

Posouzení spolehlivosti návrhu a provozu vypínačů vvn/zvn na základě výsledků mezinárodních průzkumů spolehlivosti

Vladimír Vajnar

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

vajnar@kee.zcu.cz

The Assessment of High-Voltage Circuit Breakers Reliability Based on the Results of International Reliability Surveys

Abstract – This paper deals with the topic of high voltage circuit breakers' reliability in relation to their design and service conditions. The motivation for the subject comes from multiple failures analyses and continuous efforts to maintain power systems safe and reliable. The paper contains evaluation of three international surveys done by CIGRE and it evaluates the trends in circuit breakers' reliability and its effects on design and service operations.

Keywords – CIGRE, circuit breakers, design, quenching chamber, reliability, service condition, survey,

I. ÚVODNÍ ČÁST

Vysokonapěťové vypínače tvoří zásadní část soustavy. Jelikož požadavky na bezporuchový provoz stále rostou, těší se toto odvětví velkému pokroku a distributoři a provozovatelé přenosových soustav se kontinuálně věnují tématu spolehlivosti. Pro zajištění co největší životnosti a minimální poruchovosti, je zapotřebí analyzovat poruchy a závady. Předmětem článku je vyhodnocení dat, které poskytlo mezinárodní sdružení CIGRE. Data pomáhají výrobcům zdokonalit své produkty a uživatelům podávají informace o nástroji, který si kupují. Na základě analyzovaných dat se inovují mezinárodní normy pro vysokonapěťové zařízení. V minulosti byly provedeny dva průzkumy spolehlivosti, ten poslední skončil v roce 1991. Od té doby se vývoj vypínačů posunul, proto v roce 2003 vznikla nová skupina (A3.06), která organizovala celosvětové šetření o provozu vysokonapěťových zařízení. V letech 1974–1977 byl proveden první průzkum, který obsahoval celkem 79 000 CB-years (veličina udávající velikost statistického vzorku, v podstatě *vypínač* × *rok*). Druhý průzkum (1988–1991) obsahoval podobné množství jako první průzkum, ale byl zaměřen pouze na vypínače s SF₆. Třetí průzkum je podobné struktury, tudíž jsou v mnoha případech podobné a porovnatelné a jeho cílem bylo srovnat co možná největší statistický soubor dat a vyhodnotit spolehlivost a poruchovost v závislosti na typu návrhového designu, provozu, konkrétní aplikace, stáří, umístění, atp.

II. METODOLOGIE POUVEDENÝCH PRŮZKUMŮ

První průzkum vypínačů byl proveden v letech 1974–1977. Výsledky měly významný dopad na normalizační práci komisi IEC, včetně mechanických a

environmentálních zkušebních postupů. Druhý průzkum vypínačů pokrýval téměř stejný počet vypínačů, ale byl omezen na vypínače s plynem SF₆. Údaje byly shromážděny v období 1988-1991. Pro každý typ zařízení byly použity dva formuláře, jeden k informacím o vybavení prvků a druhý pro selhání. První typ (*Population card*) byl vyplňován každý rok pro každý vypínač. Karta o selhání (*Failure card*) byla vyplněna vždy, když došlo k selhání. Je však důležité definovat správnou terminologii v rámci pojmu *selhání*. Tímto termínem míníme snížení, či úplnou ztrátu schopnosti plnit určitou funkci. Proto je důležité selhání dále rozdělit (porucha vs. závada).

Porucha – Major Failure (MaF)

Rozsáhlé selhání, které je většinou spojeno se spínacím, či řídicím prvkem. Způsobuje zastavení jedné nebo více základních funkcí. Jedná se o závažné selhání, tedy o odstavení systému minimálně na 30 minut. Dobu opravy vypínače nazýváme výpadek.

Závada – Minor Failure (MiF)

Drobné selhání, které nemá významný vliv na funkci vypínače, dochází k částečné ztrátě funkce. Může se týkat kompletní poruchy prvku, podprvku, který nezpůsobí závažné selhání, tedy nenaplní definici MaF.

Doplnění k terminologii

Na selhání a jeho zaznamenávání musíme pohlížet i z respektem k rozdílné klasifikaci jednotlivých subjektů. CIGRÉ definuje poruchu tak, že způsobí výpadek, k tomu mohou být přidány některé důsledky, jako je přenos energie na jiné trasy, či ztráta dodané energie. Některé utility používají ale jinou definici a mají jinak nastavené zaznamenávací nástroje. Jejich vnitřní statistika selhání se bude lišit od té, kterou by CIGRÉ vyžadovalo. Existuje však několik typů závažných poruch, které nevedou automaticky k výpadkům systému. To znamená, že nástroj, který zaznamenává pouze poruchy, které způsobují výpadky systému, nezaznamená veškeré závažné poruchy, které se vyskytnou, přičemž malé závady nemusí být vůbec registrovány. Tento rozpor způsobený různými definicemi selhání je faktor, který je třeba mít při analýze a interpretaci výsledků na paměti.

