

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Porovnání normativních požadavků na vypínače
vysokého napětí**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vít KRATOCHVÍL**
Osobní číslo: **E15B0218P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Porovnání normativních požadavků na vypínače vysokého napětí**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Prozkoumejte současné nabídkové portfolio vypínačů pro napěťové hladiny nad 72,5 kV.
2. Seznamte se s normami IEC 62271 a IEEE C37 a popište jejich strukturu a zaměření.
3. Popište rozdíly mezi zmíněnými normami z hlediska požadavků na vypínané parametry a provozní podmínky.
4. Diskutujte přístup norem k problematice nestandardních případů vypínání.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Normy IEC 62271, IEEE C37, normy ČSN.
2. Publikace z databází IEEE Xplore Digital Library, CIGRE.
3. Technické zprávy a podpůrné materiály výrobců (ABB, Siemens, GE, ...)
4. Bárta, Vostracký a kol., Spínací přístroje velmi vysokého napětí, SNTL Alfa, 1983.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Vladimír Vajnar

Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2018**


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




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

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Bakalářská práce představuje největší výrobce vypínačů vysokého napětí a porovnává jejich klíčové požadavky dané normami IEC 62271 a IEEE C37. V první části této práce je stručně popsán princip činnosti vypínačů používaných pro napěťové úrovně 72,5 kV a vyšší. Také jsou zde popsány všechny důležité komponenty, které může vypínač obsahovat, protože nabídka světových výrobců, kteří jsou představeni v dalších kapitolách, se v tomto ohledu liší. Další kapitoly jsou o zmíněných dvou normách a jejich porovnání v klíčových požadavcích.

Klíčová slova

Vysoké napětí, vypínač, SF₆, portfolio, standardy, IEC 62271, IEEE C37, porovnání, požadavky, jmenovité hodnoty

Abstract

The bachelor thesis shows the largest high voltage producers and compares key requirements given by standards IEC 62271 and IEEE C37. In the first part of the thesis, there are briefly described principles of used circuit breakers for voltage level 72,5 kV and above. There are also described all important parts that can circuit breakers include, because the offer of world producers that are introduced in next chapters, is different in this case. Next parts are about two standards and their comparison in key requirements.

Key words

High voltage, circuit breaker, SF₆, portfolio, standards, IEC 62271, IEEE C37, comparison, requirements, ratings

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 6.6.2018

Vít Kratochvíl

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Vladimírovi Vajnarovi za cenné profesionální rady, připomínky, trpělivost a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM OBRÁZKŮ	10
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	12
ÚVOD	13
1 VÝKONOVÝ VYPÍNAČ	14
1.1 POUŽITÍ.....	14
1.2 HISTORICKÝ VÝVOJ.....	14
1.3 ROZDĚLENÍ DLE ZPŮSOBU ZHÁŠENÍ OBLOUKU.....	16
1.3.1 <i>Tlakoplynné vypínače s fluoridem sírovým SF₆</i>	17
1.3.2 <i>Vakuové vypínače</i>	18
1.4 ROZDĚLENÍ DLE KONSTRUKČNÍ TECHNOLOGIE.....	19
1.4.1 <i>Live tank</i>	19
1.4.2 <i>Dead tank</i>	19
1.5 ČÁSTI VYPÍNAČE.....	19
1.5.1 <i>Zhášecí komora</i>	21
1.5.2 <i>Pomocný izolátor</i>	21
1.5.3 <i>Ovládací zařízení (pohon)</i>	21
1.5.4 <i>Nosná konstrukce</i>	23
1.5.5 <i>Další přídatné části</i>	23
2 PORTFOLIO	25
2.1 ABB.....	25
2.1.1 <i>Live tank</i>	26
2.1.2 <i>Dead tank</i>	29
2.2 SIEMENS.....	30
2.2.1 <i>Live tank</i>	31
2.2.2 <i>Dead tank</i>	32
2.3 GENERAL ELECTRIC.....	33
2.3.1 <i>Live tank</i>	34
2.3.2 <i>Dead tank</i>	35
2.4 MITSUBISHI ELECTRIC.....	36
2.5 TOSHIBA.....	37
2.6 KONČAR.....	38
2.7 SHRNUTÍ PORTFOLIA.....	39
3 POSUZOVANÉ NORMY	40
3.1 IEC.....	40
3.1.1 <i>IEC 62271</i>	41
3.2 IEEE.....	43
3.2.1 <i>C37</i>	44
4 KLÍČOVÉ NORMALIZOVANÉ HODNOTY	46
4.1 JMENOVITÉ NAPĚTÍ.....	47
4.2 JMENOVITÁ FREKVENCE.....	47
4.3 JMENOVITÝ PROUD.....	48
4.3.1 <i>Renardova řada</i>	48
4.3.2 <i>Jmenovitý provozní proud</i>	49
4.3.3 <i>Jmenovitý zkratový vypínací proud</i>	49

4.3.4	<i>Jmenovitý špičkový výdržný proud</i>	50
4.4	STEJNOSMĚRNÁ SLOŽKA JMENOVITÉHO VYPÍNAČÍHO ZKRATOVÉHO PROUDU	50
4.5	JMENOVITÁ DOBA ZKRATU	52
4.6	JMENOVITÝ SLED SPÍNÁNÍ	52
4.7	IZOLAČNÍ HLADINA	53
4.7.1	<i>Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém pulsu</i>	53
4.7.2	<i>Jmenovité krátkodobé střídavé výdržné napětí</i>	54
4.7.3	<i>Jmenovité výdržné napětí při spínacím impulsu</i>	54
4.8	ČINITEL PRVNÍHO VYPÍNAČÍHO PÓLU	55
4.9	NESTANDARDNÍ PŘÍPADY VYPÍNÁNÍ	56
4.10	SHRNUTÍ PŘÍSTUPU NOREM KE ŠTÍTKOVÝM PARAMETRŮM	58
ZÁVĚR		59
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ		60

Seznam obrázků

OBR. 1.1: TLAKOVZDUŠNÝ VYPÍNAČ (PŘEVZATO Z [2]).	15
OBR. 1.2: MÁLOOLEJOVÝ VYPÍNAČ (PŘEVZATO Z [2]).	15
OBR. 1.3: TLAKOPLYNNÝ VYPÍNAČ S PLYNEM SF ₆ (PŘEVZATO Z [2]).	16
OBR. 1.4: VAKUOVÝ VYPÍNAČ OD FIRMY SIEMENS (PŘEVZATO Z [7]).	16
OBR. 1.5: ZHÁŠECÍ KOMORA [2].	17
OBR. 1.6: PRINCIP ČINNOSTI ZHÁŠENÍ OBLOUKU [2].	18
OBR. 1.7: VYPÍNAČÍ ZAŘÍZENÍ TECHNOLOGIE LIVE TANK [14].	20
OBR. 1.8: VYPÍNAČÍ ZAŘÍZENÍ TECHNOLOGIE DEAD TANK [14].	20
OBR. 1.9: ZHÁŠECÍ KOMORA Z MODELU VYPÍNAČE NA KEE ZČU.	21
OBR. 1.10: UKÁZKA NOSNÉ KONSTRUKCE SE TŘEMI SAMOSTATNÝMI NOSNÍKY (VLEVO) A JEDNOHO SPOLEČNÉHO NOSNÍKU (VPRAVO) [8].	23
OBR. 1.11: VYPÍNAČÍ ZAŘÍZENÍ S PARALELNÍMI KONDENZÁTORY [7].	24
OBR. 2.1: LOGO SPOLEČNOSTI ABB (PŘEVZATO Z [6]).	25
OBR. 2.2: ILUSTRAČNÍ FOTO VYPÍNAČE ZE SKUPINY LTB D (PŘEVZATO Z [6]).	27
OBR. 2.3: ILUSTRAČNÍ FOTO VYPÍNAČE ZE SKUPINY LTB E (PŘEVZATO Z [6]).	27
OBR. 2.4: ILUSTRAČNÍ FOTO VYPÍNAČE SKUPINY HPL B (PŘEVZATO Z [6]).	28
OBR. 2.5: ILUSTRAČNÍ FOTO VYPÍNAČE ZE SKUPINY LTA (PŘEVZATO Z [6]).	29
OBR. 2.6: ILUSTRAČNÍ FOTO VYPÍNAČE ZE SKUPINY DTB (PŘEVZATO Z [6]).	30
OBR. 2.7: LOGO SPOLEČNOSTI SIEMENS (PŘEVZATO Z [7]).	30
OBR. 2.8: VYPÍNAČ 3AP4 PRO 800 kV (PŘEVZATO Z [7]).	31
OBR. 2.9: VYPÍNAČ DEAD TANK (PŘEVZATO Z [7]).	33
OBR. 2.10: LOGO SPOLEČNOSTI GE (PŘEVZATO Z [9]).	33
OBR. 2.11: VYPÍNAČ GL318 (PŘEVZATO Z [9]).	34
OBR. 2.12: VYPÍNAČ DT2-550 (PŘEVZATO Z [9]).	36
OBR. 2.13: LOGO SPOLEČNOSTI MITSUBISHI ELECTRIC (PŘEVZATO Z [10]).	36
OBR. 2.14: ILUSTRAČNÍ FOTO VYPÍNAČE 100-SFMT-40 (PŘEVZATO Z [10]).	37
OBR. 2.15: LOGO SPOLEČNOSTI TOSHIBA (PŘEVZATO Z [11]).	37
OBR. 2.16: LOGO SPOLEČNOSTI KONČAR (PŘEVZATO Z [12]).	38
OBR. 3.1: LOGO ORGANIZACE IEC (PŘEVZATO Z [32]).	41
OBR. 3.2: LOGO ORGANIZACE IEEE (PŘEVZATO Z [21]).	43
OBR. 4.1: ŠTÍTEK VYPÍNAČE VYFOCENÝ NA ELEKTRICKÉ ROZVODNÉ KLETNÉ.	46
OBR. 4.2: ÚZEMÍ POUŽITÍ FREKVENCE 50 Hz A 60 Hz [22].	48
OBR. 4.3: PROCENTUÁLNÍ ZOBRAZENÍ VELIKOSTI STEJNOSMĚRNÉ SLOŽKY ZKRATOVÉHO PROUDU [17].	51
OBR. 4.4: ZNÁZORNĚNÍ NORMALIZOVANÉHO NAPĚŤOVÉHO PULSU [23].	54
OBR. 4.5: SCHÉMA ZAPOJENÍ, KDE MŮŽE DOJÍT KE SPÍNACÍMU IMPULSU.	54

Seznam tabulek

TABULKA 2.1: ZOBRAZENÍ HLAVNÍCH ROZDÍLŮ MEZI JEDNOTLIVÝMI SKUPINAMI [6].	28
TABULKA 2.2: JMENOVITÉ HODNOTY VE SKUPINĚ LTA [6]. POZN: ČÍSLO UVEDENÉ NA KONCI OZNAČENÍ URČUJE POČET ZHÁŠECÍCH KOMOR NA JEDNOM PÓLU.	29
TABULKA 2.3: ZOBRAZENÍ NEJČASTĚJI SE VYSKYTUJÍCÍCH HODNOT V DANÉ NAPĚŤOVÉ ÚROVNI [6].	30
TABULKA 2.4: JMENOVITÉ HODNOTY V ŘADĚ 3AP - LIVE TANK [7].	31
TABULKA 2.5: JMENOVITÉ HODNOTY VE SKUPINĚ 3AT [7].	32
TABULKA 2.6: JMENOVITÉ HODNOTY VE SKUPINĚ 3AV [7].	32
TABULKA 2.7: JMENOVITÉ HODNOTY VE SKUPINĚ 3AP [7].	33
TABULKA 2.8: JMENOVITÉ HODNOTY PRO VYBRANÁ JMENOVITÁ NAPĚTÍ SKUPINY GL (LIVE TANK) [7]. POZN. MAXIMÁLNÍ PROVOZNÍ TEPLotu VÝROBCE UVÁDÍ POUZE U NĚKTERÝCH TYPŮ.	34
TABULKA 2.9: POROVNÁNÍ ZAŘÍZENÍ S OZNAČENÍM X OPROTI BĚŽNĚMU OZNAČENÍ [9].	35
TABULKA 2.10: JMENOVITÉ HODNOTY PRO VYBRANÁ JMENOVITÁ NAPĚTÍ SKUPINY DT [9].	35
TABULKA 2.11: JMENOVITÉ HODNOTY PRO VYBRANÁ NAPĚTÍ SKUPINY SFMT [10].	37
TABULKA 2.12: JMENOVITÉ HODNOTY PRO VYBRANÁ JMENOVITÁ NAPĚTÍ SKUPINY TPB [11].	38
TABULKA 2.13: JMENOVITÉ HODNOTY PRO VYBRANÁ JMENOVITÁ NAPĚTÍ OD FIRMY KONČAR [12].	39
TABULKA 2.14: ZOBRAZENÍ ROZDÍLŮ MEZI VYPÍNAČI TECHNOLOGIE LIVE TANK OD RŮZNÝCH VÝROBCŮ PRO STEJNOU NAPĚŤOVOU HLADINU 123 kV A MAXIMÁLNÍ ZKRATOVÝ PROUD 40 kA.	40
TABULKA 2.15: ZOBRAZENÍ ROZDÍLŮ MEZI VYPÍNAČI TECHNOLOGIE DEAD TANK OD RŮZNÝCH VÝROBCŮ PRO STEJNOU NAPĚŤOVOU HLADINU 123 kV A MAXIMÁLNÍ ZKRATOVÝ PROUD 40 kA.	40
TABULKA 3.1: OBSAH ČÁSTÍ NORMY IEC 62271 ROZDĚLENÝ DLE ZAMĚŘENÍ [16].	41
TABULKA 3.2: ROZDĚLENÍ NORMY 62271 NA JEDNOTLIVÉ ČÁSTI [18].	42
TABULKA 3.3: PŘEHLED DŮLEŽITÝCH NOREM V ŘADĚ C37.	45
TABULKA 4.1: ŘADA NORMALIZOVANÝCH HODNOT JMENOVITÉHO NAPĚTÍ V kV [19,20].	47
TABULKA 4.2: JMENOVITÉ HODNOTY FREKVENCÍ [17, 20].	47
TABULKA 4.3: PRINCIP ODVOZENÍ ŘADY R10.	49
TABULKA 4.4: JMENOVITÉ HODNOTY PROVOZNÍHO A MAXIMÁLNÍHO PROUDU [19, 20].	49
TABULKA 4.5: POŽADAVKY NA HODNOTY ŠPIČKOVÉHO VÝDRŽNÉHO PROUDU [19, 20].	50
TABULKA 4.6: ČASOVÉ KONSTANTY T A JEJICH MOŽNÉ POUŽITÍ. [19, 20].	POZN: * -
HODNOTY POUZE DLE [19].	51
TABULKA 4.7: STANDARDIZOVANÉ DOBY ZKRATU [19, 20].	52
TABULKA 4.8: STANDARDIZOVANÉ HODNOTY SLEDU SPÍNÁNÍ [17, 20].	53
TABULKA 4.9: ZOBRAZENÍ JMENOVITÝCH VÝDRŽNÝCH PROUDŮ CHARAKTERIZUJÍCÍ IZOLAČNÍ HLADINU PRO VYBRANÁ JMENOVITÁ NAPĚTÍ [19, 20].	55
TABULKA 4.10: STANDARDIZOVANÉ HODNOTY KOEFICIENTU K_{pp} [17, 20].	56
TABULKA 4.11: SPECIFIKACE TRÍD C1 A C2 PODLE [17].	57
TABULKA 4.12: JMENOVITÉ HODNOTY I_L A I_C PRO VYBRANÁ JMENOVITÁ NAPĚTÍ [17].	57

