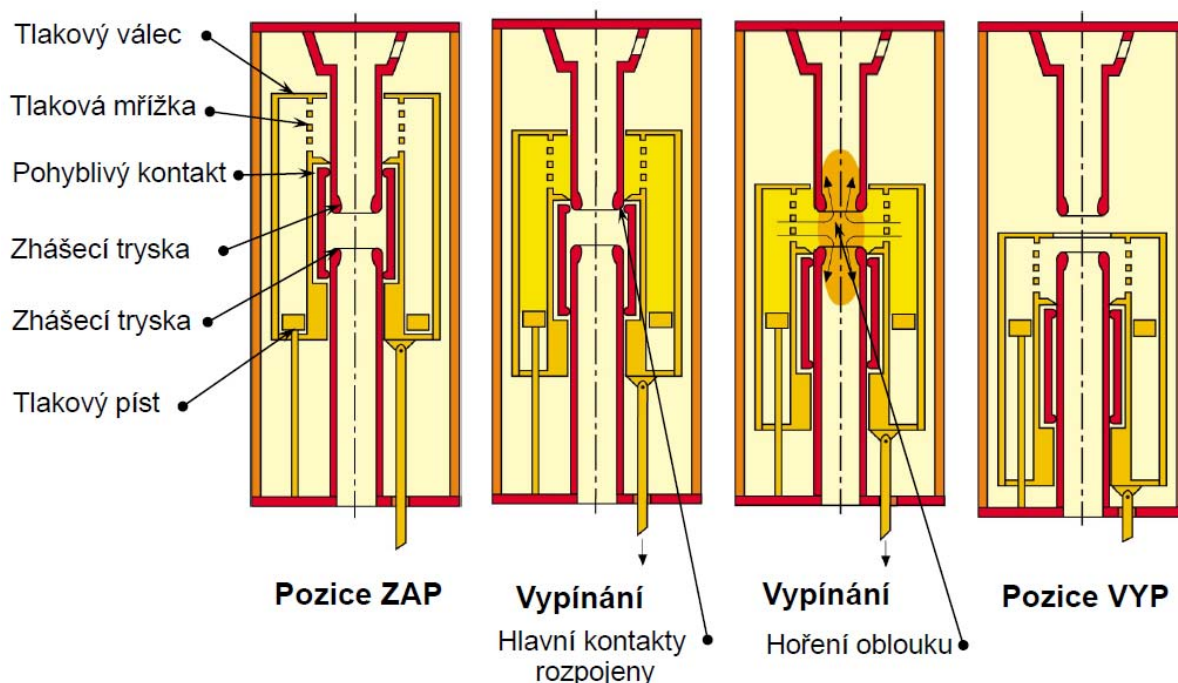


4.úsek: Pohyb pohyblivého kontaktu a tlakového válce s mřížkou je v závěrečné fázi a mezi kontakty, jež se od sebe vzdalují, hoří oblouk. Stlačený plyn proudí přes mřížku do grafitových trysek a zháší oblouk. Dielektrická pevnost mezi kontakty se rychle obnovuje. Při vysokých vypínaných proudech se plyn zahřeje působením energie oblouku a ještě zvýší tlak plynu v místě a tím přispívá k účinnějšímu proudění a chlazení oblouku.



Úseky 2. a 3. se nazývají „oblast nejistého kontaktního (kovového) styku“. Ve 3. úseku již značně stoupá přechodový odpor a začínají první předzápaly následného oblouku.

Celý vypínací proces zhášecí jednotky je velice přehledně znázorněn na obr. 14.



Obr. 14: „Puffer type“ kompresní zhášecí komora vypínače Siemens - princip zhášení.[13]

2.2.2 Vypínací proces v novější zhášecí komoře typu „self blast“

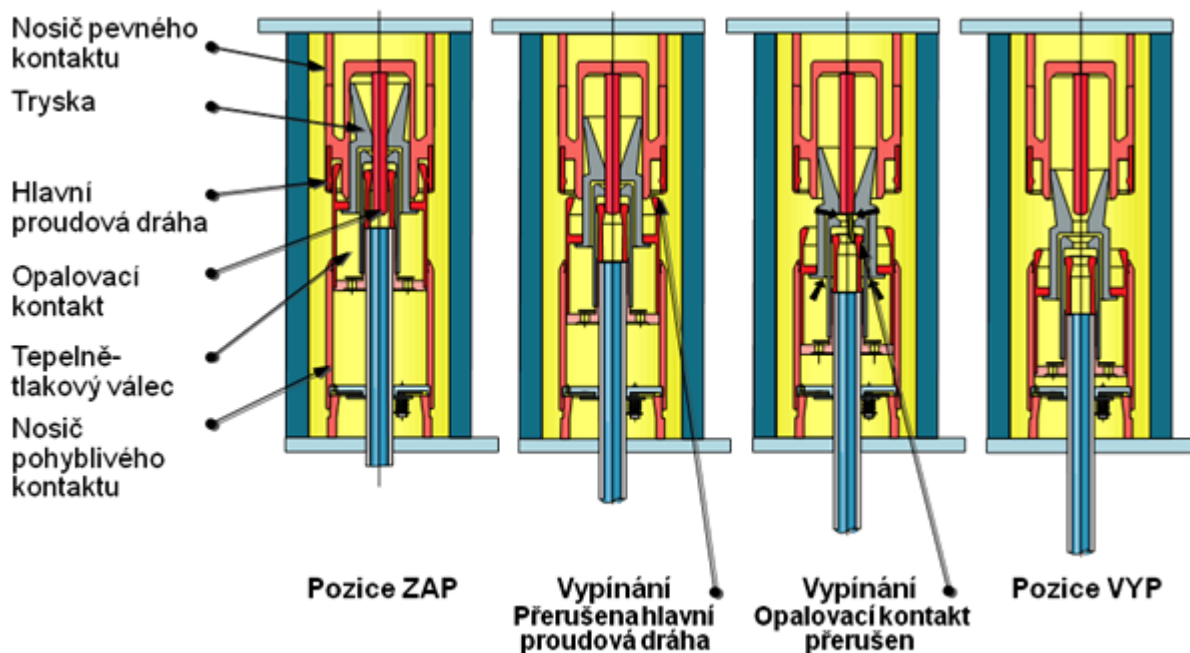
Konstrukční řešení zhášedla je velmi dobře patrné z názorného reálného výukového demonstračního modelu vypínače vvn Siemens, typ 3AP1FI 123kV – viz kapitola 4.

Soustředíme se tedy na vlastní zhášecí proces:

Vypínací proces zhášecí jednotky je znázorněn na obr. 15. Při vypínacím pochodu se nejdříve rozpojí hlavní kontaktní lamely pevného kontakty od pohyblivého kontaktu na tepelně-tlakovém válci. Opalovací kontakt tvořený kontaktním kolíkem zůstává sepnutý, takže proud komutuje na opalovacím kontaktu.

V průběhu další operace se rozpojí opalovací kontakt, čím vznikne oblouk. Tepelně-tlakový válec se současně pohybuje směrem dolů a stlačuje zhášecí plyn v prostoru mezi pístem a dnem tlakového válce. V důsledku toho začne proudit zhášecí plyn v opačném směru než je směr pohybu pohyblivých částí kontaktu – přes zpětný ventil do tepelně-tlakového válce a mezerou mezi trubkovým kontaktem a zhášecí tryskou a uhasí oblouk.

Při velkých zkratových proudech se zhášecí plyn v prostoru mezi opalovacími kontakty zahřeje působením energie oblouku a pod vysokým tlakem se vhání do tepelně-tlakového válce = „self blast“ princip. V pásnu průchodu proudu nulou proudí plyn zpět z tepelně-tlakového válce do trysky a uhasí oblouk. Zpětný ventil v tepelně-tlakovém válci přitom zabraňuje přepuštění vysokého tlaku plynu do kompresního prostoru mezi pístem a dnem tlakového válce.



