

MONITOROVÁNÍ ČÁSTEČNÝCH VÝBOJŮ VE STATOROVÉM VINUTÍ SYNCHRONNÍCH GENERÁTORŮ

PARTIAL DISCHARGE MONITORING OF SYNCHRONOUS GENERATOR STATOR WINDING

Oto Mareček, Miloš Kaška a Milan Kasárník

TES s.r.o., Pražská 597, 674 01 Třebíč

Abstrakt

Výskyt částečných výbojů vypovídá o postupné degradaci izolačního systému statorového vinutí. Úroveň částečných výbojů je závislá na kvalitě izolace, uložení v drážkách a kvalitě polovodivé složky izolace. Postupně s degradací izolačního systému a s jeho stárnutím dochází ke zvyšování úrovně těchto výbojů. Tyto výboje mohou v konstrukčně slabém místě vytvořit podmínky pro vznik vodivé cesty a následný zkrat. Cílem on-line měření částečných výbojů statorového vinutí synchronních generátorů 1125 MW je včasná predikce závady izolačního systému generátoru ještě před rozvinutím závažné poruchy [1, 4].

Abstract

The presence of partial discharges indicates advancing degradation of stator winding insulation system. The level of partial discharges depends on the insulation quality, the quality of location in the grooves and quality of semi-conductive layer of the insulation. As the degradation and aging process of insulation system progresses the level of partial discharges increases. The discharges may create conditions for emergence of conductive path and subsequent short circuit especially where the structure is weak. The aim of on-line measurement of partial discharges of synchronous 1125 MW Generator stator winding is to provide an early prediction of the generator insulation failure well before the significant malfunction may occur.

Úvod

On-line systém monitoringu částečných výbojů synchronních generátorů 1125 MW typu 2H 682972/2-VH provádí měření částečných výbojů ve vinutí statoru generátorů v jednotlivých fázích přímo za chodu generátoru. Následně jsou naměřená data prostřednictvím datově komunikačního kanálu přenášena do nadřazeného monitorovacího systému elektro NEMES. Systém NEMES pak naměřená data (částečné výboje generátorů) zpracovává tak, že se provádí:

- archivace a vyhodnocení naměřených hodnot,
- synchronizace s ostatními měřeními analogovými a dvouhodnotovými signály,
- vizualizace dat software prostředky (WEB rozhraní) systému NEMES,
- rozesílání navolených varovných a alarmových hlášek (e-mailové služba),
- časová synchronizace se systémem jednotného času GPS [1].

V následujících kapitolách je ve stručnosti popsána teorie výskytu a měření částečných výbojů ve statorovém vinutí generátorů, princip a vlastní on-line systém měření částečných výbojů instalovaný na generátorech a prezentace výsledků měření za období let 2015 až 2017.

Teorie částečných výbojů generátorů

Částečné výboje jsou obecně elektrické výboje, které vznikají přechodnou ionizací plynu v mezerách izolačních systémů, jakmile elektrické namáhání překročí kritickou hodnotu napětí v oblasti nehomogenity prostředí. Synchronní generátory, které nebyly správně impregnovány, nebo byly v provozu řadu let při vysokých teplotách, mají tendenci ke vzniku plynových mezer (nehomogenit) v rámci izolace statorového vinutí v drážkách. Částečné výboje se budou tvořit

v těchto plynových mezerách za předpokladu překročení průrazného napětí mezery a vzniku volných elektronů [1].

Charakteristickou vlastností částečných výbojů je velmi rychlá nástupná hrana, vysoká frekvence po dobu trvání řádově desítky nanosekund a rychlé odeznění. Tyto výboje se opakují několikrát za dobu poloviny periody střídavého napětí. Na základě detekce velikosti a umístění částečných výbojů ve srovnání s kladnou a zápornou půlperiodou fázového napětí statoru generátoru lze také identifikovat oblast výskytu nehomogenit uvnitř izolace mezi vinutím a drážkou statoru: na povrchu vinutí, uvnitř izolace, na povrchu drážky statoru, případně mezifázová nehomogenita v čelech vinutí [1].