Seznam symbolů a zkratk

C	Sepnutí kontaktů
f_r	Jmenovitá frekvence [Hz]
I_c	Vypínací proud nezatíženého kabelového vedení [A]
I_k	Jmenovitý zkratový vypínací proud [kA]
I_l	Vypínací proud nezatíženého venkovního vedení [A]
I_p	Jmenovitý špičkový výdržný proud [kA]
I_r	Jmenovitý provozní proud [A]
k_{pp}	Činitel prvního vypínacího pólu
O	Rozpojení kontaktů
R	Činný odpor vedení [Ω]
SF ₆	Fluorid sírový
t	Doba od vzniku zkratu [ms]
t_k	Jmenovitá doba zkratu [-]
t_1	První interval mezi rozpojením a opětovném sepnutí
t_2	Druhý interval mezi rozpojením a opětovném sepnutí
T_{op}	Nejkratší doba vypínání daná výrobcem
T_r	Polovina periody jmenovité frekvence [ms]
U_d	Jmenovité krátkodobé střídavé výdržné napětí [kA]
U_p	Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém pulzu [kA]
U_r	Jmenovité napětí [kV]
U_s	Jmenovité výdržné napětí při spínacím impulse [kA]
X	Reaktance vedení [Ω]
τ	Časová konstanta stejnosměrné složky [ms]

Úvod

V dnešním energetickém odvětví je důležité zabezpečit přenos velkého objemu energie na dlouhé vzdálenosti. Elektrická energie je základní podmínkou hospodářského rozvoje jakékoliv země. Zejména pro rozvojové země má energetika klíčové postavení vzhledem ke stále rostoucím energetickým potřebám. Důvodem tedy, proč se elektrická síť každým dnem rozšiřuje, je rostoucí poptávka po elektřině. Moderní energetický systém je zatížen rozsáhlou elektrickou sítí a velkým počtem připojených elektrických zařízení. Elektrická síť však bývá vystavena mnoha nežádoucím vlivům, které mohou způsobit poruchu zařízení nebo mohou přímo vést ke kolapsu celé sítě.

Během zkratové poruchy nebo jiných typů elektrických poruch může zařízením procházet několikanásobně větší proud, než při běžném provozu a může tak dojít k trvalému poškození samotného zařízení i distribuční sítě. Pro ochranu těchto zařízení a distribuční sítě by měl být zkratový proud co nejrychleji odstraněn. Po odstranění tohoto nežádoucího stavu je potřeba koncové zařízení opět uvést do provozního stavu. Aby bylo možné včas odpojit a opětovně připojit různé části napájecího systému. Je třeba, aby energetická soustava obsahovala speciální typy spínacích zařízení, které se mohou bezpečně provozovat při zkratových proudech. Během přerušení vysoké hodnoty proudu může mezi spínacími kontakty dojít k vytvoření elektrického oblouku, který je třeba spolehlivě a bezpečně uhasit. Tato zařízení, která umožňují bezpečně a efektivně přerušit zkratové proudy se nazývají vypínače. Pro oblast velmi vysokého napětí to jsou tzv. výkonové vypínače. Na vypínače jsou kladena nejrůznější kritéria, která jsou vydávána mezinárodními organizacemi IEC a IEEE. Tato kritéria jsou definována v normách, podle kterých musí být vypínač navržen a otestován pro provoz dle standardizovaných požadavků a hodnot.

1 Výkonový vypínač

Vypínač je elektrické zařízení, které je schopno, v co nejkratší době přejít z vlastností vodiče na vlastnosti izolantu a naopak. Kromě toho by měl být vypínač schopen splnit následující požadavky.

- Při poloze, kdy je obvod uzavřen, vypínačem musí protéct jmenovitý proud, aniž by na žádné z částí vypínače nevznikaly nežádoucí tepelné ztráty.

- V uzavřeném, ale i otevřeném obvodu musí být vypínač schopen odolat jakémukoliv typu přepětí v rámci jeho jmenovitých hodnot.

- Vypínač musí být schopen, při svém jmenovitém napětí, připojit nebo přerušit jakýkoliv proud, aniž by při tomto procesu došlo k poruše a vypínač se tak stal pro další operace nepoužitelný. [2]

1.1 Použití

Vypínač je nezbytná součást elektrické rozvodny, kde se používá k propojení transformátorů, přípojnic, přenosových vedení atd. Nejdůležitějším úkolem vypínače je přerušit zkratové proudy a ochránit tak připojená zařízení. Přerušení obvodu a následné opětovné připojení by mělo být provedeno tak, aby se běžný provoz sítě rychle obnovil a celý systém si tak udržel svou stabilitu. Kromě ochranné funkce se vypínač také používá k záměrnému spínání kompenzačních kondenzátorů. Při údržbě nebo opravě elektrického zařízení a přenosových vedení se vypínač používá pro zajištění bezpečnosti personálu. Pro tuto funkci se používá vypínač spolu s odpojovačem, uzemňovačem nebo přímo vypínač s již integrovaným odpojovačem. [2]

1.2 Historický vývoj

Na počátku vývoje vypínacích zařízení pro úroveň nad 72,5 kV se používaly vypínače, které jako zhášecí médium využíval stlačený vzduch (tlakovzdušné vypínače). Tento způsob vypínání umožňoval vysokou vypínací schopnost během poměrně krátké doby vypnutí. Samotná zhášecí komora má omezenou dielektrickou kapacitu a pro zabezpečení správného chodu vypínacího zařízení bylo třeba až 10 zhášecích komor zapojených v sérii

v jedné fázi pro úroveň 420 kV. Přerušení oblouku také vyžadovalo vysoký tlak vzduchu (až 2 Mpa), což znamenalo vysoké riziko úniku vzduchu. Instalace a údržba takového zařízení byla tedy obtížná a nákladná.



Obr. 1.1: Tlakovzdušný vypínač (převzato z [2]).

Velký krok ve vývoji nastal v 60. letech 19. století, kdy začal vývoj máloolejových vypínačů. Snížil se počet potřebných zhašecích komor, máloolejový vypínač potřeboval již pouze 4 zhašecí komory na jednu fázi pro úroveň 420 kV. Energetické požadavky k provozu byly poměrně nízké a jako ovládací zařízení mohl být použit pružinový mechanismus. Na tento systém i na máloolejový vypínač nemá žádný výrazný vliv teplota. Další výhodou je, že veškerá údržba, jako je otevírání zhašecích komor, lze provádět zvenčí. Časté spínání však vyžaduje častou údržbu, a i když je relativně jednoduchá, stále byla tendence objevit nový způsob vypínání.



Obr. 1.2: Máloolejový vypínač (převzato z [2]).

Pozdější technologií používanou dodnes jsou vypínače, kde je jako zhašecí médium použit plyn SF₆. Vyžadují méně údržby a počet zhašecích komor na jednu fázi se také snížil. Například pro úroveň 420 kV jsou použity 2 zhašecí komory na jednu fázi. SF₆

vypínače používají různé druhy ovládacích mechanismů, jako jsou například pneumatický a hydraulický. Dají se ale také použít pružinové mechanismy, které mají menší spotřebu, a právě tímto směrem je udáván dnešní vývoj.



Obr. 1.3: Tlakoplynný vypínač s plynem SF₆ (převzato z [2]).

Jako nejnovější způsob spínání napěťových hladin je v dnešní době použit vakuový vypínač. Toto zařízení je pro úroveň nad 72,5 kV stále ještě ve vývoji, a proto se s ním setkáme právě pouze pro napětí 72,5 kV. [2]



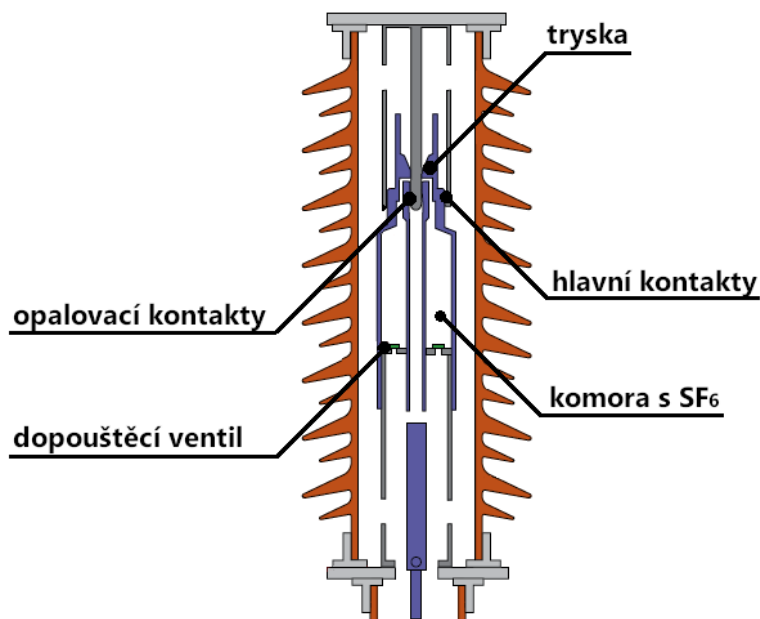
Obr. 1.4: Vakuový vypínač od firmy Siemens (převzato z [7]).

1.3 Rozdělení dle způsobu zhášení oblouku

V této kapitole bude stručně popsán princip, výhody a nevýhody dnes používaných vypínačů pro napěťovou hladinu 72,5 kV a výše, tedy vypínače využívající jako zhášecí médium plyn SF₆, které jsou nejpoužívanější a dále vakuové vypínače, které se používají pouze pro úroveň 72,5 kV.

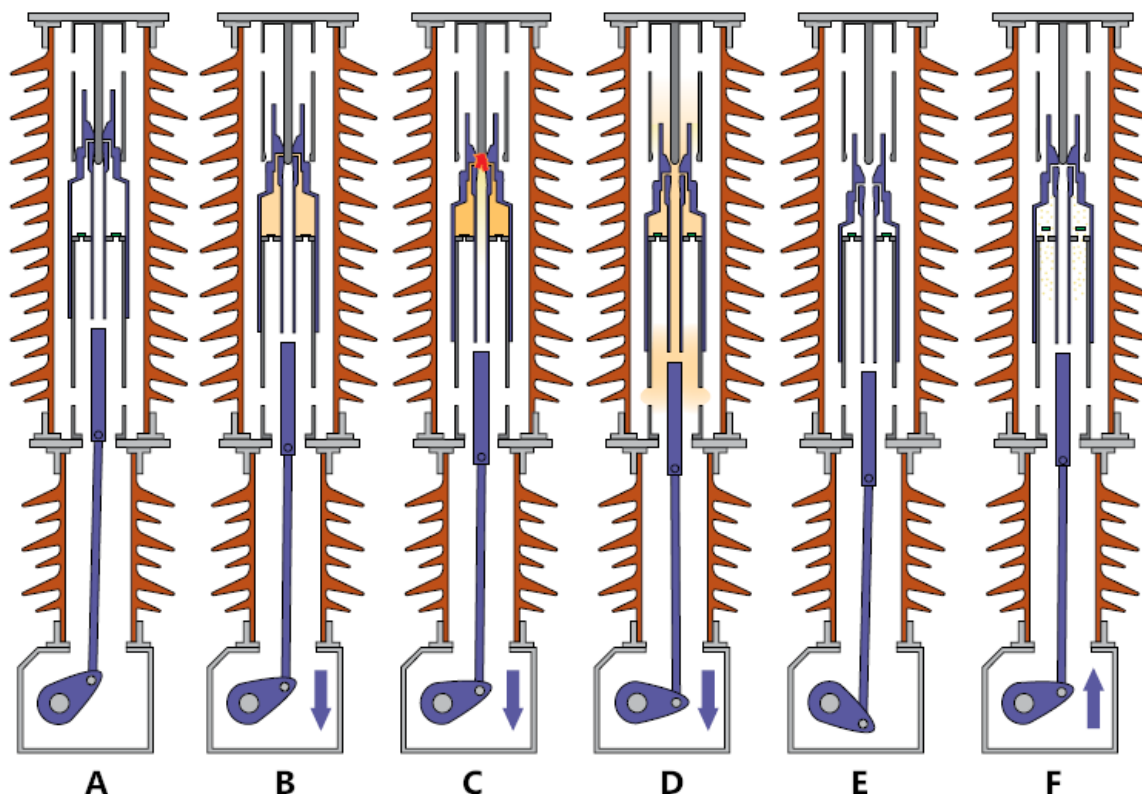
1.3.1 Tlakoplynné vypínače s fluoridem sírovým SF₆

Tento princip zhášení je nejvíce uplatňován pro napěťové úrovně 72,5 kV a výše. Pro zhášení elektrického oblouku je využíván natlakovaný plyn SF₆, který je užitečný zejména díky své elektronegativitě, nehořlavosti, dobrého odvodu tepla a vysoké elektrické pevnosti, jež se s rostoucím tlakem zvyšuje. [1, 2]



Obr. 1.5: Zhášecí komora [2].