III. GLOBÁLNÍ POHLED NA STATISTICKÝ VZOREK

Údaje o vypínačích poskytlo 83 subjektů z 26 zemí, které patří mezi průkopníky na poli elektrifikace obyvatelstva i mezi státy spíše rozvojovějšího charakteru. Průzkum získal 281 090 CB-years. Je však nutné zmínit, že 79% CB-years pochází ze čtyř zemí, dokonce jedna země přispěla více než 39%, je tedy nutné veškeré závěry související s geografickým umístěním vypínačů interpretovat s maximální obezřetností. V rámci publikovaných závěrů je možné najít konkrétní rozdělení zkoumaného vzorku dle: *země původu, napěťových úrovní, konkrétní aplikace vypínače, typu pohonu či provedení*. O rozdělení celkové populace vypínačů a zastoupení jednotlivých kategorií pojednává celá kap. 2.4 uvedeného zdroje [1].

IV. SPOLEHLIVOST VYPÍNAČŮ V KRITICKÝCH UKAZATELÍCH

Celý soubor dat přinesl zajímavé výsledky. Většina vypínačů je instalována ve venkovních rozvodnách (87%), v napěťové třídě do 200 kV (71%). Analýza konkrétních aplikací vypínačů ukazuje, že nejčastějšími aplikacemi jsou úkoly spínání vedení (55%) a transformátorů (24%). Live tank vypínače vykazují ve srovnání s předchozím průzkumem zlepšení spolehlivosti. Frekvence selhání se snížila na polovinu předchozí hodnoty. Vypínače Live tank mají téměř trojnásobně vyšší frekvenci selhání

než Dead tank a GIS, které mají podobnou frekvenci selhání. Frekvence při poruše pohonů je 0,14MaF/100CB-years. Srovnáním této hodnoty s celkovou frekvencí poruchy 0,30MaF/100CB-years lze předpokládat, že přibližně polovina všech MaF je spojena s pohonem. Frekvence MaF, vzhledem k pohonům, je zhruba poloviční oproti předchozímu průzkumu. Stáří jednotlivých zařízení může mít velký vliv na charakteristiky a frekvence selhání. Existuje trend, který předkládá, že nové hydraulické pohony mají nižší frekvenci MaF než starší pohony.

TABULKA I. CELKOVÝ POČET A ROZDĚLENÍ UDÁLOSTÍ

Druh události	Provedení vypínače				Aktuální průzkum		Předchozí průzkum	
	Live tank	GIS (1p)	GIS (3p)	Dead tank	Celkově	[%]	Celkově	[%]
MiF	5 276	617	174	588	6 655	89	3 358	88
MaF	618	81	43	98	840	11	475	12
Celkem	5 894	698	217	686	7 495	100	3 833	100

Tab. I ilustruje celkový počet zaznamenaných událostí. Obsah ale opět naráží na nespécifické postupy jednotlivých subjektů a je tedy možné říci, že celkový počet závad (MiF) je obecně podhodnocený. Celkem malý počet událostí vzhledem k velikosti statistického vzorku vedle k nutnosti vyhodnocovat spolehlivost v poměru ke stu provozních let vypínače (100 CB-years). O celkovém počtu událostí pojednává kap. 2.5 uvedeného zdroje. Konkrétnější pohled na jednotlivé komponenty podává kap. 2.6, která zcela jasně identifikuje jako kritickou aplikaci vypínače spínání kompenzačních zařízení (tlumivek a kondenzátorů). To je způsobeno tím, že vypínané parametry jsou specifické co do velikosti proudu a napětí, tak i jejich fázovému posuvu a četnosti spínání. Toto uvádí Tab. II, která obsahuje i statistické vyhodnocení dat – střední očekávanou hodnotu a spodní a horní statistickou mez (odhad, H_{25%}, H_{75%}).