Příčinou vzniku nehomogenit izolace může být řada degračních poruchových mechanismů. Patří mezi ně především tepelná degradace izolace, časté změny zátěže stroje, chybná impregnace stroje, volné vinutí a nedostatečné odstupy vinutí [1].

Pro analytické hodnocení částečných výbojů je důležité hledisko provozních technologických podmínek, protože jen za shodných provozních podmínek je možné porovnávat jednotlivé záznamy a vyhodnocovat trendy změn jednotlivých parametrů [1].

On-line systém částečných výbojů generátorů 1125 MW

Pro on-line měření částečných výbojů dvou generátorů 1 a 2 (1125 MW, typ 2H 682972/2-VH) byly instalovány diagnostické přístroje TurboGuardII TCZ. Měřené úrovně částečných výbojů jsou následně přenášeny datovou komunikací do nadřazeného monitorovacího systému NEMES za účelem vizualizace, vyhodnocení a archivace.

Přímo ve vinutí statoru generátorů bylo instalováno celkem 6 ks SSC (Stator Slot Couplers) snímačů, vždy po dvou do každé fáze (vinutí statoru generátorů je konstrukčně řešeno jako dvojitá hvězda). Drážkový vazební člen – SSC snímač je nízkonapěťové směrové anténní zařízení, které detekuje elektromagnetickou energii z částečných výbojů. Každý SSC snímač má dva výstupy určené pro měření částečných výbojů, k nimž dochází ve statorové drážce (Slot) a v oblasti výstupu vinutí (EW – end winding). Tyto signály jsou pak pomocí koaxiálních kabelů přes plynotěsné průchodky (generátor je chlazený vodíkem) vedeny do analyzátoru (diagnostického přístroje). Do přístroje je také přiveden synchronizační signál (napětí statoru generátoru) určený pro přiřazení impulsů částečných výbojů k průběhu napětí a následně identifikaci oblasti výskytu nehomogenit uvnitř izolace. Prostřednictvím datové komunikace s nadřazeným systémem NEMES, určené pro přenos dat, jsou zpětně do analyzátoru on-line předávané hodnoty důležitých technologických veličin: činný a jalový výkon generátoru, napětí generátoru, teplota chladicí vody a tlak vodíku [1].

Aktuální hodnoty úrovně částečných výbojů pro jednotlivé drážky statorového vinutí generátoru, v nichž jsou umístěny SSC snímače, jsou vizualizovány prostřednictvím WEB rozhraní systému NEMES, viz obr. 1, včetně možnosti zobrazení časových trendů, viz obr. 2. Pro podrobnou analýzu velikosti a umístění částečných výbojů ve srovnání s kladnou a zápornou půlperiodou fázového napětí statoru generátoru za účelem identifikace oblasti výskytu nehomogenit uvnitř izolace mezi vinutím a drážkou statoru je využíván software PDView3 (součást dodávky diagnostického přístroje). Tento software je instalován na serveru systému NEMES.

Vyhodnocení měření částečných výbojů za období let 2015 až 2017

U obou generátorů 1 a 2 byla v období let 2015 až 2017 on-line měřena a vyhodnocována úroveň částečných výbojů ve vinutí statoru generátorů. Souhrnné výsledky pro měření v první fázi (U) za toto období jsou uvedeny v tabulce 1. Pro celkové zhodnocení stavu izolačního systému statoru generátorů se využívá hodnot Q_m [mV]. Výrobce analyzátoru doporučuje provádět porovnání s úrovní hodnot Q_m podobných generátorů.