Na následujícím obrázku je znázorněn princip funkce tlakoplynného vypínače. V první fázi (A) jsou kontakty sepnuty a zhášecí komorou teče proud. Poté se pomocí mechanického táhla začnou od sebe oddalovat kontakty (B), čímž se zmenší objem komory naplněné plynem SF₆, a tím dojde k zvýšení tlaku uvnitř komory. Během tohoto cyklu se rozpojí hlavní kontakty a proud teče pouze přes opalovací kontakty. V dalším cyklu (C) se rozpojí opalovací kontakty, načež se mezi nimi vytvoří elektrický oblouk. Při dalším oddálení (D) kontaktů se uvolní mezera mezi tryskami a pomocí natlakovaného plynu SF₆ se elektrický oblouk uhasí. V další fázi (E) jsou kontakty již v rozepnutém stavu. Při sepnutí kontaktů (F) se zvětšuje objem komory, kde byl natlakovaný plyn, což vyvolá podtlak a plyn SF₆ se skrz otevřené dopouštěcí ventily dostává zpět do výchozí pozice, odkud je připraven celý proces opakovat. [2]



Obr. 1.6: Princip činnosti zhášení oblouku [2].

Nevýhodou těchto vypínačů je to, že plyn SF_6 patří mezi skleníkové plyny s vysokým potenciálem způsobovat globální oteplování. Jeho schopnost absorbovat unikající infračervené záření zemského povrchu je oproti oxidu uhličitému přibližně 22 000 krát větší. Z těchto důvodů vyžadují vypínače s plynem SF_6 časté revize a kontroly, zda například nedochází k úniku skleníkového plynu do atmosféry. [1, 2]

1.3.2 Vakuové vypínače

K přerušení kontaktů dochází ve zhášecí komoře, ve které jako zhášecí médium slouží vakuum. Vakuum se chová jako izolant, ve kterém je obsaženo zanedbatelné množství vodivých částic. Jelikož jsou kontakty umístěny v nevodivém prostředí, ve kterém nedochází k ionizaci, liší se způsob vypínání od vypínání ve zhášecí komoře plněné vzduchem, plynem SF_6 , či olejem. Pohyblivé kontakty se od sebe při vypínání oddalují na vzdálenost několika milimetrů až jednotek centimetrů. Odpařováním kovu, který se nachází na stykových plochách kontaktu, vzniká mezi kontakty elektrický oblouk. Kovové páry mají díky působení tepla oblouku vysoký tlak a při nejbližším průchodu proudem nulou dochází k jejich expanzi do okolí, a tím se elektrický proud přeruší. Poté kovové páry na povrchu kontaktu zkondenzují. Výhodou zhášení ve vakuu je tichý provoz, nehořlavost

prostředí vypínače, krátká vypínací dráha. Nevýhodou je složitější technologie provedení, jelikož je zapotřebí mechanicky pevné a vakuově těsné nádoby. [3]

1.4 Rozdělení dle konstrukční technologie

1.4.1 Live tank

V tomto provedení je dle [5] zhášecí komora umístěná v izolovaném pouzdře izolátoru. Zařízení je napájeno přívodním napětím (odlišným od potenciálu země) a je tedy na „live – živém“ potenciálu. Délka a průrazné napětí izolátoru zhášecí komory a pomocného izolátoru pak určuje napěťovou hladinu.

1.4.2 Dead tank

Zhášecí komora je dle [5] umístěna v kovovém pouzdře, která je vodivě spojena s potenciálem země. Zhášecí komory mají potenciál země a jsou tedy „dead – mrtvé“. Vzhledem k tomu, že vstupní/výstupní vodiče jsou vedeny přes izolovaná pouzdra, je možné na nich umístit proudové transformátory (uspořádání live tanku toto neumožňuje a vyžadují samostatné proudové transformátory). Vypínače s tímto uspořádáním mají robustnější konstrukci a používají se zejména v místech s nepříznivými seismickými podmínkami.

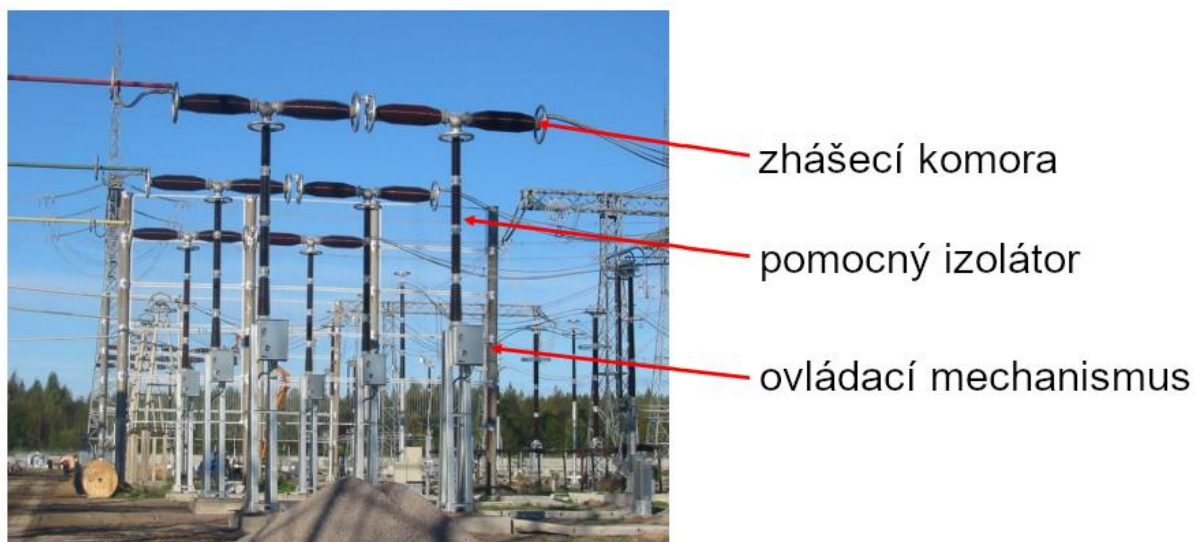
1.5 Části vypínače

Vypínač pro VVN se skládá ze 4 hlavních částí, které budou v následujících kapitolách popsány. Jelikož se pro napěťové úrovně 72,5 kV používají výhradně tlakoplynné vypínače SF₆, budou se následující kapitoly týkat právě těchto druhů vypínačů.

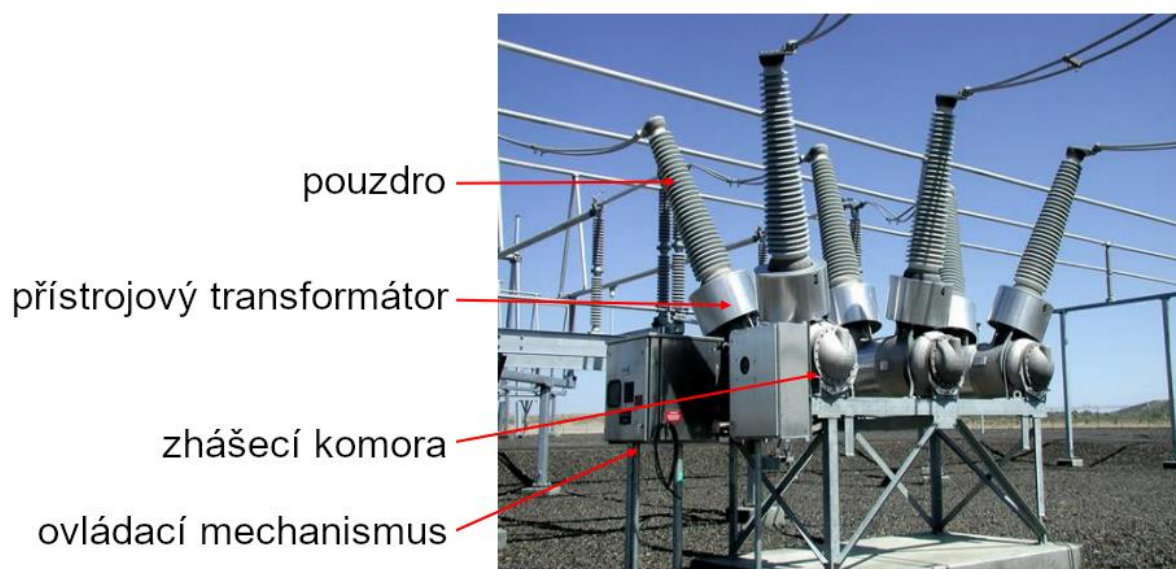
- zhášecí komora
- pomocné izolátory
- ovládací zařízení
- nosná konstrukce

Vypínač obsahuje další pomocné části, jako jsou ukazatel stavu plynu, ukazatel stavu (vypnutí/zapnutí), atd...

Dále vypínač může obsahovat prvky, jako jsou paralelní kondenzátory a tlumící rezistory.



Obr. 1.7: Vypínací zařízení technologie live tank [14].



Obr. 1.8: Vypínací zařízení technologie dead tank [14].

1.5.1 Zhášecí komora

Je umístěna v izolačním pouzdru, které je vyrobeno z porcelánu nebo z kompozitu se skleněným vláknem. V případě technologie live tank je zhášecí komora spojena se síťovým napětím a je oddělena od potenciálu země. V případě dead tank je zhášecí komora spojena s potenciálem země. Na jednom pólu vypínacího zařízení může být sériově zapojeno více zhášecích komor. Jejich počet závisí na napěťové úrovni vypínače a na požadavcích ohledně vypínacích schopností. [2]



Obr. 1.9: Zhášecí komora z modelu vypínače na KEE ZČU.

1.5.2 Pomocný izolátor

Je součástí pouze live tank technologie. Hlavním úkolem je dostatečné zajištění izolace mezi síťovými přívody a potenciálem země. Pomocný izolátor je stejně jako pouzdro zhášecí komory vyroben z porcelánu nebo z kompozitu. Dále obsahuje plyn SF₆, který je zde pod stejným tlakem jako ve zhášecí komoře. Uvnitř izolátoru nachází mechanické táhlo, které spojuje ovládací zařízení s hlavními kontakty ve zhášecí komoře. [2]

1.5.3 Ovládací zařízení (pohon)

Problematika ovládacích systémů u vypínacích zařízení je velmi rozsáhlá, a proto bude jejich funkce v této práci vysvětlena velmi stručně. Hlavním úkolem ovládacího zařízení je odpojení/zapojení kontaktů v případě potřeby. Velikost síťového proudu je měřena pomocí

přístrojových transformátorů proudu. V případě průtoku zkratového proudu dá tento transformátor pokyn do ovládacího zařízení, které já spojeno s hlavními kontakty přes mechanické spojky a hlavní kontakty se začnou rozpojovat. Existuje několik druhů ovládacích zařízení. Pro účely ovládání VVN vypínačů se používají hlavně pružinový a hydraulický, popřípadě kombinace obou zmíněných. [2]

Pružinový mechanismus

Tento systém obsahuje pružiny, které jsou napínány pomocí elektromotoru. V klidové poloze je pružina zajištěna pomocí západek řízených elektromagnetem. Při požadavku na vypnutí elektromagnety uvolní západky a pružina tak uvolní energii a sepne nebo rozezne kontakty. Pružina, která právě spíná kontakty, má za úkol také předat energii druhé pružině, která je kontakty stlačována. Pro úplné stlačení, a tedy „plné nabití“ energií, se používá právě elektromotor. Tento princip umožňuje to, že je vždy jedna pružina připravena rozeznout kontakty. Výhodou tohoto systému je, že je čistě mechanický a neexistuje tak riziko úniku kapaliny nebo plynu, což by mohlo mít negativní dopad na spolehlivost zařízení. Dále je pružinový systém oproti ostatním méně citlivý na změny teploty a zajišťuje tak stabilitu i v extrémních podmínkách. [2]

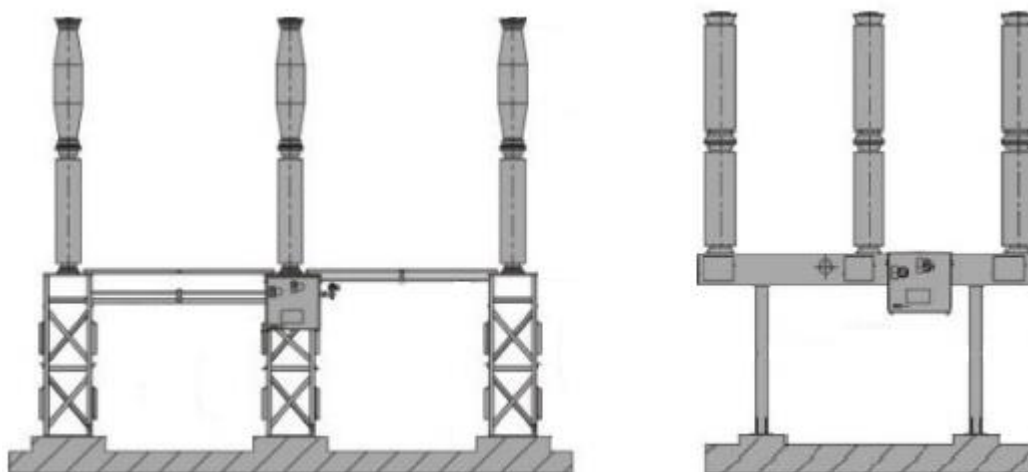
Hydraulický mechanismus

Tento druh pohonu obsahuje dva oddělené systémy, které na sebe vzájemně silově působí. V jedné části systému se nachází kapalina o vysokém tlaku a v druhé části kapalina s nižším tlakem. Mezi tyto oddělené systémy je vložen píst, pomocí něhož je přenášena síla a pohyb na hlavní kontakty vypínače. Vhodnou regulací tlaků obou částí tak lze vypínač uvést do vypnuté nebo zapnuté polohy. [13]

Tento princip má v porovnání s pružinovým mechanismem výhodu v tom, že dokáže přenést větší výkon při tichém provozu. Jelikož je ale v tomto mechanismu použita natlakovaná kapalina, nelze únik této kapaliny zanedbat. Proto je nutné při využití tohoto principu pravidelně kontrolovat tlak a hladinu kapaliny. Systém je dále citlivý na změny teploty, což může ovlivňovat vypínací parametry vypínacího zařízení, a proto je hydraulický systém postupem času nahrazován systémem pružinovým. [2]

1.5.4 Nosná konstrukce

Slouží k zabezpečení mechanické stability. Jako materiál pro nosnou konstrukci se dle [2] obvykle používá pozinkovaná ocel. Konstrukce může být provedena dvěma způsoby. První způsob obsahuje jeden nosník, na který jsou připojeny všechny póly vypínače. Druhý způsob provedení konstrukce obsahuje tři samostatné podpěry, kde každý pól vypínacího zařízení je umístěn na jedné podpěře. Na níže uvedeném obrázku je vidět rozdíly mezi oběma typy konstrukcí.



