

Hydrogenerátory s děleným státorem

Rada P., - BRUSH SEM s.r.o. Plzeň

Anotace

Dělení statoru velkých hydrogenerátorů bývá nutné převážně z důvodů výroby, dopravy nebo manipulace. Menší typy generátorů se dělí na poloviny, větší na třetiny nebo čtvrtiny. V místech styků jednotlivých dílů statoru vznikají významné magnetické nesymetrie, které se projevují zvláště při magnetizačních zkouškách a při měření průběhu hřídelových napětí.

V některých případech se magnetický obvod statoru skládá přímo na elektrárně a pak má magnetický obvod hydrogenerátoru charakter stroje neděleného, tedy bez významných magnetických nesymetrií.

Úvod

Nesymetrie magnetického obvodu statoru hydrogenerátoru lze rozdělit do dvou druhů. Do prvního patří nesymetrie způsobené skládáním magnetického obvodu z elektrotechnických plechů tvaru segmentů a to převážně s polovičním překrytím. Toto dělení je nutné z výrobních, technologických nebo ekonomických důvodů. Počet nesymetrií prvního druhu je pak v případě skládání s polovičním překrytím roven dvojnásobku počtu segmentů, v případě třetinového překrytí trojnásobku, atd. Nesymetrie druhého druhu, které jsou mnohem větší, jsou způsobeny dělením statoru na poloviny, třetiny nebo čtvrtiny atd. Jejich počet je dán počtem dílů statoru, tedy 2, 3, 4 atd.

Projevy nesymetrií prvního druhu jsou relativně malé a vyskytují se jak u statorů dělených tak i u statorů s magnetickým obvodem složeným vcelku.

Nesymetrie druhého druhu jsou způsobeny vkládáním vložek z izolačního materiálu o tloušťce cca 1mm mezi jednotlivé díly statoru, které se po stažení částečně deformují a ve výsledku představují vzduchovou mezeru o tloušťce cca 0,5 až 0,75 mm. Tyto nesymetrie jsou následně mnohem větší, než nesymetrie prvního druhu.

Magnetizace

Magnetizační zkouška je prováděna za účelem ověření kvality magnetického obvodu statoru. V magnetizačních závitcích protékajících magnetizačním proudem vzniká magnetické napětí, které vytváří ve jhu statoru magnetický tok odpovídající skutečným poměrům ve stroji.

U strojů s neděleným státorem je magnetické napětí dáno součinem intenzity magnetického pole H [A/m] pro jmenovitou indukci B [T] ve jhu statoru a délky siločáry odpovídající obvodu statoru l [m]. Intenzita magnetického pole H se odečte z magnetizační charakteristiky použitých elektrotechnických plechů pro indukci B . Tedy nesymetrie prvního druhu se neuvažují.

U strojů s děleným státorem je k tomuto magnetickému napětí nutno přičíst ještě magnetické napětí na spáry z nemagnetického materiálu. Toto napětí je dáno součtem magnetických napětí na jednotlivé spáry, které se vypočte jako součin intenzity magnetického pole H [A/m] ve vzduchu pro jmenovitou indukci ve jhu statoru B [T] a délky vzduchové mezery tvořené spárami, odpovídající tloušťce spár po stažení (cca 0,5 až 0,75 mm). Intenzita magnetického pole $H = B / \mu_0$, kde $\mu_0 = 4 * \pi * 10^{-7}$ [H / m].

Hřídelové napětí

Hřídelové napětí vzniká pulsací magnetického toku kolem hřídele. Jedná se tedy o kolísání magnetického toku jhem statoru způsobené nesymetriemi v magnetickém obvodu statoru při otáčení rotoru. Vzhledem k nelinearitě charakteristik elektrotechnických plechů není kolísání magnetického toku přímo úměrné absolutní velikosti magnetického toku. Největší změny magnetického toku a následně i největší hodnoty hřídelového napětí vznikají při cca 40 až 70 % jmenovitého toku. Část tohoto toku uzavírající se mimo hřídel se na vzniku hřídelového napětí nepodílí.

Velikost hřídelového napětí

Velikost hřídelového napětí lze určit ze vztahu :

$$U_h = 4,44 * f_h * \Delta\Phi \text{ [V]}$$

Kde : f_h ...frekvence kolísání magnetického toku [Hz]

$\Delta\Phi$...změna magnetického toku [Wb]

Frekvence hřídelového napětí

Frekvence hřídelového napětí je úměrná počtu nesymetrií na jeden pólpár. Platí základní vztah mezi počtem nesymetrií a počtem pólpárů :

$$\frac{j}{p} = \frac{d * a}{d * b} = \frac{a}{b}$$

Kde : j ... počet nesymetrií

p ... počet pólpárů

d ... největší společný dělitel mezi počtem nesymetrií a počtem pólpárů

Potom platí :