Obr. 15: Self blast („samo-kompresní“) zhášecí komora vypínače Siemens - princip zhášení. [13]

2.3 Dva typy užívaných pohonů ve vypínačích SF₆

Nástup nových zhášecích komor typu „self blast“ umožnil podstatně snížit nároky na velikost síly potřebné pro pohyb kontaktů vypínače. Díky tomu se mohlo bez problémů přejít od silných pohonů s hydraulickým válcem a pístem na nové pohony, které využívají pouze sílu vyvinutou pružinami.

Nároky na pohon vypínače vycházejí také z požadavku současné platné normy ČSN EN IEC62271-100. [14] Zde je uvedena jedna ze jmenovitých charakteristik vypínače: Jmenovitý sled spínání.

Pro vypínače vvn jde o následující sekvenci:

O – t – CO – t' – CO (VYP – 0,3s – ZAP-VYP – 3min – ZAP-VYP)

O – představuje vypnutí

CO – představuje zapnutí bezprostředně (bez časové prodlevy) následované vypnutím

Vypínače určené pro rychlé opětné zapínání (tj. v sítích vvn prakticky všechny) mají standardní hodnoty: $t = 0,3\text{s}$ (tzv. bezproudá doba) a $t' = 3\text{ min}$.

Tedy je zřejmé, že pohon za normálního stavu musí mít „nastřádáno“ dostatek energie a musí být schopný vykonat s vypínačem cyklus O – t – CO (nazývaný „zapnutí do zkratu“ nebo taky „neúspěšný OZ“) za $\sim 0,4\text{ s}$, přičemž například jmenovitá hodnota pro samotný cyklus CO u vypínače 3AP1FI 420kV je $60 \pm 10\text{ ms}$.

Jen pro ilustraci: pohon vypínače 420kV musí při povelu VYP v časovém úseku $\sim 35\text{ ms}$ zvládnout rozjezd na rychlost $\sim 9\text{ m/s}$ a okamžité zabrzdění, to vše na dráze dlouhé 150 mm! Z toho je vidět, že na pohony vypínačů jsou kladeny opravdu vysoké nároky.

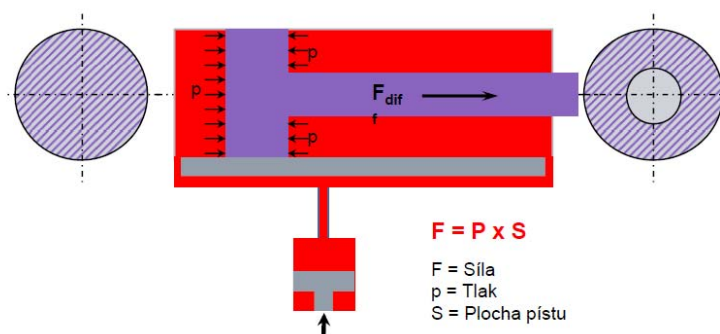
2.3.1 Popis funkce staršího typu hydraulického pohonu s hydraulicko-plynovým střádačem energie

Hydraulický pohon za má za normálního provozního stavu v akumulátoru energie hydraulický olej pod tlakem $\sim 33\text{ MPa}$. Třípólové operaci ZAP odpovídá spotřeba tlaku oleje z akumulátoru (pokles tlaku) $\sim 0,6\text{ MPa}$ a operaci VYP odpovídá spotřeba $\sim 1,8\text{ MPa}$.

Zapnutí vypínače:

Pomocí elektromagnetu zapínací cívky je přes ovládací ventil přiveden tlak oleje do hlavního ventilu, který se zavře. To způsobí, že se vysoký tlak oleje z akumulátoru energie dostane na obě strany diferenciálního pístu. Síla na straně větší plochy pístu je větší – viz ilustrační obrázek, a píst přes spojovací a izolační tyče zapne kontakty v komoře vypínače.

Pohon je navržen tak, aby i v případě poklesu tlaku byla kontaktní poloha vypínače zachována.



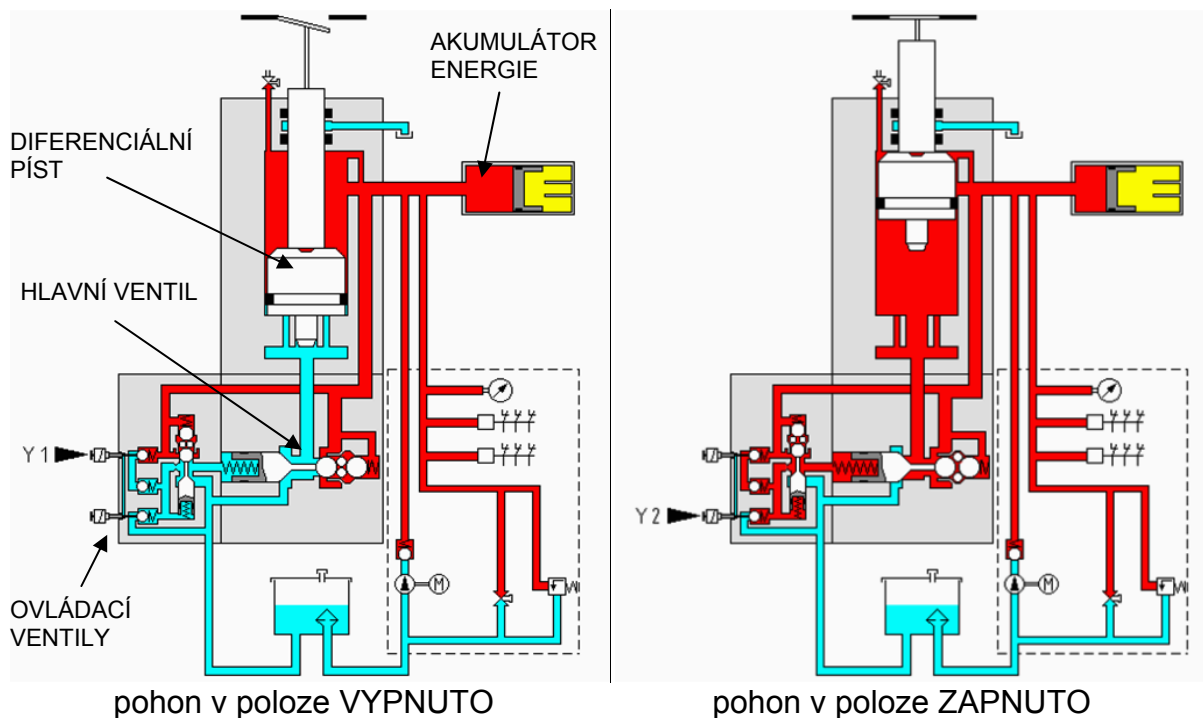
Obr. 16: Principiální schéma diferenciálního pístu

Vypnutí vypínače:

Pomocí elektromagnetu vypínací cívky je přes ovládací ventil vypuštěn tlak oleje z hlavního ventilu z opačné strany, který se otevře. Tím se uvolní tlak na větší ze dvou ploch

diferenciálního pístu a píst se přesune do otevřené polohy, opět díky rozdílu tlaku na jednotlivých stranách pístu. Vypínač je připraven provést tuto operaci vždy.

Vypínače jsou standardně vybaveny dvěma galvanicky oddělenými vypínacími obvody. Jeden solenoid je jako hlavní - ovládací a druhý solenoid je jako záložní pro vypínání poruch při působení ochran.