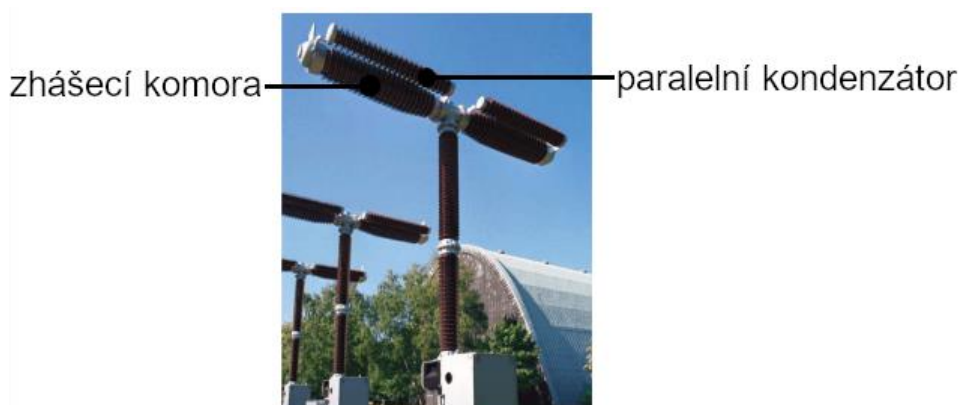
Obr. 1.10: Ukázka nosné konstrukce se třemi samostatnými nosníky (vlevo) a jednoho společného nosníku (vpravo) [8].

1.5.5 Další přídavné části

Další uvedené části nejsou součástí samotného vypínače, ale slouží ke zlepšení vlastností celého zařízení. Postupem času má samotný vypínač stále lepší vypínací vlastnosti a tudíž tyto části nejsou vždy potřeba. Své uplatnění mají však pro vyšší napěťové hladiny. Jelikož se ale jedná o přídavná zařízení, která s sebou přinášejí další problémy, je v praxi žádoucí je používat pouze v nutných případech. Problémy, které s sebou nesou tato zařízení, jsou dle [2] problémy s přepravou, obtížnější údržba a vyšší hmotnost, která může zhoršovat schopnost odolat nepříznivým seismickým účinkům.

Paralelní kondenzátor

Paralelní kondenzátory nejsou nezbytnou částí pro samotné vypínače. Používají se pro vypínače se dvěma a více zhášecími komorami. Při vypínání není napětí rovnoměrně rozložené mezi zhášecí komory a jedna komora by mohla být namáhána více, a tím i vystavena nebezpečí poruchy. Z tohoto důvodu se ke zhášecím komorám připojují paralelně kondenzátory, které pomáhají k rovnoměrnějšímu rozložení napěťového potenciálu mezi všemi komorami. Kapacity kondenzátorů se pohybují v rozmezí 900 – 1600 pF. Pro live tank vypínací zařízení jsou paralelní kondenzátory umístěny z vnější strany vedle zhášecí komory (viz obr. 1.8), zatímco u dead tank vypínačů jsou kondenzátory spolu se zhášecí komorou umístěné v izolátoru a nejsou tak z vnějšího pohledu vidět. V dnešní době se paralelní kondenzátory používají zejména u vypínačů pro napěťovou hladinu 420 kV a více. [2]



Obr. 1.11: Vypínací zařízení s paralelními kondenzátory [7].

Tlumící rezistory

Tlumící rezistory se u vypínačů používají pro snížení velikosti napětí při přepětí, ke kterému dochází při vypínání a zapínání vypínače. Dříve se tato zařízení používala nejen u samotných vypínačů, ale i v transformátorech a dalších částech rozvodny. Moderní vypínače ale mají stále lepší vypínací vlastnosti, a proto se tlumící odpory používají zejména u vypínacích zařízení pro napěťové hladiny 362 kV a více. [2]

2 Portfolio

V této kapitole budou představeni hlavní výrobci vypínačů pro napěťové úrovně 72,5 kV a výše. Velice stručně bude popsána charakteristika společnosti a jejich zaměření. Jako první budou uvedeni výrobci, kteří působí po celém světě. Následovat budou zástupci asijského trhu a jako poslední bude uveden evropský výrobce.

Jednotlivé produkty budou porovnány v několika klíčových parametrech: jmenovité napětí, jmenovitý proud, maximální zkratový proud, jmenovitá frekvence a rozsah provozní teploty. Jelikož u některých výrobců není možné z veřejných zdrojů tyto informace přesně určit a dohledat, jsou proto tyto údaje vynechány.

Každý výrobce rozděluje vypínače do několika podskupin, pro které má specifické označení. Bude vysvětleno, v čem se jednotlivé skupiny liší, a co vše lze z jejich označení určit. Bude zjištěno, zda výrobci nabízí dodatečné paralelní kondenzátory a tlumící rezistory a pro jaké napěťové hladiny.

Na závěr budou porovnány výrobky od různých výrobců pro vybranou napěťovou hladinu a jmenovitý proud.

2.1 ABB



Obr. 2.1: Logo společnosti ABB (převzato z [6]).

Společnost vznikla v 1988 sloučením dvou již existujících firem. Vypínače rozděluje do těchto hlavních skupin: LTB a HPL B jako technologie live tank a skupiny DTB jako dead tank. Tyto skupiny používají jako zhášecí médium plyn SF₆. Paralelní kondenzátory jsou dodávány pro vypínače od 420 kV a tlumící rezistory pouze pro vypínače live tank od 362 kV. Jedinečnou skupinu pak tvoří skupina LTA, kde je jako zhášecí médium použit plyn CO₂. [6]

2.1.1 Live tank

Značení typů vypínačů od společnosti ABB je v následujícím tvaru.

XXX YYY Z Q , kde dle [6]:

XXX – označení skupiny (LTB, HPL)

YYY – jmenovitá hodnota napětí v kV

Z – označení podskupiny (pro LTB – D nebo E, pro HPL – B)

Q – počet zhášecích komor na jeden pól

Například LTB 550E2, tedy vypínač se jmenovitým napětím 550kV patřící do skupiny LTB E se dvěma zhášecími komorami na jednom pólu.

LTB

Tato skupina vypínačů pokrývá jmenovitá napětí od 72,5 kV do 800 kV s vypínacím proudem do 50 kA. LTB se dále rozděluje na LTB D a LTB E. Liší se v hodnotě jmenovitého proudu (D - 3 kA, E - 4 kA). Každá z řad E a D je zastoupena shodně 5 typy vypínači, přičemž typ D obsahuje vypínače pro jmenovité napětí od 72,5 kV do 170 kV, na rozdíl od typu E, kde je pokryto napětí od 72,5 kV až do 800 kV. LTB vypínače jsou navrženy a instalovány pro oblasti se širokým spektrem klimatických podmínek, od polárního k pouštnímu klimatu. Problém podle [6] nastává v oblastech s extrémně nízkými teplotami, kdy může dojít ke kondenzaci plynu SF₆. Aby ke kondenzování nedocházelo, přidává se k SF₆ technický dusík (N₂) nebo fluorid uhličitý (CF₄).



Obr. 2.2: Ilustrační foto vypínače ze skupiny LTB D (převzato z [6]).



Obr. 2.3: Ilustrační foto vypínače ze skupiny LTB E (převzato z [6]).

HPL B

Jedná o označení pro skupinu, která obsahuje vypínače pro nejvyšší výkony. Zahrnuje vypínače pro jmenovitá napětí, stejně jako LTB E, od 72,5 kV do 800 kV. Rozdíl je v tom, že HPL B dokáže pracovat s vypínacím proudem až 80 kA. Tento typ údajně podle oficiálních zdrojů dle [6] překračuje několikanásobně předepsané hranice dané normami [17] a [20].

Typ HPL B byl úspěšně testován na napětí 420 kV a 550 kV bez potřeby paralelních kondenzátorů. Výhoda je v tom, že vypínač je opatřen méně součástkami a je tedy méně náročný na údržbu. Nejvýkonnější vypínač je označen jako HPL 800B4, tedy vypínač pro jmenovité napětí 800 kV se čtyřmi zhášecími komorami na 1 pól. [6]



Obr. 2.4: Ilustrační foto vypínače skupiny HPL B (převzato z [6]).

Tabulka 2.1: Zobrazení hlavních rozdílů mezi jednotlivými skupinami [6].

	LTB D	LTB E	HPL B
Jmenovité napětí [kV]	72.5 – 170	72.5 – 800	72,5 – 1200
Jmenovitý proud [A]	3150	4000	6300
Maximální zkratový proud [kA]	40	50	80
Jmenovitá frekvence [Hz]	50/60		
Provozní teplota [°C]	-50 – +50	-30 – +40	-50 – +40

LTA

Firma ABB se zatím jako jediná pokouší o nahrazování plynu SF₆ plynem CO₂. Tato skupina se konstrukčně odvíjí od skupiny live tank vypínačů skupiny LTB D. Vypínače LTA používají pro svůj pohon pružinový mechanismus. Plyn CO₂ má sice nižší dielektrickou pevnost, ale na rozdíl od plynu SF₆ je šetrnější k životnímu prostředí, a proto se firma ABB snaží o vývoj vypínačů s CO₂ jako možnou alternativu za klasické SF₆ vypínače. Jelikož je ale tento způsob stále ve vývoji, ABB nabízí tento druh vypínacího zařízení pro napěťovou úroveň 72,5 kV a frekvenci 50 Hz. Z níže uvedeného obrázku je podle konstrukce zřejmé, že skupina LTA vychází ze skupiny LTB D (viz obr. 2.2). [6]



Obr. 2.5: Ilustrační foto vypínače ze skupiny LTA (převzato z [6]).

Tabulka 2.2: Jmenovité hodnoty ve skupině LTA [6]. pozn: Číslo uvedené na konci označení určuje počet zhášecích komor na jednom pólu.

	LTA72D1
Jmenovité napětí [kV]	72,5
Jmenovitý proud [A]	2750
Maximální zkratový proud [kA]	31,5
Jmenovitá frekvence [Hz]	50
Provozní teplota [°C]	-50 – +50

2.1.2 Dead tank

Jednotlivá označení dead tank vypínačů se liší hlavně v použitém ovládacím mechanismu. Označení se uvádí v následujícím tvaru.

DTB XXX PM(I) ZZ – Q , kde dle [6]:

XXX – jmenovité napětí v kV

PM – společné označení pro DTB skupinu

I – každý pól vypínače má své ovládací zařízení, pokud zde není písmeno I – všechny póly jsou řízeny jedním ovládacím zařízením

ZZ – maximální zkratový proud v kA

Q – druh ovládacího systému (pružinový, hydraulicko-pružinový)

DTB

Řada DTB obsahuje vypínače se jmenovitým napětím od 72,5 kV do 550 kV s vypínacím proudem až 80 kA. Pro každé jmenovité hodnoty napětí existuje několik typů vypínačů. Následující tabulka obsahuje nejčastěji obsažené hodnoty v dané napěťové úrovni. [6]

Tabulka 2.3: Zobrazení nejčastěji se vyskytujících hodnot v dané napěťové úrovni [6].

Jmenovité napětí [kV]	72,5	245	362	550
Jmenovitý proud [A]	3150	5000		
Maximální zkratový proud [kA]	40	80	63	
Jmenovitá frekvence [Hz]	50/60			
Provozní teplota [°C]	-40 – +40		-30 – +40	



Obr. 2.6: Ilustrační foto vypínače ze skupiny DTB (převzato z [6]).

2.2 Siemens

SIEMENS

Obr. 2.7: Logo společnosti Siemens (převzato z [7]).

Firma Siemens byla založena již v roce 1847 a specializovala se na vývoj a výrobu telegrafů. V dnešní době se rovněž zabývá vypínači se jmenovitým napětím od 72,5 kV do 800 kV a spolu s ABB patří k největším lídrům na trhu. Vyrábí jak uspořádání live tank, tak dead tank. Vypínače od firmy Siemens lze dodat i s paralelními kondenzátory a tlumícími odpory pro jmenovitá napětí od 362 kV a výše, ale pouze pro skupiny 3AP (live tank i dead tank). [7]

2.2.1 Live tank

Rozdělují se do skupin 3AP, 3AT, 3AV. Vypínače se dále dělí na menší podskupiny podle počtu zhášecích komor na jednom pólu. Společnost Siemens vyrábí vypínače s 1, 2 nebo 4 zhášecími komorami. Počet zhášecích komor je udáván za označením 3AP(AT), takže další podskupiny jsou 3AP(AT)1 – 3AP(AT)4. Existují ještě skupiny 3AP(AT)3 a 3AP(AT)5, které obsahují 2 nebo 4 zhášecí komory na jeden pól + tlumící rezistory. Zařízení s označením 3AP je poháněno pružinovým mechanismem, zatímco 3AT je poháněno hydraulickým mechanismem. [7]

3AP – Live tank

Skupina 3AP obsahuje vypínače se jmenovitým napětím od 72,5 kV do 800 kV. Vypínače se dále dělí na menší podskupiny podle počtu zhášecích komor na jednom pólu. V této skupině se používají 1, 2 nebo 4 zhášecí komory. Všechny vypínače v této řadě jsou řízeny pružinových ovládacím mechanismem. [7]

Tabulka 2.4: Jmenovité hodnoty v řadě 3AP - Live tank [7].

	3AP1	3AP2/3	3AP4/5
Jmenovité napětí [kV]	72,5 – 300	420 – 550	800
Jmenovitý proud [A]	2500 – 4000	5000	
Maximální zkratový proud [kA]	63	80	63
Jmenovitá frekvence [Hz]	50/60		
Provozní teplota [°C]	-55 – +55		



Obr. 2.8: Vypínač 3AP4 pro 800 kV (převzato z [7]).

3AT – Live tank

Hlavní charakteristika této řady spočívá v tom, že na rozdíl od řady 3AP se zde k ovládání používají výhradně hydraulické systémy. Jsou zde obsaženy vypínače se jmenovitým napětím od 245 kV do 800 kV. [7]

Tabulka 2.5: Jmenovité hodnoty ve skupině 3AT [7].