U generátoru 1 jsou hodnoty Q_m v první fázi v drážce (Slot) č. 42 hodnoceny jako vysoké, protože 95 % sledovaných generátorů těmito analyzátory vykazuje nižší hodnoty. Stejně hod-

nocení platí pro čela vinutí (EW). V tabulce 1 jsou tyto hodnoty podbarveny šedou barvou. Ve druhé a třetí fázi jsou hodnoty Q_m v drážkách (Slot) hodnoceny jako průměrné ($< 90\%$) a v čelech vinutí (EW) jako malé ($< 50\%$). Rozložení impulsů částečných výbojů v první fázi v drážce (Slot) č. 42 vzhledem k periodě střídavého napětí odpovídá fázi a četnosti těchto impulsů typické aktivitě částečných výbojů uvnitř izolačního systému, viz obr. 3. Z uvedeného vyplývá, že izolační systém generátoru 1 je v horším stavu, avšak stabilizovaný, protože ve sledovaném období nebyly zjištěny jakékoli rostoucí trendy. [1, 2, 3]

U generátoru 2 jsou hodnoty Q_m hodnoceny jako zanedbatelné, protože jen 25 % generátorů, sledovaných těmito analyzátory, vykazuje takto nízké hodnoty, a to jak v drážkách, tak v čelech vinutí. Po dobu měření nebyly zjištěny žádné známky možného zhoršeného stavu izolačního systému generátoru 2 [1, 2, 3].

Závěr

On-line měření částečných výbojů velkých synchronních generátorů, jako jsou generátory 1125 MW typu 2H 682972/2-VH, patří v současné době k základním diagnostickým metodám vypovídajícím o stavu izolace statorového vinutí, včetně možnosti včasného varování na blížící se poruchu. Jako velmi užitečné se také jeví datové spojení s nadřazeným monitorovacím systémem NEMES především pro uživatelsky příjemný přístup k měřeným datům a možnosti rychlého vyhodnocení aktuálního stavu včetně časových trendů.

Literatura

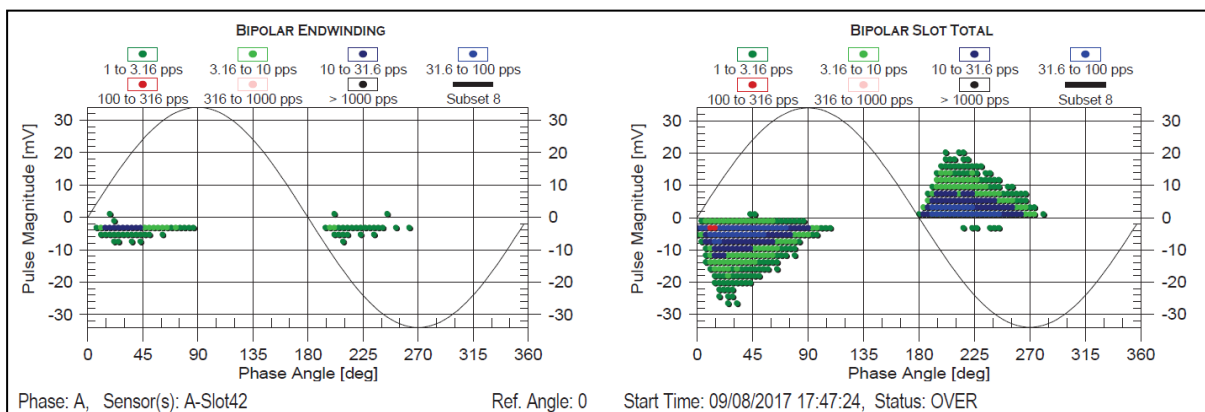
- [1] Kasárník, M. (2015): *Zpracování a vyhodnocení dat z diagnostiky částečných výbojů ve statoru turbogenerátorů 1000 MW na ETE (od uvedení do provozu za kampaň 2014 – 2015)*. Třebíč: TES s.r.o.
- [2] Kasárník, M. (2016): *Zpracování a vyhodnocení dat z diagnostiky částečných výbojů ve statoru turbogenerátorů 1125 MW na ETE (za kampaň 2015 – 2016)*. Třebíč: TES s.r.o.
- [3] Kasárník, M. (2017): *Zpracování a vyhodnocení dat z diagnostiky částečných výbojů ve statoru turbogenerátorů 1125 MW na ETE (za kampaň 2016 – 2017)*. Třebíč: TES s.r.o.
- [4] Kasárník, M. (2017): *Metodika pro výběr, zpracování a vyhodnocení dat z diagnostiky částečných výbojů ve statoru turbogenerátorů 1125 MW na ETE*. Třebíč: TES s.r.o.