Obr. 17: Schéma hydraulického pohonu vypínače s grafickým znázorněním prostorů hydraulických obvodů s **vysokým tlakem** (cca 320 bar) a **nízkým tlakem** (1 bar).[13]

2.3.2 Popis funkce novějšího typu pružinového pohonu s pružinovým střádačem energie

Podrobný popis funkce je poměrně obsáhlý, a proto se zde soustředíme jen na to nejdůležitější:

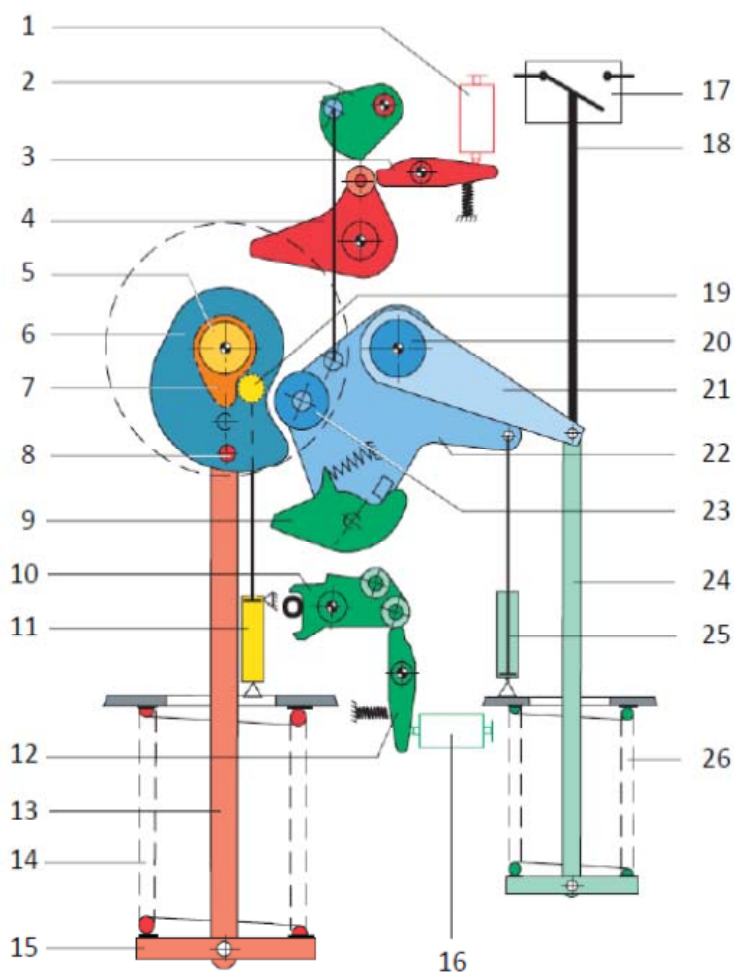
První spuštění:

Zapínací (14) a vypínací (26) pružiny jsou uvolněné; vypínač je ve vypnuté poloze.

Pro natažení zapínací pružiny je přiveden proud na motor, který přes pastorek začne točit napínacím soukolím (čárkovaně), až odaretuje dopravní západku a připne se hlavní hnací hřídel (5). Pokračujícím točivým pohybem napínacího soukolí dojde přes ojnici (13) a talíř (15) k natažení zapínací pružiny (14). Po dosažení horní úvrati dojde k mechanickému odpojení napínacího soukolí, které je dál volnoběžné. Motor je vzápětí vypnut mechanickým koncovým vypínačem. Zapínací pružina je natažena pro první zapnutí.

Zapínání:

Po přivedení proudu na zapínací cívku (1) následuje uvolnění západky (4) přes západkovou páku (3) z opěrného válečku (8) a tím se uvolní kotoučová vačka (6). Zapínací pružina (14) tahem dolů otáčí přes hnací hřídel (5) kotoučovou vačkou (6). Přitom se po kotoučové vačce (6) odvaluje váleček (23) řídicí kulisy (22) a přenáší pohyb přes spínací páku (21) na spínací táhlo (18).



Obr. 18: Schéma pružinového strádačového pohonu.

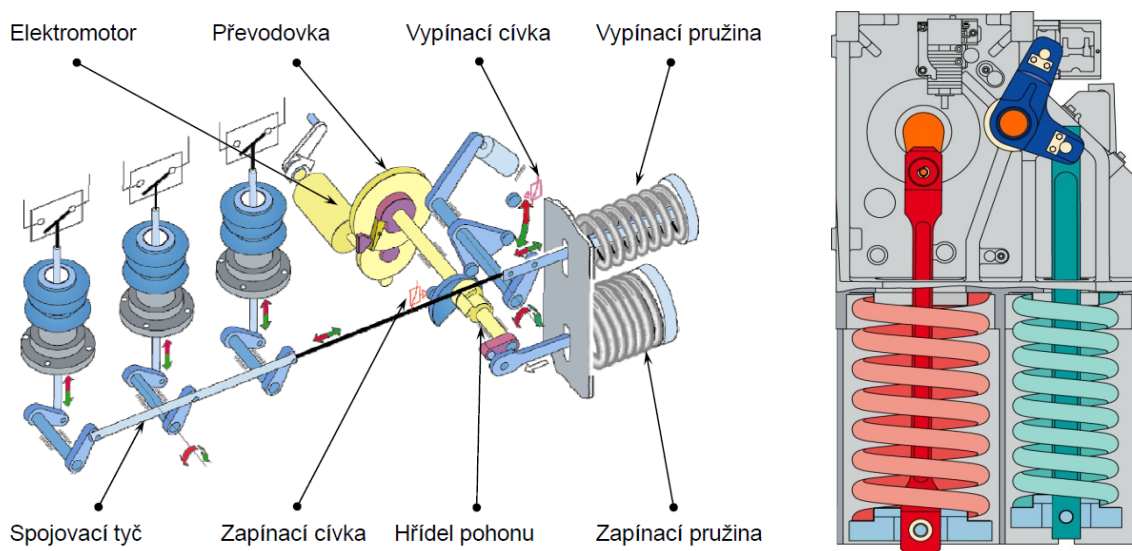
Silou zapínací pružiny, přenesenou přes táhla, je zhášecí jednotka vypínače (17) sepnuta. Současně je přes ojnici (24) natažena vypínací pružina (26). Na konci pohybu se zaklesne vypínací západka (9) za čep západky (10) a zároveň vačka (7) se přesune po kladce (19) a předá zbytek kinetické energie na zapínací tlumič (11). Vypínač je nyní zablokovan západkami (12) a (10) v poloze ZAP.

Paralelně se zapínacím procesem se zapne motor a provede opětovné natažení zapínací pružiny. Nyní je vypínač ve standardním provozním stavu a je připraven na cyklus O-t-CO.

Vypínání:

Zapůsobením vypínacího solenoidu (16) se přes západky (12) a (10) uvolní vypínací západka (9). Nato vypínací pružina (26) přes ojnici (24) uvede do polohy VYP řídicí kulisu (22), a přes spínací páku (21) a táhla je zhašecí jednotka vypínače (17) vypnuta. Kinetickou energii na konci zachytí vypínací tlumič (25). Energie pro další operaci CO je ještě uložena v zapínací pružině a není tedy nutno spouštět motor. Následující spínací procesy jsou už jen opakováním předešlých.

Další představu o funkci pružinového pohonu lze získat z přehledového obrázku níže.



Obr. 19: Prostorové principiální schéma pružinového střadačového pohonu vypínače Siemens; vpravo je názorné uspořádání pružin ve skříni pohonu. [13]

Poznámka:

Z hlediska náročnosti údržby je rozdíl mezi pohony značný. Zatímco hydraulický střadačový pohon vyžaduje provést minimálně každých 12 let údržbu většího rozsahu spojenou s výměnou hydraulického oleje a některých těsnění, tak pružinový střadačový pohon lze opravu označit za téměř bezúdržbový („maintenance free“).

3 Současné možnosti diagnostiky vypínačů vvn

Diagnostika (od řeckého *diagnosis* – určení stavu) je prostředek k zjišťování – určení stavu daného zařízení. V našem případě jde o sledování života vypínače, o tzv. provozní diagnostiku. Diagnostika se provádí na vypínači, který se nachází v provozuschopném stavu a v normálních podmínkách.[15]

Diagnostikou vypínače rozumíme soubor kontrol, zkoušek a měření, kterým se ověřuje, zda jmenovité hodnoty vypínače jsou v mezích daných předpisem výrobce.

3.1 Diagnostika vypínačů v provedení „off – line“

Diagnostika vypínačů off-line se provádí za beznapětového stavu a na zajištěném zařízení v místě jeho normálního provozu. Jde o diagnostiku, která je prováděná odborným technickým pracovníkem ovládajícím manuálně diagnostická zařízení nebo řídicím automatickým diagnostickým systémem. Součástí diagnostiky vypínačů jsou také rozšíření vizuální kontroly, založené na odbornosti a určitých zkušenostech pracovníků.