	3AT2/3	3AT4/5
Jmenovité napětí [kV]	245 – 550	362 – 800
Jmenovitý proud [A]	4000	
Maximální zkratový proud [kA]	80	
Jmenovitá frekvence [Hz]	50/60	
Provozní teplota [°C]	-25 – +50	

3AV – Live tank

Tato řada vypínačů používá jako zhášecí médium vakuum. Společnost Siemens je zatím jediná, která uplatňuje vakuové vypínače v oblasti pro 72,5 kV a výše. Jedná se ale zatím pouze o prototyp, který už podle oficiálních zdrojů firmy Siemens vyhovuje normě IEC 62271-100 pro 72,5 kV.

Tabulka 2.6: Jmenovité hodnoty ve skupině 3AV [7].

	3AV1
Jmenovité napětí [kV]	72,5
Jmenovitý proud [A]	2500
Maximální zkratový proud [kA]	31,5
Jmenovitá frekvence [Hz]	50/60
Provozní teplota [°C]	-55 – +40

2.2.2 Dead tank

Vypínače dead tank se označují jako skupina 3AP – Dead tank. Stejně jako u AP live tank technologie se k ovládání vypínačů v této skupině využívá pružinových mechanismů. Významnou charakteristickou vlastností 3AP dead tank vypínačů je to, že jsou schopny vypnout zkratový proud až 63 kA pouze s jednou zhášecí komorou. V oblastech s velmi

nízkými teplotami, firma Siemens na tyto vypínače přidává speciální vytápěcí zařízení, díky kterým výrazně rozšíří teplotní rozsah použitelnosti.

Tabulka 2.7: Jmenovité hodnoty ve skupině 3AP [7].

	3AP1	3AP2/3
Jmenovité napětí [kV]	72,5 – 362	550
Jmenovitý proud [A]	3150	4000
Maximální zkratový proud [kA]	63	
Jmenovitá frekvence [Hz]	50/60	
Provozní teplota [°C]	-55 – +55	



Obr. 2.9: Vypínač dead tank (převzato z [7]).

2.3 General electric



Obr. 2.10: Logo společnosti GE (převzato z [9]).

Další firma, která se významně podílí na výrobě výkonových vypínačů, se nazývá General electric (dále jen GE). Tato nadnárodní společnost vznikla v roce 1892 sloučením dvou firem, z nichž se jedna společnost podílela na financování výzkumu Thomase Edisona. V současné době se GE zabývá kromě energetického průmyslu také dopravou, finančnictvím a vlastní také několik mediálních společností. Výkonové vypínače vyvinuté firmou GE obsahují jmenovitá napětí od 72,5 kV do 800 kV. Na vypínače od jmenovitého napětí 420 kV a výše lze aplikovat tlumící odpory a paralelní kondenzátory.[8]

2.3.1 Live tank

Vypínače technologie live tank se jmenovitým napětím až 800 kV obsahují výhradně pružinový ovládací mechanismus. Skupina se označuje písmeny GL, za které se přidávají čísla od 309 do 318. Tato číslo značí pořadí dle velikosti jmenovitého napětí, tedy 309 pro 72,5 kV a nejvyšší 318 pro 800 kV. [9]

*Tabulka 2.8: Jmenovité hodnoty pro vybraná jmenovitá napětí skupiny GL (live tank) [7].
pozn. Maximální provozní teplotu výrobce uvádí pouze u některých typů.*

	GL 309	GL 311	GL 314	GL 316	GL 318
Jmenovité napětí [kV]	72,5	123	245	420	800
Jmenovitý proud [A]	2000	3150	4000		
Maximální zkratový proud [kA]	31,5	40	50		
Jmenovitá frekvence [Hz]	50/60				
Provozní teplota [°C]	-30 – +40		Od -60		



Obr. 2.11: Vypínač GL318 (převzato z [9]).

Dále se v označení může vyskytovat písmeno X. Například GL 318X má oproti GL 318 vyšší hodnoty parametrů jmenovitého proudu a maximálního zkratového proudu, ale vypínač s označením X je dimenzován pouze pro frekvence 50 Hz. Níže uvedená tabulka přehledně zobrazí rozdíly mezi tímto označením. [9]

Tabulka 2.9: Porovnání zařízení s označením X oproti běžnému označení [9].

	GL 318	GL 318X
Jmenovité napětí [kV]	800	
Jmenovitý proud [A]	4000	5500
Maximální zkratový proud [kA]	50	63
Jmenovitá frekvence [Hz]	50/60	50

2.3.2 Dead tank

Stejně jako live tank vypínače, i tato řada s označením DT využívá pro svou funkci pružinový mechanismus. Dead tank vypínače od GE dosahují jmenovitých hodnot napětí do 550kV. V označení za písmeny DT následuje číslice udávající počet zhášecích komor na jednom pólu (pouze pro 550 kV jsou použity 2 zhášecí komory, v ostatních případech vystačí pouze jedna). Poté následuje číslo dle jmenovité hodnoty napětí v kV. Dále se mohou v označení u některých typů vypínačů objevovat další písmena nebo čísla. Jelikož GE nabízí různé úpravy ovládacího mechanismu pouze pro určité napěťové hladiny a poslední znaky v označení symbolizují právě použitý druh pohonu. Vždy se ale jedná o úpravy pružinového mechanismu. Příkladem je označení DT1-72,5, tedy dead tank vypínač s jednou zhášecí komorou na jednom pólu pro napěťovou hladinu 72,5 kV. Níže uvedená tabulka zobrazí hlavní parametry řady DT pro vybraná jmenovitá napětí. [9]

Tabulka 2.10: Jmenovité hodnoty pro vybraná jmenovitá napětí skupiny DT [9].

	DT1-72,5	DT1-123	DT1-245	DT2-550
Jmenovité napětí [kV]	72,5	123	245	550
Jmenovitý proud [A]	1200 – 3000		3000 – 4000	3000 – 5000
Maximální zkratový proud [kA]	40			63
Jmenovitá frekvence [Hz]	50/60			

Zajímavostí je, že společnost GE nenabízí žádné dead tank vypínací zařízení pro napěťovou hladinu 420 kV jako je tomu u předchozích velkých výrobců. [9]



Obr. 2.12: Vypínač DT2-550 (převzato z [9]).

2.4 Mitsubishi electric



Obr. 2.13: Logo společnosti Mitsubishi electric (převzato z [10]).

Tato japonská společnost byla založená v roce 1921. Jelikož firma své produkty nabízí hlavně na asijském trhu, kde jsou rozmanité seismické podmínky, specializuje se pouze na vypínače technologie dead tank, které se uplatňují právě v těchto podmínkách. Všechny vypínače od Mitsubishi využívají pružinový mechanismus. Veškeré vypínače se označují jako SFMT. Před tímto označením se nachází číslo udávající napěťovou hladinu v kV, ale pouze orientačně. Za označením SFMT pak následuje velikost maximálního zkratového proudu v kA. Příkladem je vypínač s označením 500-SFMT-63, což značí vypínač se jmenovitým napětím 550 kV a maximálním zkratovým proudem 63 kA. Všechna zařízení jsou dimenzována pouze pro kmitočty 60 Hz. Vypínače jsou vyráběny pro napěťovou hladinu maximálně 550 kV. Pro tuto nejvyšší napěťovou hladinu lze dodat paralelní kondenzátory a tlumící odpory. [10]

Tabulka 2.11: Jmenovité hodnoty pro vybraná napětí skupiny SFMT [10].

	100-SFMT-40	300-SFMT-50	500-SFMT-63
Jmenovité napětí [kV]	123	362	550
Jmenovitý proud [A]	1200 – 4000	1200 – 3000	2000 – 4000
Maximální zkratový proud [kA]	40	50	63
Jmenovitá frekvence [Hz]	60		



Obr. 2.14: Ilustrační foto vypínače 100-SFMT-40 (převzato z [10]).

2.5 Toshiba



Obr. 2.15: Logo společnosti Toshiba (převzato z [11]).

Dalším výrobcem vypínacích zařízení pro asijský trh je firma Toshiba, která byla založena v roce 1965. Stejně jako u společnosti Mitsubishi se zde zabývají ze stejných důvodů pouze vypínači technologie dead tank, které jsou dimenzovány pouze na kmitočet 60 Hz pro maximální jmenovité napětí 245 kV. Vypínače jsou označeny písmeny TPB, za kterými následuje číslo udávající jmenovité napětí v kV. Na konci označení je číslo, které udává hodnotu maximálního zkratového proudu v kA. Příkladem je označení TPB123-40, tedy vypínač pro napěťovou hladinu 123 kV s maximálním zkratovým proudem 40 kA. Jelikož firma vyrábí vypínače s nejvyšším jmenovitým napětím 245 kV, není potřeba aplikovat přídatné paralelní kondenzátory a tlumící odpory. [11]

Použitý ovládací mechanismus se však z veřejně dostupných informací nedozvíme, protože obecně asijské firmy nejsou tolik otevřené veřejnosti, a proto nelze z jejich propagační literatury vyčíst více než základní informace.

Tabulka 2.12: Jmenovité hodnoty pro vybraná jmenovitá napětí skupiny TPB [11].

	TPB72-40	TPB123-40	TPB245-63
Jmenovité napětí [kV]	72,5	123	245
Jmenovitý proud [A]	2000 – 3000		2000 – 5000
Maximální zkratový proud [kA]	40		63
Jmenovitá frekvence [Hz]	60		
Provozní teplota [°C]	-55 – +50		-50 – +50

2.6 Končar



Obr. 2.16: Logo společnosti Končar (převzato z [12]).

Poslední uvedený výrobce v této práci bude firma Končar jako zástupce pro evropský trh. Firma sídlí dle [12] v Chorvatsku a byla založena v roce 1921 a výrobou výkonových vypínačů se zabývá od roku 1948.

Jelikož působí zejména na evropském trhu, kde jsou seismické podmínky mírně v porovnání s ostatními místy na Zemi, vyrábí pouze vypínače technologie live tank, které jsou právě vhodné do těchto klimaticky příznivějších oblastí. Paralelní kondenzátory firma nabízí pro napěťovou hladinu 550 kV, tlumící rezistory v jejich nabídce nejsou. Vypínače jsou poháněny pružinovým nebo hydraulickým mechanismem. Pružinový mechanismus je použit pro vypínače do jmenovitého napětí 145 kV a značí se jako řada 8, zatímco hydraulický od 245 kV do 550 kV a značí se jako řada 7. Řady se dále rozdělují do dvou podskupin na E1 a E2, což značí počet zhášecích komor na jednom pólu. Za označením řady je poté číslo udávající jmenovité napětí v kV. Příkladem je typ 7E2-420, tedy vypínač se dvěma zhášecími komorami na jeden pól pro napěťovou úroveň 420 kV. [12]

Tabulka 2.13: Jmenovité hodnoty pro vybraná jmenovitá napětí od firmy Končar [12].

	8E1-72,5	8E1-123	7E1-245	7E2-420	7E2-550
Jmenovité napětí [kV]	72,5	123	245	420	550
Jmenovitý proud [A]	4000				
Maximální zkratový proud [kA]	50			63	
Jmenovitá frekvence [Hz]	50/60				
Provozní teplota [°C]	-45 – +40				

2.7 Shrnutí portfolia

Je zřejmé, že mezi největší výrobce patří firmy ABB a Siemens. Jejich produkty jsou rozdělovány na několik podskupin, které se liší například druhem používaného ovládacího mechanismu. Vypínače pokrývají veškeré napěťové úrovně pro 72,5 kV a výše a pro každou napěťovou úroveň existuje hned několik druhů vypínačů. Z tohoto důvodu je značení jednotlivých vypínačů obtížnější než u ostatních firem. Firma ABB je navíc průkopníkem v používání CO₂ jako zhašecího média. Firma Siemens zase jako první přichází s vakuovým vypínačem pro 72,5 kV.

Dalším velkým výrobcem, který už tolik nevyčnívá, je společnost GE. V jejich nabídce nenajdeme žádné extrémní parametry vypínačů, ovšem běžné napěťové hladiny pro 72,5 kV a výše jsou tímto výrobcem pokryty více než dostatečně.

Mezi zástupce výrobců pro asijský trh patří firmy Mitsubishi a Toshiba. Obě tyto firmy se soustředí pouze na technologie dead tank a jejich produkty jsou dimenzovány pouze pro 60 Hz.

Jediná čistě evropská firma Končar vyrábí pouze vypínače technologie live tank, které jsou dimenzovány jak na kmitočty 50 Hz, tak i na 60 Hz.

Pro přehlednost si níže uvedeme tabulku s typickými vypínači od různých výrobců pro napěťovou hladinu 123 kV a maximální zkratový proud 40 kA.

Tabulka 2.14: Zobrazení rozdílů mezi vypínači technologie live tank od různých výrobců pro stejnou napěťovou hladinu 123 kV a maximální zkratový proud 40 kA.

Výrobce	ABB	Siemens	GE	Končar
Označení	LTB 123D1	3AP1-123	GL311	8E1-123
Jmenovitý proud [A]	3150	4000	3150	4000
Provozní teplota [°C]	-30 – +40	-55 – +55	-30 – +40	-40 – +40
Jmenovitá frekvence [Hz]	50/60			

Tabulka 2.15: Zobrazení rozdílů mezi vypínači technologie dead tank od různých výrobců pro stejnou napěťovou hladinu 123 kV a maximální zkratový proud 40 kA.

Výrobce	ABB	Siemens	GE	Mitsubishi	Toshiba
Označení	123PM40-B	3AP1-123	DT1-123	100-SFMT-40	TPB123-40
Jmenovitý proud [A]	3150	3150	3000	4000	3000
Provozní teplota [°C]	-40 – +40	-60 – +55	Neuvádí se		-55 – +55
Jmenovitá frekvence [Hz]	50/60			60	

3 Posuzované normy

Aby všechna vypínací zařízení sloužila k bezpečné ochraně distribuční sítě, musí výrobci své produkty vyrábět dle stanovených norem. Dalším úkolem norem je to, aby vypínače plnily zadané parametry a byly tak elektricky a mechanicky zaměnitelné.

3.1 IEC

„The International Electrotechnical Commission“ v překladu Mezinárodní elektrotechnická komise je nezávislá nezisková organizace založená v roce 1906. Komise sdružuje 170 zemí s globálním dosahem pokrývající 99,1 % světové populace a 99,2 % světové elektrické energie. Členové IEC jsou národní výbory a jmenují odborníky a delegáty z oblasti průmyslu, vládních orgánů, akademických obcí, aby se podíleli na technických a dozorcích pracích IEC. Desetitisíce odborníků, kteří s IEC spolupracují, zajišťují, aby produkty schválené IEC splňovaly všechna bezpečnostní opatření. Dále je IEC přední světovou organizací pro přípravu a vydávání mezinárodních norem pro celý elektrotechnický průmysl, jako je například naše zkoumaná řada 62271. [15]



Obr. 3.1: Logo organizace IEC (převzato z [32]).