Automatický rozsah														Částečné výboje generátoru ISP01D001 - automaticky volené citlivosti (měřicí modul INEMES-CVTG_A.1)													
Fáze	Senzor	Drážka	Citlivost [mV]	EW NQN+	EW NQN-	EW Q _m ⁺	EW Q _m ⁻	Slot NQN+	Slot NQN-	Slot Q _m ⁺	Slot Q _m ⁻	Stav měření	Čas měření [UTC+1h]														
U	U1	42	20-340	0	0	0	0	23.52	35.99	36	36	OK, Hodnoty přesáhly alarmovou mez (Alarm)	30.08.2018 13:23:31														
V	V1	14	50-850	0	0	0	0	0	0	0	0	OK, Impulzy pod rozsahem (UND)	30.08.2018 13:23:31														
W	W1	28	10-170	0	0	0	0	0	4.77	0	0	OK, Impulzy nad rozsahem (OVR)	30.08.2018 13:23:31														
U	U2	27	10-170	0	0	0	0	0	0	0	0	OK, Impulzy pod rozsahem (UND)	30.08.2018 13:23:31														
V	V2	41	10-170	0	0	0	0	6.02	13.42	0	11	OK	30.08.2018 13:23:31														
W	W2	13	10-170	0	0	0	0	0	0	0	0	OK, Impulzy nad rozsahem (OVR)	30.08.2018 13:23:31														
Provozní parametry generátoru ISP01D001 (zdroj parametrů: systém INEMES-ASRU_A)																											
P [MW]		Q [MVA]		U _C [kV]		t [°C]		P _H [kPa]																			
1071		31		23.43		33		510						30.08.2018 13:28:30													
Provozní parametry diagnostického přístroje																											
t [°C]																											
54.8														30.08.2018 13:28:30													
Alarmové PD meze Q _m v TurboGuard přístroji																											
nízká		vysoká		velmi vysoká																							
7 mV		18 mV		29 mV																							

Obr. 1: WEB rozhraní NEMES – úroveň částečných výbojů



Obr. 2: WEB rozhraní NEMES – trendy částečných výbojů v čase



Obr. 3: Rozložení impulsů částečných výbojů vzhledem k periodě střídavého napětí

Tabulka 1: Výsledky měření částečných výbojů za období let 2015 až 2017

Rok	Generátor 1			Generátor 2		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
P [MW]	1091	1085	1080	1080	1092	1090
U [kV]	23,1	23,4	23,5	23,4	23,6	23,5
T [°C]	24	26	27	27	27	26
P-H2[kPa]	507	512	508	500	506	509
Fáze / drážka	U1 / 42			U1 / 42		
Slot Qm+ [mV]	19	19	22	0	0	0
Slot Qm- [mV]	17	19	22	0	0	0
EW Qm+ [mV]	2	0	0	0	0	0
EW Qm- [mV]	5	7	6	0	0	0
Fáze/drážka	U2 / 27			U2 / 27		
Slot Qm+ [mV]	4	7	6	0	0	0
Slot Qm- [mV]	3	7	6	0	0	0
EW Qm+ [mV]	0	0	0	0	0	0
EW Qm- [mV]	0	0	0	0	0	0