Základní předpoklady pro provádění diagnostických měření můžeme rozdělit na dvě části:

potřeba zkušeného technika specialisty s patřičným „know-how“ pro správné provádění diagnostických měření a relevantní zpracování a vyhodnocení naměřených hodnot

potřeba kvalitního přístrojového vybavení pro vlastní měření vvn vypínačů.

Na základě zaznamenaných hodnot jsou zpracovány příslušné zkušební protokoly o provedené diagnostice a následně provedeno vlastní vyhodnocení stavu zařízení.

Nejčastěji se porovnávají naměřené hodnoty s hodnotami uvedenými v protokolu o kusové zkoušce nového vypínače s přihlédnutím k odchylkám vznikajícím vlastním provozem vypínače.

3.1.1 Hodnotící kritéria pro provedení diagnostiky vypínače vvn [13]

Standardní součástí provozních manuálů od výrobců vypínačů vvn, jsou jasně stanovené časové nebo provozní (zátěžové) intervaly, kdy je nutno zařízení zkontrolovat (případně provést údržbu).

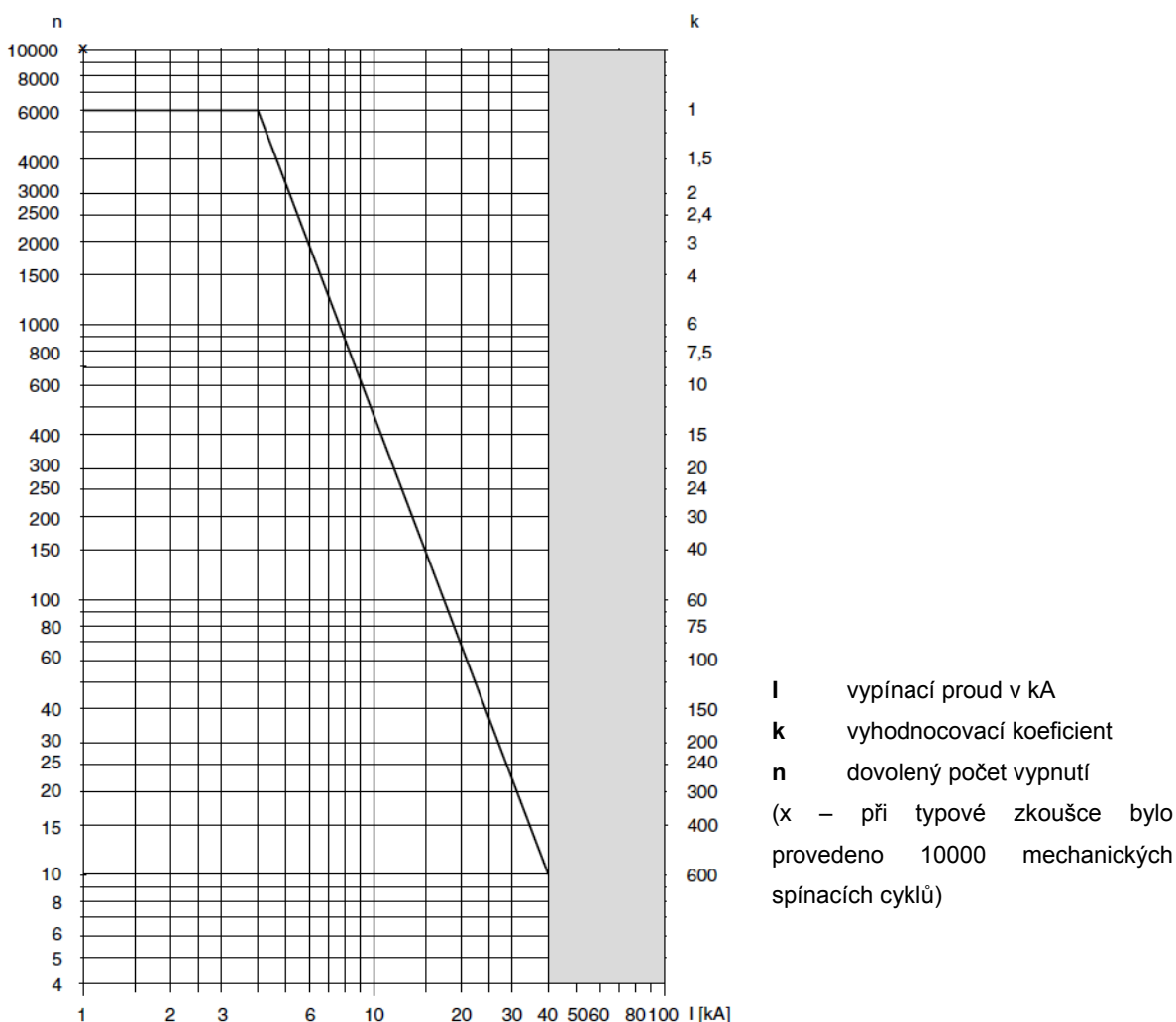
3.1.1.1 Prvé kritérium:

Jedním z vyhodnocovacích kritérií je výpočet "zbytkové" vypínací schopnosti, tj. výpočet počtu vypnutí při dané velikosti proudu, který je vypínač ještě schopen vypnout, než bude nezbytné provést diagnostickou kontrolu, případně revizi.

Diagram pro výpočet dovoleného počtu vypnutí bývá uveden provozním manuálem k vypínači.

Jako příklad uvádím diagram k vypínači 3AP1FG – 123kV:

V diagramu na obr.20 je znázorněna závislost mezi vypínacím proudem (I) a maximálním počtem sepnutí (n). Diagram je vztažen k jednomu pólu vypínače.



Obr. 20: Diagram dovoleného počtu vypnutí v závislosti na vypínaném proudu

Jelikož se v praktickém provozu často většinou vypínané proudy mezi sebou liší, ulehčuje nám výpočet přípustného počtu vypnutí vyhodnocovací koeficient.

Rovnice pro výpočet počtu přípustných vypnutí je následující:

$$n_x = \frac{6000 - \sum_{i=1}^m (n_i \times k_i)}{k_x}$$

kde: k_i vyhodnocovací koeficient pro vypínací proud I

k_x vyhodnocovací koeficient pro vypínací proud I_x

n_i počet dosud provedených vypínání při vypínacím proudu I

n_x počet přípustných zbývajících vypnutí při vypínacím proudu I_x

Příklad výpočtu: (známe předcházející zatížení, což se přibližně rovná opotřebením zhášedla)

Vypínač vvn se jmenovitým vypínacím proudem 40kA provedl 350 vypnutí s vypínacím proudem $\leq 1,5$ kA a dále také 2 vypnutí s proudem 25 kA.

Kolik vypnutí při předpokládaném proudu 30 kA je schopen ještě vypínač bez problémů udělat?

$$n_{30} = \frac{6000 - (n_{1,5} \times k_{1,5} + n_{25} \times k_{25})}{k_{30}} = \frac{6000 - (350 \times 1 + 2 \times 170)}{275} = 19,3$$

Výsledek: Vypínač je schopen ještě 19x provést vypnutí proudu 30kA.

3.1.1.2 Druhé kritérium:

Dalším hodnotícím kritériem kdy přistoupit k diagnostice vypínače je časový interval. Pro SF₆ vypínače Siemens výrobce stanovuje lhůtu každých 12 let.

3.1.1.3 Třetí kritérium:

Posledním a neméně důležitým kritériem pro stanovení zahájení diagnostiky je také potřeba kontroly stavu vypínače po mimořádné události, pro zjištění nebo po odstranění provozní poruchy, při zjištěných anomáliích během provozu a obecně při jakýchkoliv pochybnostech o bezvadném stavu vypínače.