3.1.1 IEC 62271

Norma IEC 62271 s hlavním názvem: „Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení“ obsahuje několik částí, které nahrazují dřívější normy vydané jednotlivými subkomisemi IEC (subkomise 17 A a 17 C). Veškeré části byly vydány v roce 2001. Následující tabulka ukáže zaměření u jednotlivých částí.

Tabulka 3.1: Obsah částí normy IEC 62271 rozdělený dle zaměření [16].

	Část	Obsah	Zodpovědné subkomise
62271	1 - 99	Obecná ustanovení	17 A + 17 C
	100 - 199	Spínací zařízení	17 A
	200 - 299	Instalace rozvaděčů	17 C
	300 - 399	Pokyny, reporty, atd.	17 A + 17 C

Každá podkapitola ale neobsahuje dalších 100 částí, jak by se to mohlo na první pohled zdát. Jedna větší kapitola je rozdělena na 100 částí z důvodu přehlednosti a pro možnost doplnění o další možné normy. V každé části je k datu vydání této bakalářské práce pouze několik norem. O jaké normy se konkrétně jedná, zobrazí následující tabulka.

Tabulka 3.2: Rozdělení normy 62271 na jednotlivé části [18].

Část	Název
1	Společná ustanovení
100	Vypínače střídavého proudu pro napětí nad 1 kV
101	Syntetické zkoušky
102	Vysokonapěťové odpojovače a uzemňovače střídavého proudu
103	Spínače pro jmenovitá napětí od 1 kV do 52 kV
104	Vysokonapěťové spínače pro jmenovitá napětí nad 52 kV
105	Vysokonapěťové kombinace spínačů s pojistkami
106	Vysokonapěťové stykače a stykačové spouštěče motoru
200	Kovově kryté rozvaděče na střídavý proud pro jmenovitá napětí od 1 kV do 52 kV
201	Izolačně kryté rozvaděče na střídavý proud pro jmenovitá napětí do 52 kV
202	Blokové transformovny vn a nn
203	Plynem izolované kovově kryté rozvaděče pro jmenovitá napětí 72,5 kV a vyšší
204	Pevná vysokonapěťová přenosová vedení pro jmenovitá napětí 72,5 kV a vyšší
300	Návod na hodnocení seismické odolnosti
301	Pokyny pro spínání indukční zátěže
302	Návod na provádění zkratových a spínacích zkoušek kovově krytých vypínačů a vypínačů s uzemněnou nádobou
303	Manipulace s fluoridem sírovým (SF ₆) a jeho použití ve vysokonapěťových spínacích a řídicích zařízeních
304	Doplňující požadavky pro rozvaděče pro jmenovitá napětí od 1 kV do 72,5 kV pro použití do ztížených klimatických podmínek
305	Kabelové koncovky pro plynem izolované kovově kryté rozvaděče pro jmenovitá napětí nad 52 kV
306	Přímé spojení mezi výkonovými transformátory a plynem izolovanými kovově krytými rozvaděči pro jmenovitá napětí nad 52 kV
307	Použití elektronických a souvisejících technologií v pomocných zařízeních spínacích a řídicích zařízeních
308	Pokyny pro zkušební sled T100a vypínání nesouměrného zkratového proudu

62271

Pro tuto práci je nejužitečnější část 100 s názvem: „Vypínače střídavého proudu pro napětí nad 1 kV“.

62271-100

Tato část řady norem s označením 62271 byla vydána v originále v anglickém a francouzském jazyce. Postupně se norma začala překládat do ostatních jazyků včetně jazyka českého. Česká verze s označením ČSN EN 62271-100 je s originální normou identická, přičemž na území ČR platí norma od jejího vydání spolu s dřívější platnou normou ČSN 35 4220 z roku 1997. Od září roku 2004 se zmíněná norma ČSN 35 4220 ruší a platí pouze norma ČSN EN 62271-100. [18]

Celá norma 62271-100 má v tištěné podobě necelých 340 stran a zaměřuje se na jmenovité hodnoty, konstrukci a provedení, typové zkoušky, běžné zkoušky při provozu a návody k údržbě a obsluze. [18]

Norma IEC 62271-100 se v mnoha kapitolách odkazuje na normu popisující společná ustanovení, tedy IEC 62271-1. Český ekvivalent ČSN EN 62271-100 se proto také odkazuje na normu se společným ustanovením, kterou je norma ČSN EN 60694, která dle [18] obsahuje stejné standardizované požadavky jako IEC 62271-1.

3.2 IEEE



Obr. 3.2: Logo organizace IEEE (převzato z [21]).

IEEE je taktéž nezisková organizace, jejíž hlavní sídlo se nachází v USA v New Jersey. Tato skupina vznikla v roce 1963 sloučením dvou již existujících organizací. [21]

První z nich byla organizace AIEE („American Institute of Electrical Engineers“), která vznikla roku 1884 jako jedna z prvních organizací v prvotních počátcích rozmachu elektrotechniky. Její první členové se soustředili zejména na studii telegrafů. S novými objevy Thomase Edisona se skupina AIEE postupně zaměřovala na silovou

elektrotechniku. AIEE na rozdíl od pozdější IEEE bylo uskupení komerční. O její komercializaci se zasloužily společnosti jako Siemens, General electric, atd... Činnosti, jako technická setkání, publikace a vydávání norem, zaštiťované touto organizací významně přispěly ke zviditelnění elektrotechnického vědního oboru po celém světě. [21]

Druhou skupinou, která vznikla v roce 1912, je organizace pod označením IRE („Institute of Radio Engineers“). Tato organizace byla ve svém začátku součástí AIEE, později se však díky svému rozmachu osamostatnila. Z názvu vyplývá, že se tato skupina zabývala hlavně telegrafii, rozhlasem a později i bezdrátovým přenosem informací. Organizace IRE také pořádala technická setkání a publikovala odborné články. [21]

Se stále většími poznatky o elektrotechnice si obě skupiny uvědomovaly, že silová a rozhlasová technika mají stále více společného a v roce 1963 se spojily pod názvem nynější IEEE („Institute of Electronics Engineers“). V současné době se IEEE zabývá veškerou elektrotechnikou, od počítačové techniky až po výrobu elektrické energie. Mezi její hlavní činnosti patří publikování vědeckých článků, vydávání norem a spolupráce na vzdělávacích programech. [21]

Součástí IEEE je podskupina IEEE-SA („IEEE Standards Association“), která se zabývá vydáváním norem. Mezi vydané normy patří i řada norem s označením C37.

3.2.1 C37

Řada C37 se zabývá spínacími zařízeními a dá se říci, že je ekvivalentem k řadě IEC 62271. Do řady C37 patří desítky dílčích norem zabývajících se od relé pro nízká napětí až po elektrické stanice pro vysoká napětí. Pro tuto práci jsou nejzajímavější normy týkající se samotných vypínačů. Zaměření těchto norem je popsáno v následující tabulce.

Tabulka 3.3: Přehled důležitých norem v řadě C37.

	Část	Název
C37	C37.04	Struktura požadavků pro výkonové vypínače
	C37.06	Výkonové vypínače hodnocené na základě symetrického proudu – doporučené hodnoty a požadované vlastnosti
	C37.09	Testovací postupy pro výkonové vypínače hodnocené na základě symetrického proudu
	C37.10	Návod na použití výkonových vypínačů hodnocených na základě symetrického proudu
	C37.012	Návod pro aplikaci při spínání kapacitních proudů pro AC vysokonapěťové vypínače
	C37.100	Obecné požadavky pro spínací zařízení nad 1 kV

4 Klíčové normalizované hodnoty

V této kapitole budou popsány klíčové parametry výkonových vypínačů pro jmenovitá napětí 72,5 kV a výše, které jsou dány normami. Následně bude uvedeno, jak normy IEC 62271 a IEEE C37 přistupují k těmto parametrům a jaké hodnoty jsou těmito normami standardizovány.

SIEMENS	
Typ 3AP1FI	Rok výroby / číslo 11/35117793
Jmenovité napětí U_n	123 kV
Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulsu U_p	550 kV
Jmenovitá frekvence f_r	50 Hz
Jmenovitý proud I_r	3150 A
Jmenovitý zkratový vypínací proud I_{sc}	40 kA
Jmenovitá doba zkratu t_k	1 s
Stejnosměrná složka jmenovitého vypínacího zkratového proudu	40 %
Činitel prvního pólu k_{sp}	1,5
Jmenovitý vypínací proud nezátíženého venkovního vedení I_l	31,5 A
Jmenovitý vypínací proud nezátíženého kabelového vedení I_c	140 A
Jmenovitý sled spínání	O-0,3s-CO-3min-CO
Jmenovitý plnicí tlak SF ₆ při +20°C	6,0 bar
Hmotnost náplně SF ₆ /na pól m	2,7 kg
Hmotnost/pól M	740 kg
Teplotní třída	-30...+40°C
IEC 62271 - 100	
427-30350-051	

Obr. 4.1: Štítek vypínače vyfocený na elektrické rozvodně Kletné.

4.1 Jmenovité napětí

Je hodnota napětí mezi fázemi, při kterém je vypínací zařízení v běžném provozu a bylo pro tuto hodnotu napětí navrženo a zkonstruováno. Velikost jmenovitého napětí se odvíjí od přenášeného napětí v distribuční síti. Značí se písmeny U_r a obě normy standardizují stejné hodnoty [19,20].

Tabulka 4.1: Řada normalizovaných hodnot jmenovitého napětí v kV [19,20].

	IEC	IEEE
U_r [kV]	72,5; 100; 123; 145; 170; 245; 300; 362; 420; 550; 800	

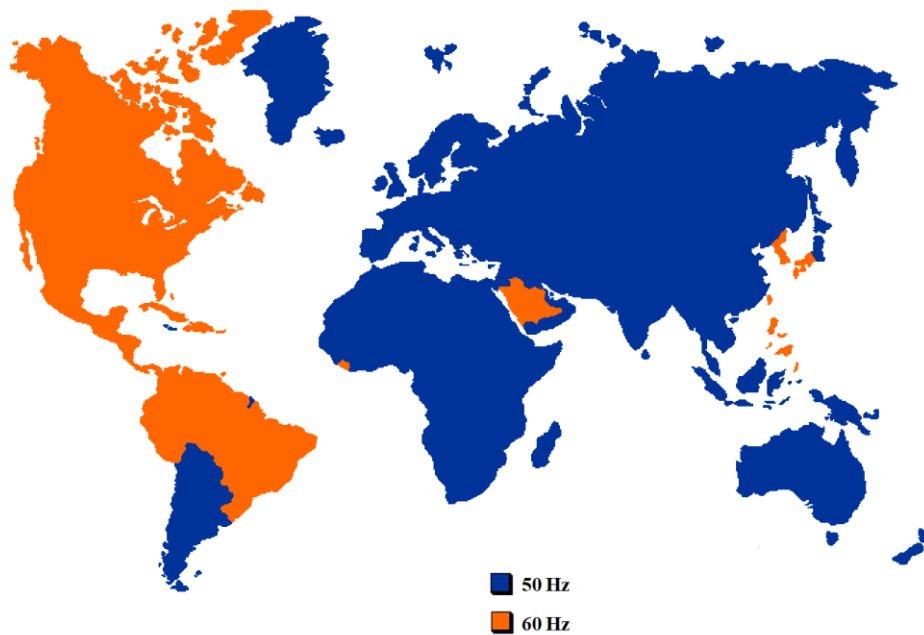
4.2 Jmenovitá frekvence

Hodnota jmenovité frekvence se stejně jako hodnota jmenovitého napětí odvíjí od frekvence přenášeného napětí v distribuční síti. Obě normy tedy dovolují použití 50 Hz a 60 Hz. Dle [17] se dále umožňuje použití hodnot frekvencí 16 2/3 Hz a 25 Hz, tyto hodnoty se však pro napěťové hladiny 72,5 kV a výše nepoužívají. Hodnota jmenovité frekvence se značí písmeny f_r [17,20].

Tabulka 4.2: Jmenovité hodnoty frekvencí [17, 20].

	IEC	IEEE
f_r [Hz]	50; 60	

Použití dané frekvence je určeno standardy daného území (státu), kde se distribuční síť nachází. Frekvence 60 Hz se používá zejména v Severní Americe, v severních státech Jižní Ameriky, v Brazílii a ve východních státech Asie včetně Japonska, kde je povolena i frekvence 50 Hz.



Obr. 4.2: Území použití frekvence 50 Hz a 60 Hz [22].

4.3 Jmenovitý proud

4.3.1 Renardova řada

Normy IEC a IEEE využívají pro hodnoty jmenovitých proudů tzv. „Renardovu řadu“ (R10). Francouzský inženýr Charles Renard odvodil tuto řadu v roce 1877 a v roce 1952 byla tato řada přijata mezinárodními normami ISO, později pak normami IEC a IEEE [24].

Řada R10 se dle [24] odvodí tak, že každé přirozené číslo od 1 do 10 se vydělí 10. Tento výraz je poté použit jako exponent s dekadickým základem. Výsledné číslo je poté zaokrouhleno a tvoří základ řady R10, která se dále dle potřeb posouvá o jednotlivé řády. Použitá hodnota jmenovitého proudu je pak pro lepší počítání zaokrouhlena. Následující tabulka přehledně zobrazí princip odvození řady R10 s výslednými jmenovitými hodnotami.

Tabulka 4.3: Princip odvození řady R10.

N	N/10	$A = 10^{N/10}$	× 1000	I_r [A]
1	0.1	1.259	1259	1250
2	0.2	1.585	1585	1600
3	0.3	1.995	1995	2000
4	0.4	2.512	2512	2500
.
.
.
10	1	10.000	10000	10000

4.3.2 Jmenovitý provozní proud

Je hodnota proudu, který protéká vypínačem v sepnutém stavu při běžném provozu. Při průtoku proudu roste teplota vypínače, a tak jsou hodnoty jmenovitého proudu navrženy právě s ohledem na rostoucí teplotu tak, aby teplota jednotlivých částí vypínače nepřesáhla určité meze a vypínač tak mohl spolehlivě plnit svou funkci. Jmenovitý proud se označuje I_r [19,20].