TABULKA II. FREKVENCE PORUCH VZHLEDEM K APLIKACI

Aplikace vypínače	Celková frekvence poruch (MaF/100 CB-years)						
	LT	DT	GIS1p	GIS3p	Odhad	H _{25%}	H _{75%}
Vedení	0,36	0,11	0,18	0,12	0,25	0,23	0,28
Transformátor	0,44	0,08	0,13	0,07	0,22	0,19	0,26
Kabel	0,44	0,07	0,04	0,05	0,09	0,05	0,15
Komp. tl.	6,79	1,17	0,66	2,09	2,46	1,98	3,02
Komp. kond.	1,96	0,39	0	0,17	1,04	0,83	1,3
PSP	0,52	0,15	0,27	0,1	0,33	0,27	0,4
Ostatní	0,51	0,36	0,36	0	0,44	0,27	0,69
Celkově	0,48	0,14	0,18	0,11	0,3	0,28	0,32

Průzkum však kromě kategorizace dílčích událostí věnoval souhrnnému pohledu na původ jednotlivých selhání a umožňuje tak provozovatelům identifikovat kritické součásti vypínačů. Toto je uvedeno v Tab. III. Je zřejmé, že velkým problémem je pohon, který způsobuje celkem mezi třetinou a polovinou všech MaF/MiF. Z jejich vzájemného poměru lze usoudit, že jen zhruba každá šestá závada se rozvine v plnou poruchu. Další, velmi zajímavý fakt ilustrují data pro těsnost plynového hospodářství, které způsobuje na 40% všech závad, ale jen velmi málo (7%) způsobí poruchu. To je způsobeno tím, že plynové hospodářství je technologicky náročné a k částečným

únikům SF₆ dochází zcela běžně. Naštěstí se ale jedná jen o částečné úniky, které jen málo ovlivní celkovou spolehlivost.

TABULKA III. PŮVOD ODPOVĚDNÝCH KOMPONENT ZA SELHÁNÍ

	Poruchy (MaF)	Závady (MiF)
Počet událostí	475	3 375
Mechanický v pohonné jednotce	203 (44%)	1 275 (39%)
Mechanický v jiné části	48 (10%)	319 (10%)
Elektrický (hlavní obvod)	64 (14%)	29 (1%)
Elektrický (ovládací a pomocné obvody)	113 (25%)	330 (10%)
Těsnost hospodářství SF ₆	33 (7%)	1 280 (40%)
Celkem	461 (100%)	3 233 (100%)
Neurčený původ	14	125

V. ZÁVĚR

Dostupnost dostatečného množství statistických dat je základním předpokladem umožňujícím posouzení spolehlivosti systému. Tato dostupnost umožňuje provozovatelům zlepšit správu životního cyklu vypínačů správným strategickým rozhodováním. Odtud plyne doporučení CIGRE, aby provozovatelé vyvinuli a udržovali definované postupy při správě informací a komplexní záznamy o selhání. Nejnovější průzkum CIGRE byl doposud nejrozsáhlejším průzkumem provozní spolehlivosti vypínačů, o čemž svědčí rozsáhlá populace vypínačů; jejich rozdělení ukázalo, že většina distribučních a přenosových vypínačů je instalována ve venkovních rozvodnách (87%) s nejčastější aplikací pro spínání vedení a transformátoru (55% a 24%), přičemž tyto ale nejsou nejporuchovější. Dominantní příčinou selhání MaF a MiF je opotřebení a stárnutí komponent a to pro všechny typy pohonů, které se kontinuálně ukazují být nejporuchovější součástí vypínače a doporučení tedy vyplývají směrem k optimalizaci údržby pohonu a zlepšení mechanických zkoušek. I zde je však situace příznivější s rozmachem pružinových pohonů (a téměř vytěsnění hydraulických a pneumatických) a souvisejícího materiálového inženýrství. Celková spolehlivost vypínačů SF₆ je však oproti předchozím průzkumům na zřetelně vyšší úrovni. Z celkového pohledu se spolehlivost zvýšila z 0,67MaF/100CB-years na hodnotu 0,30MaF/100CB-years. Téměř všechny klíčové ukazatele registrují zřetelný pokles. Je tedy zřejmé, že spolehlivost vypínačů nestagnuje, ale s vývojem nových technologií se stále proměňuje.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interních projektů SVK-2018-005 a SGS-2018-023.

LITERATURA

- [1] CIGRE WG A3.06, *Final Report of the 2004-2007 International Enquiry on Reliability of High-Voltage Equipment, Part 2 – Reliability of High Voltage Circuit Breakers*. CIGRE, 2012. ISBN: 978-2-85873-202-9
- [2] NOVÁK, V., *Analýza spolehlivosti vypínačů pro přenosové a distribuční sítě*. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, 2018.
- [3] LIU, Z., *Reliability analysis of Breaker Arrangements in High Voltage Stations*. Diplomová práce. Chalmers University of Technology, Švédsko, 2008.