3.1.2 Sledované provozní parametry vypínačů vvn

Zde opět záleží na konkrétním typu vypínače, ale obecně lze uvést jako dostatečný tento rozsah diagnostických kontrol a měření:

Diagnostika zaměřená na celý vypínač:

- Kontrola počtu operací VYP-ZAP (CO)
- Kontrola počtu vypínání zkratových proudů
- Výpočet Σ počtu výkonových operací
- Měření statického odporu nebo úbytku hlavní proudové dráhy
- Měření dynamického odporu proudové dráhy s vyhodnocením kontaktního styku hlavních kontaktů pro převod jm. proudu.
- Měření digitálních časů vypínače při jm. tlaku SF₆, při jm. ovládacím napětí, pro operace ZAP (C), VYP(O), ZAP-VYP (CO) a VYP-0,3s-ZAP-VYP (O-t-CO)
- Měření působení tlumičů v pohonu – měření pohybu
- Kontrola stavu tlumičů (počet manipulací, únik hydraulického oleje)
- Pohledová kontrola pohonu - stav, těsnost
- Kontrola zapínacího a vypínacího mechanismu, kontrola funkce a opotřebení
- Kontrola funkce VYP, měření vypínací doby (1. vypínací cívka VYP-Hlavní) a měření současnosti pólů a komor se spínači pomocných obvodů (SPO)
- Kontrola funkce VYP, měření vypínací doby (2. vypínací cívka VYP-Záložní) a měření současnosti pólů a komor spolu se spínači pomocných obvodů (SPO)
- Kontrola funkce ZAP, měření zapínací doby (zapínací cívka) a měření současnosti pólů a komor spolu se spínači pomocných obvodů (SPO)

Ukázka grafického výstupu z těchto měření pomocí vypínačového testeru je přiložena na konci práce v **Příloze A**

- Kontrola funkce ZAP-VYP a měření doby styku kontaktů
- Kontrola funkce upřednostnění VYP, ochrana proti „pumpování“
- Kontrola vlhkosti (rosného bodu) plynové náplně SF₆
- Kontrola kvality SF₆ - procentuální čistota plynu SF₆
- Kontrola plynu na rozkladné produkty – měření koncentrace SO₂ v plynu SF₆
- Vyhodnocení těsnosti podle záznamů počtu doplňování, kontrola těsnosti pomocí detektoru SF₆
- Kontrola tlaku SF₆ ve vypínači pomocí přídavného manometru
- Kontrola nastavení densostatů (densosat je hlídač hustoty SF₆ vybavený spínači), kontrola blokování funkce vypínače.
- Měření odporu R_c a izolačního stavu R_{iz} ovládacích cívek
- Kontrola funkce antikondenzačního vytápění
- Kontrola přítomnosti ovládacího a pomocného napětí

- Kontrola sekundárních obvodů s návazností na místní a dálkovou signalizaci

Pokud si to okolnosti vyžadují, přistupuje se k vizuální kontrole kontaktního systému. Tomu předchází odsátí plynu SF₆ z vypínače a jeho zkapalnění do připravené tlakové nádoby (láhve). U vypínačů Siemens se standardně provádí kontrola bez demontáže porcelánového pláště zhašecí kontroly. Provede se demontáž, vytažení a prohlídka pevného kontaktu. Po této kontrole je třeba vyměnit demontovaná těsnění a filtrační náplň ve vypínači.

Po uzavření pólu následuje vakuování a na závěr opětovné naplnění odsátým (nebo novým) plynem SF₆ na jmenovitý pracovní tlak.

Názorná ukázka dokumentace z takovéto kontroly je uvedena na konci práce v **Příloze B**

Nedílnou součástí každé takové diagnostiky vypínače je její vyhodnocení, zpracování protokolu a závěrečné zprávy o stavu vypínače s prognózou do budoucna.

3.2 Diagnostika vypínačů v provedení „on – line“

„On-line“ diagnostika vypínačů se provádí za běžného provozu vypínače, který je samozřejmě pod napětím. Z toho se odvíjí možnosti a povaha této diagnostiky. Jedná se zpravidla o počítačem řízené sledování vybraných parametrů stavu zařízení, tedy o tzv. „on-line monitoring“ zařízení. Pokud tento monitoring odhalí (diagnostikuje) nějaký problém, přistupuje se buďto rovnou k opravě vypínače nebo je naplánována a provedena diagnostika „off-line“ s návrhem na další postup.

3.2.1 Automatický centrální monitoring stavu zařízení vvn a zvn – systém ACM (ČEPS)

„On-line“ diagnostika vypínačů je zde ve své podstatě „on-line“ monitoring těchto zařízení. Ve společnosti ČEPS v rámci projektu s podporou Ministerstva průmyslu a obchodu ČR s evidenčním číslem: 2A-2TP1/051 s názvem „Zvyšování spolehlivosti sítě prostřednictvím automatického centrálního monitoringu stavu zařízení PS eSADA – TID“ jehož hlavními řešiteli byli: Čeps a.s.; VUT Brno; EGU HV Laboratory a.s.; Siemens s.r.o.; ZČU Plzeň a EG - Expert, s.r.o. byl v letech 2002 – 2011 vybudován také systém ACM. [16]

V systému ACM jsou pro monitorování vypínačů v provozu tyto expertní moduly:

Název modulu: Popis funkce:

PRURAZ	= odhalení průrazů při vypínání vypínačů, a to i rozlišení vícenásobných průrazů
VPROUD	= výpočet vypínaného proudu vypínačem a výpočet $\Sigma I^2 t$
PREP	= určení namáhání dočasnými přepětími
FEROR	= odhalení stavů rezonancí a ferorezonancí
PREST	= odhalení předzápalů vypínačů
ZKRAT	= určení namáhání průchozím zkratovým proudem
QMCAS	= odhalení větší než povolené nesoučasnosti pólů při spínání
ASYNCHRON	= odhalení nesynchronního spínání vypínačů, které je namáhá vysokými proudy a přepětími

Počátkem 2011 začal systém ACM počítat i tzv. „index zdraví“ vypínačů založený na jejich stáří, aktuálním stavu, provozní historii, technologickém typu, zatěžování a opravitelnosti.[17]

Značná výhoda celého systému je, že je téměř výhradně softwarově postavený a využívá k získávání dat již instalovaná zařízení (měřicí přístrojové transformátory proudu a napětí a další...) bez nutnosti rozsáhlejší instalace dalších přídavných hardwarových zařízení (snímače, senzory, detektory, atd...). Celý systém je nyní v etapě komplexního vyhodnocení výsledků generovaných systémem a průběžně se jeho výsledky ověřují.

3.2.2 Integrovaný monitoring stavu rozvodného zařízení – systém ISCM (Siemens)

Společnost Siemens vyvinula komplexní monitoring stavu celé rozvodné sítě vvn – systém ISCM (Integrated Substation Condition Monitoring). ISCM obsahuje celou řadu modulů, včetně příslušných hardwarových komponent a je modulárně rozšiřitelný. [18] Jeho součástí je také on-line monitoring vypínačů vvn. Jednou z možností je instalace zařízení s názvem „monitoring stavu vypínače“, systém BCM (Breaker condition monitor).



Obr. 21: řídicí jednotka BCM monitoringu vypínače

System obsahuje hardwarové komponenty (řídící jednotku, snímače pohybu, polohy, teploty, hustoty SF₆, tlaku hydraulického oleje, přístrojové měřící transformátory proudu a napětí)

Řídící jednotka koncentruje získaná data a standardním protokolem je přes rozhraní RS485 posílá na server, kde je potřebný software vyhodnocuje.

„On-line“ monitoring je schopen zjišťovat tyto parametry vypínače:

- Hustotu plynu SF₆
- Řídící napětí a napětí na solenoidech
- Chod motoru a rychlost
- Čas chodu motoru (čas natažení pružin / nabíjecí čas)
- Počet startů čerpadla (monitoring vnitřní netěsnosti hydraulického systému)
- Tlak oleje u vypínačů s hydraulikou
- Digitální signalizace (zapnutí, zablokování vypínače, signální přepínač)
- Čas spínacích operací
- Součet proudu (I²t) a/nebo monitoring teploty
- Měření teploty v řídící skříni a/nebo v pohonu
- Měření proudů cívek ZAP, VYP1 a VYP2
- Měření proudu motoru
- Monitoring klidového proudu

Řídící jednotka BCM1 obsahuje i „samo-kontrolní“ obvody (tzv. Watchdog) a tím monitoruje a kontroluje i sama sebe.