Jmenovité hodnoty proudu obsahují tedy hodnoty z řady R10. Norma IEEE navíc umožňuje použití zastaralých hodnot 600 A, 1200 A, 3000 A a 6000 A [20].

4.3.3 Jmenovitý zkratový vypínací proud

Je maximální hodnota proudu, kdy musí vypínací zařízení být schopno rozpojit kontakty a přerušit tak obvod. Při překročení této hranice budou silové účinky proudu tak velké, že vypínací zařízení nebude schopné rozpojit spínací kontakty, což povede k nárůstu teploty zařízení a tím i trvalému poškození. Jmenovitý maximální zkratový proud je značen I_k a jeho hodnoty jsou taktéž odvozeny z řady R10 [19,20].

Tabulka 4.4: Jmenovité hodnoty provozního a maximálního proudu [19, 20].

	IEC	IEEE
I_r [A]	R10	R10; 600; 1200; 3000; 6000
I_k [kA]	R10	

4.3.4 Jmenovitý špičkový výdržný proud

Je hodnota jmenovitého zkratového proudu v jeho maximu, což nastává během první půlplny poté, co zkratový proud vznikne. Značí se jako I_p [19,20].

Špičkový výdržný proud se odvíjí od frekvence. Dle obou posuzovaných norem se vždy jedná o násobek zkratového proudu I_k [19,20].

Tabulka 4.5: Požadavky na hodnoty špičkového výdržného proudu [19, 20].

		IEC	IEEE
I_p [kA]	50 Hz		2,5 x I_k
	60 Hz		2,6 x I_k

4.4 Stejnosemnná složka jmenovitého vypínacího zkratového proudu

Při vzniku zkratového proudu se hodnota proudu v obvodu nemůže měnit skokově, jelikož vedení má obvykle induktivní charakter a chová se tedy jako RL obvod, kde je proud stavová veličina. Jako kompenzace toho, že se proud nemůže měnit skokově, vzniká stejnosměrná složka, jejíž velikost závisí na tom, v jakém okamžiku dojde v obvodu ke vzniku zkratového proudu. Největší hodnota stejnosměrné složky nastane tehdy, když zkratový proud vznikne v obvodu v okamžiku průchodu napětí nulou. Naopak stejnosměrná složka nenastane vůbec, pokud zkrat vznikne v okamžiku průchodu proudu nulou, což je ale velmi malá pravděpodobnost, proto je obvykle každý zkrat tvořen určitou stejnosměrnou složkou a výsledný zkratový proud je nesymetrický. Stejnosemnná složka proudu se v obvodu vyskytuje po určitý čas, dokud zcela nezanikne. [31]

Velikost stejnosměrné složky lze dle [31] vypočítat pomocí následujícího vztahu:

$$i_{DC} = \sqrt{2} \times I_k e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.1)$$

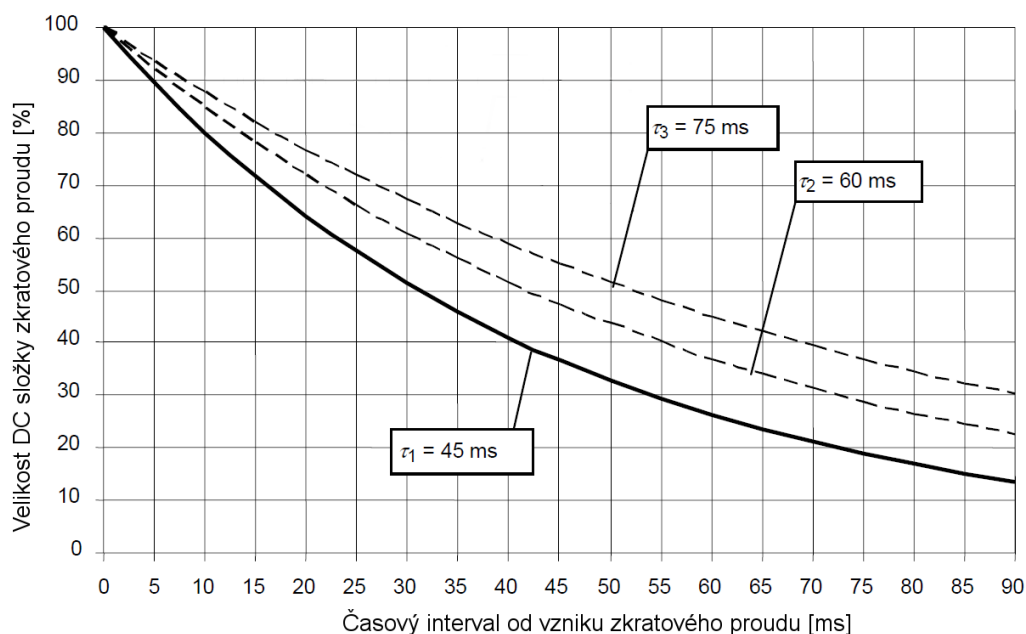
$$\tau = \left(\frac{X}{R}\right) \frac{1}{2\pi f_r} \quad (5.2)$$

Časová konstanta τ závisí, kromě jmenovité frekvence sítě, zejména na poměru reaktance a činného odporu vedení. Čím větší bude poměr X/R , tím bude větší časová konstanta a rozklad stejnosměrné složky bude pomalejší. [31]

Štítková hodnota stejnosměrné složky se dle [17] uvádí v % a ukazuje, kolika procenty stejnosměrné složky, v souladu s dobou τ , bude tvořen proud v okamžiku rozepnutí kontaktů vypínače. Standardní doba τ dle [19, 20] je nastavena na 45 ms. IEC dále umožňuje další speciální normalizované časové konstanty, které jsou uvedeny v tabulce níže. Tyto hodnoty lze použít pouze pro zařízení v určitých napěťových hladinách. Pokud není uvedeno jinak, rozumí se tím, že procentuální složka je v čase $\tau_1 = 45$ ms.

Tabulka 4.6: Časové konstanty τ a jejich možné použití. [19, 20].
pozn: * - hodnoty pouze dle [19].

	Časová konstanta	Použití
τ_1	45 ms	Standardní hodnota
τ_2	60 ms*	72,5 kV – 420 kV
τ_3	75 ms*	550 kV a výše



Obr. 4.3: Procentuální zobrazení velikosti stejnosměrné složky zkratového proudu [17].

Procentuální velikost stejnosměrné složky se poté vypočítá dle [18, 20] z následujícího vztahu:

$$\%DC = 100 \times e^{-\frac{T_{op} + T_r}{\tau}} \quad (5.3)$$

4.5 Jmenovitá doba zkratu

Tato hodnota je čas, během kterého musí být vypínací zařízení schopno přenášet zkratový proud a po uplynutí této doby rozpojit kontakty. Tento údaj je důležitý i pro obvod, který je připojen za vypínačem. Zařízení, která jsou v následujícím obvodu, musí být proto navržena s ohledem na to, že případný zkratový proud bude na zařízení působit například 2 sekundy. Posuzované normy udávají odlišnou dobu zkratu, avšak tolerují i ostatní možné časy. Doba zkratu se dle [19, 20] označuje zkratkou t_k .

Tabulka 4.7: Standardizované doby zkratu [19, 20].

	IEC	IEEE
t_k	1 s (možné i 0,5 s nebo 2 s)	2 s (možné i 0,5 s; 1 s a 3 s)

4.6 Jmenovitý sled spínání

Sled spínání uvádí intervaly mezi vypnutím a opětovném zapnutí vypínacího zařízení v případě poruchy například na distribuční síti. Údaj se uvádí dle [17, 20] ve tvaru:

$$O - t_1 - CO - t_2 - CO \quad (5.4)$$

Dojde-li na distribučním vedení k poruše, například ke zkratu mezi fázemi, vznikne zkratový proud, a uvnitř zhášecí komory se obvod přeruší. Obvod zůstává přerušený po dobu t_1 než vypínač znovu sepne kontakty. Trvá-li na vedení stále zkratový proud, zhášecí komora znovu přeruší obvod a kontakty zůstávají rozpojené po dobu t_2 . Všechny tyto spínací činnosti provádí vypínač automaticky pomocí akumulované energie v ovládacím zařízení. Po uplynutí doby t_2 vypínač sepne kontakty. Pokud zkratový proud stále trvá, vypínač rozezne kontakty a pro další sepnutí kontaktů je třeba spínací kontakty sepnout ručně.

Tabulka 4.8: Standardizované hodnoty sledu spínání [17, 20].

	IEC	IEEE
Standardizovaná hodnota	0 – 0,3 s – CO – 3 m – CO	0 – 15 s – CO – 3 m – CO
Další tolerované hodnoty	0 – 0,3 s – CO – 1 m – CO 0 – 0,3 s – CO – 15 s – CO	0 – 0,3 s – CO – 3 m – CO

Tento parametr je klíčový zejména pro činnost pohonného mechanismu, respektive pohonný mechanismus je navržen tak, aby stíhal kontakty sepnout po uplynutí daného času. Největší problémy bývají s časem t_2 , kdy například po době 15 s dle IEC nemusí být v pohonném zařízení naakumulovaná dostatečná energie pro sepnutí a opětovné rozpojení kontaktů.

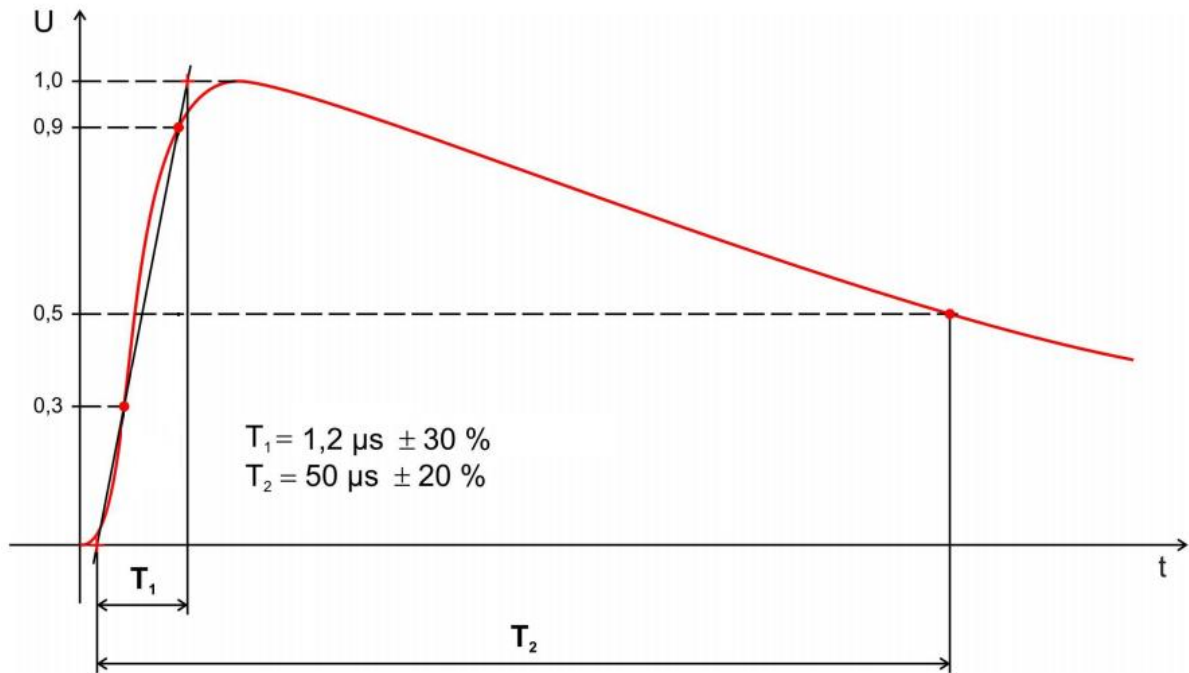
4.7 Izolační hladina

Izolační hladina je dána především dielektrickými vlastnostmi izolačního média ve zhášecí komoře. Hodnoty spojené s izolační hladinou udávají, jak velké napětí je možné přivést na kontakty vypínače v rozepnutém stavu, aniž by došlo k vytvoření elektrického oblouku, a tím k průtoku proudu. Izolační hladina je dána třemi parametry, kterými jsou: výdržné napětí při atmosférickém impulsu, krátkodobé střídavé výdržné napětí a výdržné napětí při spínacím impulsu.

4.7.1 Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém pulsu

Atmosférický puls je dle [17] a [20] demonstrován pomocí normalizovaného napěťového pulzu T_1/T_2 μ s. První časová konstanta T_1 je získána pomocí přímky, která protíná impulsní napětí ve velikost 30 % a 90 % jeho maximální velikosti. Doba T_1 je poté dána jako průsečík přímky s časovou osou a průsečíkem přímky s maximální hodnotou atmosférického pulsu. Hodnota T_2 je pak doba, kdy se hodnota napěťového pulzu sníží na polovinu. Přehledné znázornění atmosférického pulsu na obr. 4.4.

Normy IEEE a IEC používají k odvození výdržného napětí při atmosférickém pulsu shodně napěťový puls 1,2/50 μ s a i výsledné standardizované hodnoty jsou totožné [19, 20]. Napěťový puls bývá v praxi způsoben například úderem bouřkového blesku do vedení, což je důvod, proč je tento údaj důležitý a uvádí se i jako štítková hodnota s označením U_p a jedná se o hodnotu maximální.



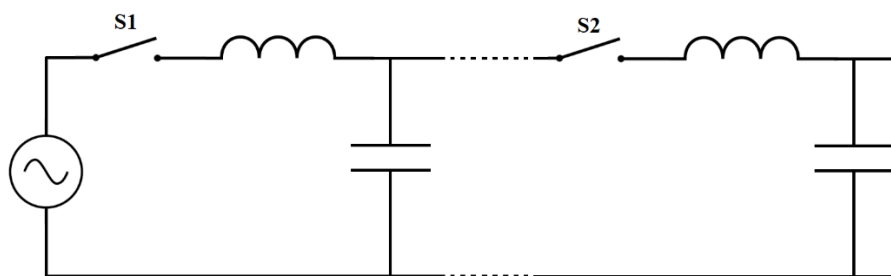
Obr. 4.4: Znárodnění normalizovaného napěťového pulsu [23].

4.7.2 Jmenovité krátkodobé střídavé výdržné napětí

Je hodnota, kdy se na vypínač v rozepnutém stavu přivádí střídavé výdržné napětí dle [19, 20] po dobu 1 minuty a značí se jako U_d .

4.7.3 Jmenovité výdržné napětí při spínacím impulsu

Spínací impuls nastává tehdy, je-li v obvodu zapojeno více vypínacích prvků jako je na obrázku 4.5.



Obr. 4.5: Schéma zapojení, kde může dojít ke spínacímu impulsu.

Dojde-li například k sepnutí spínače S2, zatímco S1 bude rozpojen, tak připojením zátěže, která má převážně induktivní charakter, vznikne v obvodu spínací impuls, který se objeví i na kontaktech spínače S1. Spínací impuls je standardizovaný puls 250/2500 μs , což znamená, že v porovnání s atmosférickým pulsem působí spínací impuls na izolační

médium mnohem delší dobu, tudíž izolace nesnese působení tak velkého napětí, jako jsou normalizovaná napětí pro U_p . Výdržné napětí při spínacím impulsu U_s se dle [19, 20] udává pouze pro jmenovitá napětí vyšší než 245 kV.

Tabulka 4.9: Zobrazení jmenovitých výdržných proudů charakterizující izolační hladinu pro vybraná jmenovitá napětí [19, 20].

U_r [kV]	U_d [kV]		U_p [kV]		U_s [kV]	
	IEC	IEEE	IEC	IEEE	IEC	IEEE
72,5	140		325		-	
123	185		450		-	
	230		550		-	
245	360		850		-	
	395		950		-	
	460		1050		-	
420	520		1300		950	
	520		1425		1050	
800	830		1800		1300	
	830		2100		1425	

Z tabulky 4.9 vidíme, že obě normy standardizují shodné hodnoty.

4.8 Činitel prvního vypínacího pólu

Při vypínání souměrného třífázového proudu každý vypínací pól přeruší proud při průchodu nulou. Pokud tedy vypne proud první pól, na ostatních dvou pólech stále protéká proud. Tato operace má za následek to, že na prvním pólu dojde mezi rozpojenými kontakty k přepětí. Velikost tohoto přepětí, vzhledem ke jmenovitému napětí, je označována jako činitel prvního vypínacího pólu, který se dle [17, 20] označuje k_{pp} .

K přepětí dochází i poté, co rozpojí kontakty druhý pól, zatímco třetí pól stále vede. Přepětí na druhém pólu je ovšem o hodně menší než na prvním pólu, a proto se běžně neuvádí.

Činitele prvního vypínacího proudu lze dále dle [29] odvodit ze vzorce:

$$k_{pp} = \frac{\text{Zotavené napětí}}{\frac{U_r}{\sqrt{3}}} \quad (5.5)$$

Zotavené napětí na svorkách vypínače vzniká z důvodu toho, že vedení připojené za vypínačem má obvykle indukční charakter a při rozepnutí kontaktů dochází právě k zotavenému napětí. Problematika zotaveného napětí ve vypínačích je velice rozsáhlá problematika, kterou se zabývá několik norem, jako například IEC 62271-100 [17] nebo IEEE C37.06 [30].

Hodnota koeficientu k_{pp} je různá pro systémy účinně uzemněné a neúčinně uzemněné dle tabulky 4.10.

Tabulka 4.10: Standardizované hodnoty koeficientu k_{pp} [17, 20].

	Uzemnění soustavy	IEC	IEEE
k_{pp}	Účinně uzemněná		1,3
	Neúčinně uzemněná		1,5

4.9 Nestandardní případy vypínání

Mezi nestandardní případy vypínání lze zařadit spínání kapacitních proudů. Ke spínání těchto speciálních forem proudu dochází v případech, kdy má vedení kapacitní charakter, což bývá dle [2] například v místech, kde dochází ke spínání kompenzačních nebo filtračních kondenzátorů, nebo při spínání nezatíženého venkovního či kabelového vedení. V takových místech lze činný odpor vedení zanedbat ($X \gg R$) a vedení tak vykazuje kapacitní charakter. Kapacitní proudy dosahují obvykle velikosti desítek až několik set ampérů, což by neměl být problém přerušit s ohledem na to, že vypínač je stavěn tak, aby vypínal zkratové proudy od velikosti desítek kiloampérů. V obvodech s kapacitním charakterem však dochází k předbíhání proudu před napětím o 90° elektrických, tudíž při průchodu proudu nulou se ve zhášecí komoře proud přeruší, ovšem napětí se bude nacházet ve svém maximu, což může vést k opakovanému průrazu mezi kontakty.

Hodnoty vypínacího proudu nezátíženého venkovního nebo kabelového vedení tedy udávají maximální hodnotu kapacitního proudu, při jehož vypnutí nedojde k opětovnému průrazu.

Norma IEC 62271 rozděluje vypínače do tříd C1 a C2 dle následující tabulky [17].

Tabulka 4.11: Specifikace tříd C1 a C2 podle [17].

C1	Vypínač s malou pravděpodobností průrazu při vypínání kapacitního proudu
C2	Vypínač s velmi malou pravděpodobností průrazu při vypínání kapacitního proudu

Jmenovitý vypínací proud nezátíženého venkovního vedení je dle [17] značen I_l a pro kabelové vedení značen I_c . Rozdíl mezi venkovním a kabelovým vedením je ten, že na venkovní vedení dle [28] působí ve značné míře klimatické podmínky, avšak oproti kabelovému vedení má delší životnost, vyžaduje jednodušší údržbu a umožňuje rychlejší odstraňování poruch. Hodnota I_l je povinná pro vypínače se jmenovitým napětím vyšším než 72,5 kV, na rozdíl od hodnoty I_c , která se pro napětí vyšší než 72,5 kV udává pouze tam, kde se očekává vypínání kapacitních proudů nezátíženého kabelového vedení nebo u vypínačů klasifikovaných, dle pravděpodobnosti průrazu, do třídy C1 [17].

Tabulka 4.12: Jmenovité hodnoty I_l a I_c pro vybraná jmenovitá napětí [17].

U_r [kV]	I_l [A]	I_c [A]
72,5	10	125
123	31,5	140
245	125	250
420	400	
550	500	

Normy z řady IEEE C37 nepředepisují standardizované hodnoty pro tyto parametry, ale stanovují jejich matematické výpočty, které jsou popsány v řadě C37.012 s názvem: „Návod pro aplikaci při spínání kapacitních proudů pro AC vysokonapěťové vypínače” [27].

4.10 Shrnutí přístupu norem ke štitkovým parametrům

Z předchozích kapitol je zřejmé, že obě normy přistupují k těmto klíčovým parametrům téměř shodně. Liší se například v tom, že jedna z norem obsahuje stejné hodnoty jako norma druhá a navíc obsahuje další hodnoty, jako je tomu v případě jmenovitého napětí nebo sledu fází. Největší rozdíl ve standardizovaných hodnotách je v době zkratu, kdy každá norma standardizuje jako primární hodnotu jiný čas. Delší doba zkratu znamená to, že vypínač musí být navržený tak, aby odolal působení zkratového proudu po delší dobu, hlavně z hlediska tepelných účinků proudu. Zařízení, která jsou připojena za vypínačem, musí být také navržena tak, aby vydržela působení delší doby zkratového proudu. Naopak při kratší době zkratu je důraz kladen na schopnost pohonného zařízení, které musí během předepsaného času rozepnout kontakty a přerušit tak zkratový proud.

Přístup řady norem IEEE C37 a IEC 62271 se liší v přístupu k nestandardním případům vypínání, kdy normy IEC 62271 stanovují přesné hodnoty, zatímco hodnoty v řadě IEEE C37 se stanovují pomocí matematických výpočtů.

Štitkové hodnoty na obr. 4.1 souhlasí se standardizovanými hodnotami uvedených v řadě norem IEC 62271.

Závěr

V úvodu práce byly stručně popsány principy činností vypínačů pro napěťové úrovně 72,5 kV a výše, ve kterých se nejčastěji uplatňují tlakoplynné vypínače využívající jako zhášecí médium plyn SF₆. Dále byly popsány jednotlivé části vypínacího zařízení, z důvodu snazšího porozumění následujících kapitol.

Z prozkoumání portfolia jednotlivých světových výrobců bylo zjištěno, že nabízené produkty se liší zejména v použitém druhu ovládacího mechanismu a v množství nabízených přídatných částí. U největších výrobců na trhu lze nalézt v nabídce vypínače technologie live tank i dead tank. Naopak menší výrobci nabízejí pouze jeden typ v závislosti na tom, na jakém trhu působí.

Dále je uvedeno, že za vydáváním norem stojí velké světové organizace. U posuzovaných řad norem IEC 62271 a IEEE C37 byla popsána zaměření dílčích norem. Poté byl vysvětlen význam jednotlivých klíčových parametrů uvedených na štítku vypínače s následným uvedením standardizovaných hodnot a porovnáním přístupů obou posuzovaných norem k těmto parametrům. Bylo zjištěno, že v těchto ohledech se normy liší pouze v několika případech, jako je například primární standardizovaná doba zkratu nebo v jejich přístupu k nestandardním případům vypínání.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Fluorid sírový SF₆. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2018-05-30]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/node/40>
- [2] Application Guide. *ABB AB* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1HSM%209543%2023-02en&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [3] NAVRÁTILOVÁ, Eva a Tomáš KOSTKA. *Elektrické přístroje* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/esp/el_pristroje_esp.pdf
- [4] Live Tank Circuit Breakers — Buyer's Guide. *ABB AB* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1HSM%209543%2022-00en&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [5] MCFADYEN, Steven. *Difference Between Live and Dead Tank Circuit Breakers* [online]. 11.11.2011, , 1 [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <http://myelectrical.com/notes/entryid/100/difference-between-live-and-dead-tank-circuit-breakers>
- [6] *Podpůrné materiály společnosti ABB* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <http://new.abb.com/high-voltage/AIS>
- [7] *Podpůrné materiály společnosti Siemens* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/energy/high-voltage/hv-switchgear/circuit-breakers.html>
- [8] *General electric* [online], poslední aktualizace 18. března 2018 [cit. 2018-03-19], Wikipedie. Dostupné z https://en.wikipedia.org/wiki/General_Electric
- [9] *Podpůrné materiály společnosti General electric* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: https://www.gegridsolutions.com/HVMV_Equipment/CircuitBreakers.htm
- [10] *Podpůrné materiály společnosti Mitsubishi electric* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://www.meppi.com/Products/PowerCircuitBreakers/HVGCBC/Pages/DeadTankCircuitBreakers.aspx>
- [11] High-voltage circuit breaker. *Toshiba* [online]. , 6 [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: https://www.toshiba.com/tic/datafiles/brochures/HV_Breaker_Brochure_Final.pdf
- [12] *Podpůrné materiály společnosti Končar* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: http://www.koncar-eva.hr/en/production_program/download/Brochures
- [13] STRÁNSKÝ, David, „*Diagnostika výkonových vypínačů*“. Západočeská univerzita Plzeň. 2013
- [14] DUFOURNET, Denis. *AC High-Voltage Circuit Breakers* [online]. 2017 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: http://www.ewh.ieee.org/soc/pes/switchgear/presentations/tp_files/2017-2_Tutorial_AC_HV_Circuit_Breakers_Dufournet.pdf
- [15] *IEC White Papers & Technology Reports* [online]. , 20 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: https://basecamp.iec.ch/download/iec-white-papers-flyer/?wpdmdl=179&ind=czgq63orCg6Pklq_j_xhHikiRCPCmm7suJoOhE3oGjU_2zwYCV8lxMwvEMmzmBp70HhQdlOyiIw-AUky9hkmzg
- [16] BISCHUR, Olaf. *IEC 62271 - Series standards for MV-Switchgear* [online]. , 25 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: http://www.highvoltage.org.tw/news_file/08.pdf
- [17] IEC 62271-100. *High-voltage switchgear and controlgear – part 100: Alternating-current circuit-breakers*. Geneva: International standart, 2008.
- [18] ČSN EN 62271-100. *Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení – část 100: Vypínače*

- střídavého proudu na napětí nad 1000V*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [19] ČSN EN 60694. *Společná ustanovení pro vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [20] IEEE Std C37.100.1. *IEEE Standard of Common Requirements for High Voltage Power Switchgear Rated Above 1000V*. New York: IEEE-SA Standards Board, 2007.
- [21] *Podpůrné materiály organizace IEEE* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://www.ieee.org/about/ieee-history.html>
- [22] Electrical systems. *Wikitravel* [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: https://wikitravel.org/en/Electrical_systems
- [23] LAURENC, Jiří. *Rázový impulz „Surge“* [online]. ZČU v Plzni [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~laurenc/download/emc-surge.pdf>
- [24] ISO 3:1973-04. *Preferred Numbers – Series of Preferred Numbers*. Geneva: International Standards Organization, 1973
- [25] Standard IEC 60947-2. *CsanyiGroup* [online]. 2010 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.csanyigroup.com/standard-iec-60947-2>
- [26] IEEE Std C37.04b. *IEEE Standard for Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis*. New York: IEEE-SA Standards Board, 2009.
- [27] IEEE Std C37.012. *IEEE Application Guide for Capacitance Current Switching for AC High-Voltage Circuit Breakers*. New York: IEEE-SA Standards Board, 2005.
- [28] Porovnání nadzemního a kabelového vedení. *CEZ DISTRIBUCE* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-media/vedeni-110-kv-novy-bor-varnsdorf/porovnaní-resení-nadzemního-a-kabelového-vedení.html>
- [29] DUFOURNET, Denis. *Transient Recovery Voltages (TRVs) for High-Voltage Circuit Breakers Part 1* [online]. 2013 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: http://www.ewh.ieee.org/soc/pes/switchgear/presentations/tp_files/2013-1_Thu_Dufournet.pdf
- [30] IEEE Std C37.06. *IEEE Standard for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis – Preferred Ratings and Related Required Capabilities for Voltage Above 1000V..* New York: IEEE-SA Standards Board, 2009.
- [31] JAJEDA, Prachal a Abhijeet SHRIVASTAVA. Effects of DC Components on Circuit Breaker. *International Journal of Science and Research (IJSR)* [online]. 2015 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.ijsr.net/archive/v4i10/SUB158832.pdf>
- [32] The International Standards Organization and International Electrochemical Committees (ISO and IEC). *COMMSCOPE* [online]. [cit. 2018-05-30]. Dostupné z: <https://www.commscope.com/Resources/Standards/Enterprise/ISO-and-IEC/>