Veškerá získaná data je možno dál zpracovávat a vyhodnocovat včetně implementace do řídicích systémů rozvoden.

4 Vytvoření názorného reálného výukového demonstračního modelu struktury a funkce vypínače vvn Siemens, typ 3AP1FI 123kV

Pro vytvoření tohoto modelu jsem se nechal inspirovat podobnými reálnými modely vnitřního uspořádání zhášecích komor vypínačů, které jsou vystaveny v Tréninkovém centru výrobního závodu Siemens v Berlíně.

Měl jsem dispozici kompletní pól vypínače typu 3AP1FI 123kV, který byl provozován jen několik let a poté byl z důvodu vnějšího poškození pohonu vyřazen z provozu a demontován. Vlastní zhášecí komora vypínačem nebyla havárií v rozvodně dotčena a podařilo se mi ji uchovat pro následující účel. Zde bych chtěl nyní velmi stručně popsat a zdokumentovat vlastní realizaci a výsledek mého snažení.

4.1 Výroba modelu

4.1.1 Demontáž zhášecí komory pro vytvoření řezů

Pro zhotovení řezů bylo nutno pól vypínače demontovat na jednotlivé podsestavy. Nejprve bylo provedeno oddělení zhášecí komory od spodní části. Od spodní části byla demontována převodovka (obsahující také ucpávku SF₆) přenášející pohyb z táhla od pohonu na izolační táhlo ke komoře. Ze zhášecí komory – předmět našeho zájmu – byl postupně demontován horní pevný kontakt a spodní pohyblivý kontakt. Nyní jsme měli připraveny jednotlivé podsestavy pro model:

- porcelánový plášť zhášecí komory
- pevný kontakt vč. horní příruby a připojovacího praporce
- pohyblivý kontakt vč. mezipříruby
- izolační táhlo vč. spojovacích čepů
- převodovka s ucpávkou SF₆

Takto připravené součásti bylo teď nutno obrobít.

4.1.2 Obrábění jednotlivých součástí

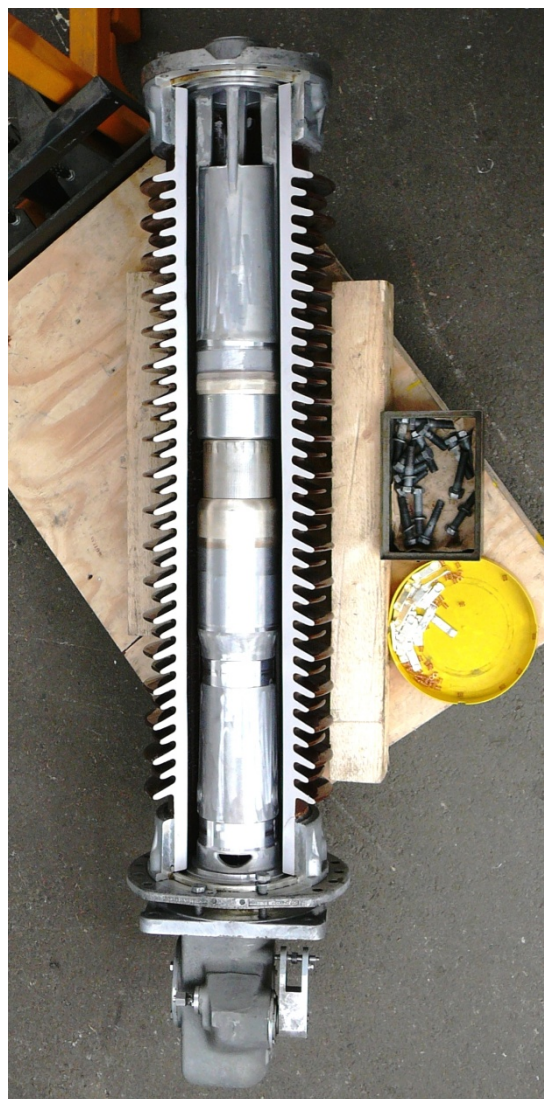
První těžký úkol představovali dva podélné řezy na porcelánovém plášti komory. V úvahu přicházeli dvě možné technologie: řezání vodním paprskem nebo vodou chlazeným diamantovým kotoučem. První technologii jsme museli opustit, jelikož řezací vodní hlava by obtížně kopírovala povrch porcelánu a vysoký tlak vody (130MPa) by neměl kam unikat a porcelán by uvnitř poškodil a možná i úplně rozbil.

Po náročných jednáních s firmami, které disponují zařízením na řezání diamantovým kotoučem pod vodou (nikoho příliš nezajímala malá jednorázová zakázka a ještě k tomu na nevyzkoušeném materiálu), nám řezy provedla firma zabývající se výrobou a montáží náhrobních kamenů.

Po vyříznutí porcelánu jsme provedli zkušební sestavení komory (obr. 22) a provedli jsme naznačený požadovaných řezů na kontaktním ústrojí.

Další velký úkol představovalo provedení řezů a odfrézování nepotřebného materiálu. Tohoto se velmi dobře zhostil odborník na obrábění, pan Frána ve své provozovně v Třemošné, kam jsme kontaktní ústrojí převezli.

Zkrácení izolačního táhla jsme zvládli běžným ručním nářadím (pilka, vrtačka).



Obr. 22: Mezioperační sestavení zhášecí komory před obráběním kontaktního ústrojí.

4.1.3 Sestavení modelu a umístění na stojan

Před vlastním sestavením modelu bylo nutné všechny součásti vyčistit a předem smontovat jednotlivé podsestavy.

Takto připravené součásti jsme postupně sestavili zpět do celkové sestavy zhášecí komory.

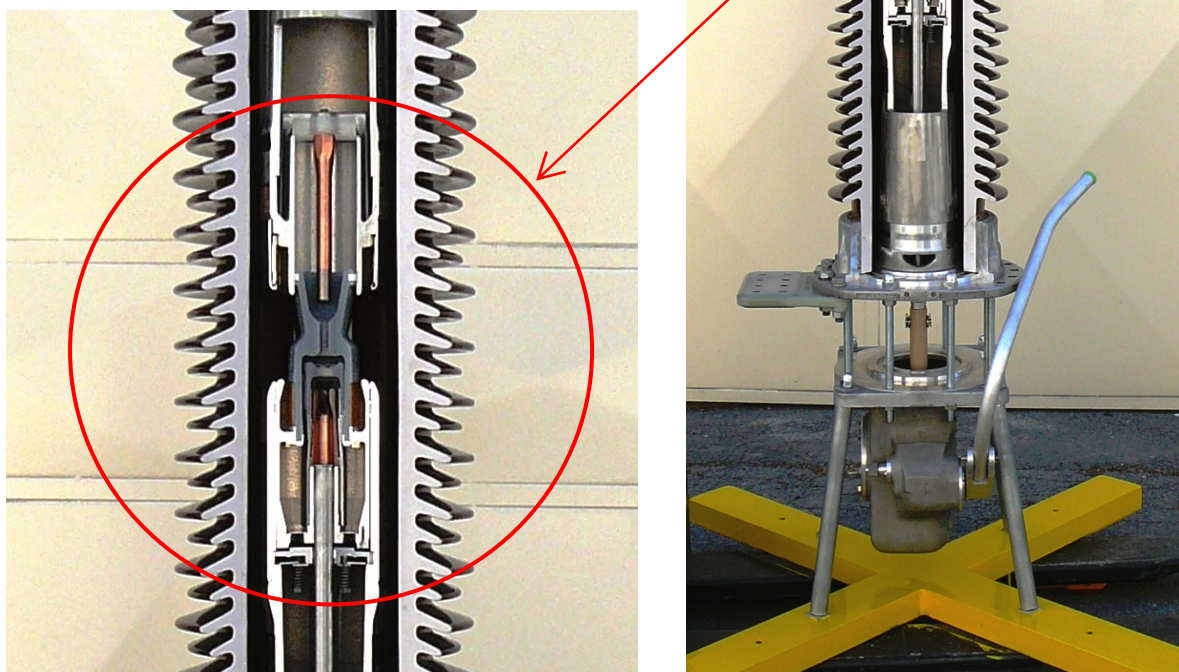
Pro komoru bylo nutné vyrobit odpovídající podstavec, který by zajistil její stabilitu ve svislé (pracovní) poloze. S výhodou jsme použili již nevyužívaný podstavec, který byl kdysi používán na zvýšení stability montážních stoliček pro revize vypínačů z bývalé produkce Škoda. Stojan jsme na koncích zkrátili na potřebnou délku a vyvrtali otvory pro přišroubování převodovky a rozříznuté zhášecí komory.

Na připevnění jsme použili závitové tyče M16 a příslušné matice. Takto celkově sestavený model jsme nakonec vyčistili a podstavec opatřili novým nátěrem.

4.2 Výsledný model

Zde nejlépe o výsledku vypovídá následující fotografie – obr. 23.

Model je pohyblivý a pomocí páky (na fotografii vpravo dole) lze posouvat s pohyblivým kontaktem a tak velmi detailně pozorovat jednotlivé polohy všech součástí zhášecí komory během spínacích operací.



Obr. 23: Výsledný názorný demonstrační model struktury a funkce zhášecí komory vypínače vvn Siemens, typ 3APIFI 123kV

Závěr

Vypínače vvn byli a jsou z historického hlediska obrazem stavu vědní a technické úrovně elektrotechnického oboru v daném období. Dá se o nich říci, že to jsou „hi-tech“ zařízení, tvořící technologickou špičku vvn zařízení a historie jejich vývoje a výroby je velmi zajímavá a poučná.

Společnost Siemens tvoří pověstnou špičku v oboru výroby vvn vypínačů. O tom se pravidelně přesvědčujeme a myslím, že kapitola 2 této práce je toho částečně důkazem.

Vyrobený názorný demonstrační model struktury a funkce zhášecí komory vypínače vvn Siemens, typ 3AP1FI 123kV je velmi zdařilý a splňuje vše, co od něj bylo očekáváno – tedy názornost a funkčnost při zachování jeho autentičnosti.

V práci dále zmíněná diagnostická měření a hlavně jejich správné vyhodnocení nám říkají, jak často a v jakém rozsahu je nutno provádět následnou údržbu, revize a opravy těchto vypínačů. Lze tedy ustoupit od častých pravidelných údržbových prací spojených s preventivní výměnou některých součástí, což je dosti nákladné. Potřebnost či nepotřebnost a rozsah údržbových prací je možno stanovit až na základě výsledků diagnostických zkoušek a měření. Tím lze ušetřit nemalé náklady.

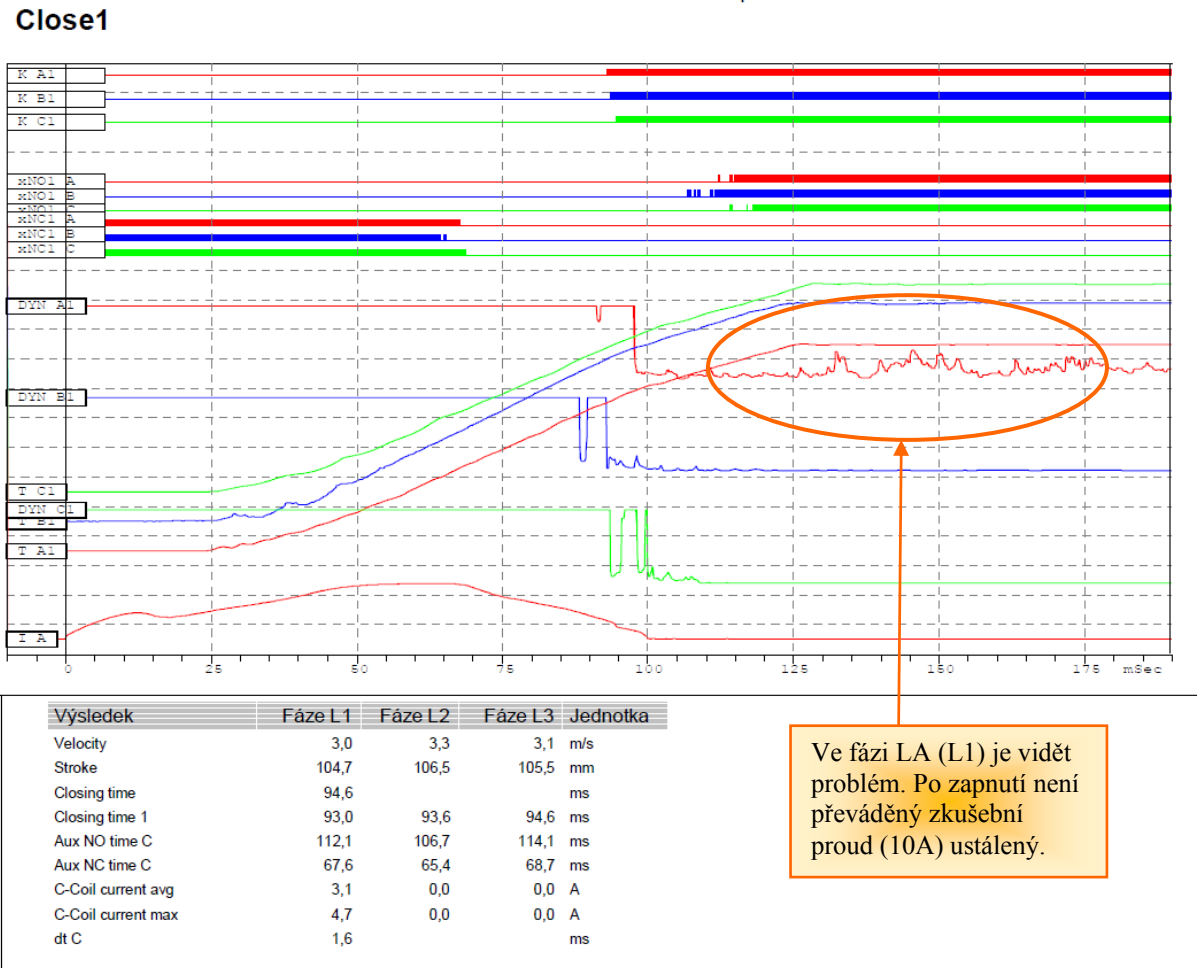
Na základě získaných zkušeností je třeba zdůraznit, že „on-line“ diagnostické systémy nemůžou zcela nahradit standardní „off-line“ diagnostické metody. Metody se vhodně navzájem doplňují a nedá se jednoznačně říci, která je lepší. Jisté ale je, že ještě žádné diagnostické zařízení nedokázalo ve všech ohledech plně nahradit zatím nejdokonalejší diagnostický systém, kterým je lidské oko...

Použitá literatura

- [1] Pinnekamp, F.: *ABB Review 1/2007*, Group R&D and Technology Zürich, Switzerland
- [2] Internetové stránky Pražské energetiky, a.s. : <http://www.pre.cz/pre/nase-spolecnost/vice-o-pre/historie>
- [3] Havelka, O. a kol. : *Elektrické přístroje*, SNTL Nakladatelství technické literatury, Praha 1985
- [4] Energie-Museum Berlin: <http://www.energie-museum.de/>
- [5] Bárta, K., Vostracký, Z. : *Spínací přístroje velmi vysokého napětí*, SNTL Nakladatelství technické literatury, Praha 1983
- [6] Koch, D.: *SF6 properties, and use in MV and HV switchgear*, Technická publikace č. 188/p.3; Schneider Electric 2003.
- [7] Sedláček, J.: *Stacionární a dynamické napěťové namáhání vypínačů vn a vvn*, disertační práce; Plzeň: ZČU, 1999
- [8] Metoda posuzování životního cyklu (LCA): <http://vskp.vsb.cz/oblast-lca/>
- [9] Hanus, R.; Koubský, J.; Krčma, M.: *Inovace výrobků a jejich systémů – Metodika analýzy inovačního potenciálu výrobků a služeb*. Praha: Centrum inovací a rozvoje, 2004
- [10] Schwarze, T.: *Analytical Report 24. 09. 2008*, Solvay Fluor GmbH, Research & Application Development , Hannover – Germany 2008
- [11] Internetové stránky Siemens Global Website: <http://www.siemens.com/press/en/pressrelease/2011/energy/e201104056.htm>
- [12] Giere, S.; Knobloch, H.; Sedláček, J.: *Double and Single-Break Vacuum Interrupters for High Voltage Application - Experiences on Real High-Voltage Demonstration-Tubes*, CIGRE SESSION No. 39, SC 13, No. 13-202. Paříž, Francie, 2002.
- [13] Marketingové materiály a provozní návody k vvn vypínačům společnosti Siemens AG a společnosti Siemens s.r.o.
- [14] ČSN EN 62 271-100: *Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení – Část 100: Vypínače střídavého proudu*, Česká technická norma, prosinec 2009
- [15] Mentlík, V.; Pihera, J.; Polanský, R.; Prosr, P.; Trnka, P.: *Diagnostika elektrických zařízení*, 1. vydání, BEN-Technická literatura, Praha 2008
- [16] Internetové stránky EG-Expert, s.r.o.: <http://www.egexpert.cz/?page=dotace>
- [17] Kopejtková, D.: *Řád preventivní údržby - Adresná příloha č. 36; vypínač Siemens s pružinovým pohonem typ 3AP2 FI pro napětí 420 kV; revize č. 10.*, ČEPS a.s. Praha 2011
- [18] Kaiser N.; van Groningen, L.: *Integrated Substation Condition Monitoring ISCM*, Customer Presentation, Norimberg 2011

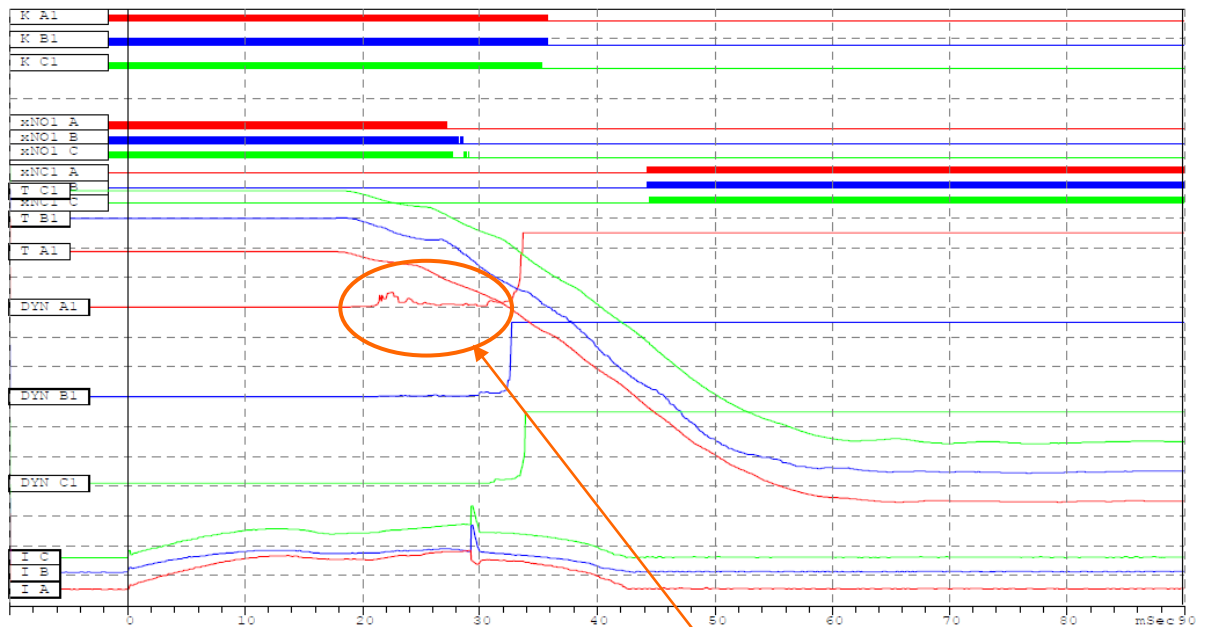
Přílohy

Příloha A – Ukázka grafického výstupu z vypínačového testeru ACTAS P16dyn při diagnostice základních parametrů vypínače Siemens, typ 3AQ1EE-245kV:



Obr. A.1: Typický diagram operace ZAP z vypínačového testeru s výslednými hodnotami (ve spodní části) pro vypínač Siemens, typ 3AQ1EE-245kV

Open2

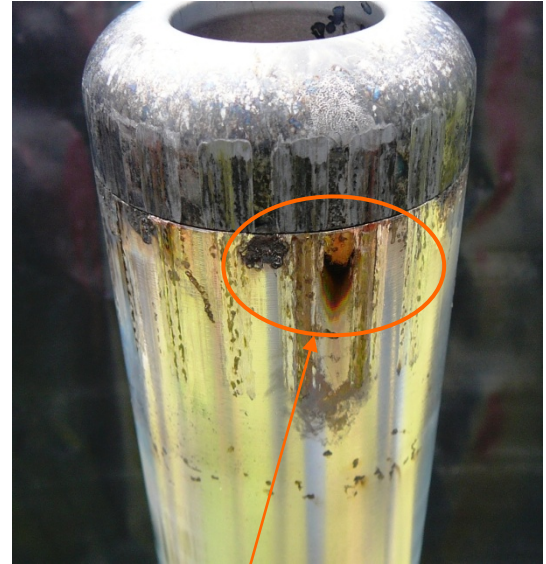


Výsledek	Fáze L1	Fáze L2	Fáze L3	Jednotka
Velocity	8,3	8,7	8,1	m/s
Stroke	104,6	106,0	105,0	mm
Open time	35,8			ms
Opening time 1	35,7	35,8	35,2	ms
Aux NO time O	27,2	28,5	29,1	ms
Aux NC time O	44,3	44,2	44,5	ms
O-Coil current avg	0,7	0,5	0,6	A
O-Coil current max	1,0	1,3	1,4	A
dt O	0,6			ms

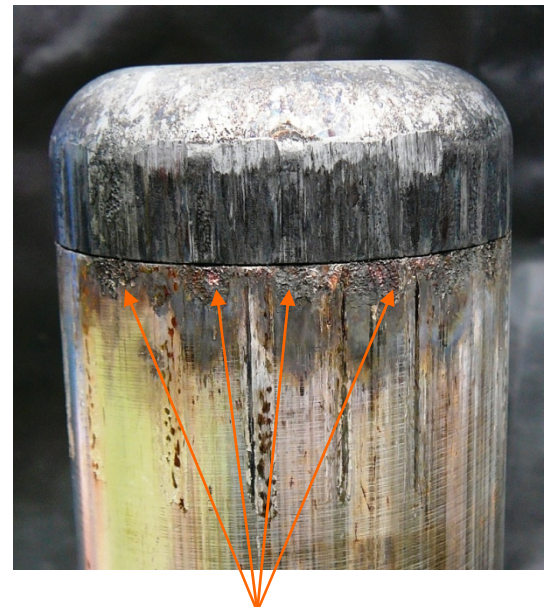
Stejný problém ve fázi LA (L1) i pro operaci VYP. Při pohybu kontaktů po sobě dochází ke změně převáděného proudu = změna odporu. To svědčí o nerovném povrchu – možné odskakování kontaktů. Ale bez vizuální kontroly nelze vyloučit i jinou příčinu.

Obr. A.2: Typický diagram operace VYP z vypínačového testeru s výslednými hodnotami (ve spodní části) pro vypínač Siemens, typ 3AQ1EE-245kV

Příloha B – Ukázka fotodokumentace z diagnostické kontroly kontaktního systému vypínače 3AQ1EG 123kV



Viditelná stopa lokálního tepleného přehřátí na povrchu pevného kontaktu a z toho vyplívající zvýšené riziko statického svaření kontaktů za provozu vypínače



Viditelné stopy eroze způsobené obloukem v místě za přechodem z grafitové opalovací trysky na měděný postříbený povrch. Takto opotřeбенý kontakt je nutno vyměnit za nový.

Obr. B.1: Fotodokumentace opotřebení pevného kontaktu vypínače Siemens, typ 3AQ1EE-245kV