pro a ... sudé ...hřídelová napětí ani ložiskové proudy nevznikají

a ... liché ... hřídelová napětí vznikají a ložiskové proudy mohou vzniknout

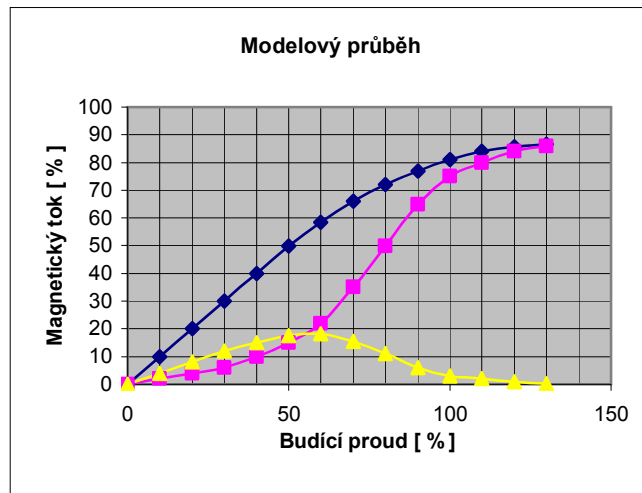
Frekvence hřídelových napětí a případně i ložiskových proudů je :

$$f_h = a * f$$

Kde : f ... je jmenovitá frekvence stroje ($f = 50$ nebo 60 Hz)

Velikost magnetického toku

Kolísání magnetického toku ve jhu lze odhadnout z rozdílu magnetických odporů částí jha s magnetickou nesymetrií a bez ní v závislosti na velikosti budícího proudu. Výrazně se zde projevuje nelinearita magnetického obvodu, kde k maximální hodnotě rozdílu magnetického toku ($\Delta\Phi$) a následně i velikosti hřídelového napětí (U_h) dochází cca mezi 40 až 80 % jmenovitého buzení.



Generátory ORLÍK

Magnetizace – měření – výpočet :

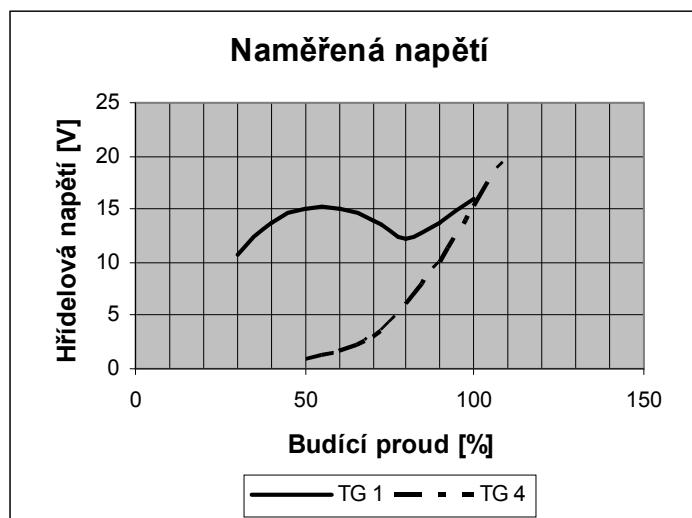
TG4 – měření – mag.obvod satoru složen vcelku - 21 závitů, 224 A, 4704 Az

TG4 - výpočet - pro $H = 200 \text{ A/m}$ a obvod jha 22,18m - 4436 Az, 21 závitů, 211 A

TG1 – měření - magnetický obvod dělený na čtvrtiny - 21 závitů, 345 A, 7245 Az

TG1 – výpočet - 4 „vzduchové mezery“ (cca $4 \times 0,75 = 3 \text{ mm}$) – zvýšení o 2674 Az, tedy $4436 + 2674 = 7110 \text{ Az}$, 21 závitů, 339 A

Měření hřídelových napětí na elektrárně :



Závěr

Po vyhodnocení naměřených a vypočtených hodnot magnetizací a hřídelových napětí lze konstatovat:

- Metodika výpočtu magnetizací, používaná v běžné praxi u TBG, je aplikovatelná i pro HDG s magnetickým obvodem statoru složeným v celku beze spár.
Pro HDG s děleným státorem je však nutno k magnetickému napětí na část složenou z elektrotechnických plechů přičíst ještě magnetické napětí na „vzduchové mezery“ vzniklé vložením izolací do spár mezi jednotlivé díly statoru.
- Vznik hřídelových napětí lze jednoznačně určit na základě poměru počtu nesymetrií a počtu pólpárů. Pro **a** – sudé – hřídelová napětí nevznikají ale pro **a** – liché – hřídelová napětí vznikají. U HDG s magnetickým obvodem složeným v celku se počítá jen s nesymetriemi 1 druhu ale u HDG s děleným státorem nutno počítat i s nesymetriemi 2 druhu.
- Vznik hřídelových proudů je, při existenci hřídelových napětí, podmíněn uzavřením elektrického obvodu. Vzniku hřídelových proudů lze tedy zamezit odizolováním alespoň jednoho z ložisek.
- Velikost hřídelových napětí lze určit jen přibližně, neboť nesymetrie v magnetických tocích jádra statoru závisí na cestách, kudy se magnetický tok uzavírá. Pouze ta část magnetického toku, která se uzavírá kolem hřídele indukuje odpovídající hřídelové napětí, a proto jsou i v literatuře uváděny jen podmínky vzniku hřídelového napětí a jeho frekvence a nikoliv jeho velikost.
- Velikost hřídelových napětí, měřená běžnými voltmetry v závislosti na budícím proudu, vykazuje odlišné průběhy v závislosti na uspořádání magnetického obvodu statoru. U HDG s děleným státorem, vzniká tzv. „hrb“, který se u HDG s neděleným státorem nevyskytuje.
- Oscilografický záznam hřídelových napětí bezpečně identifikuje frekvence způsobené nesymetriemi 1 i 2 druhu.

Autor

Ing. Petr Rada, CSc; BRUSH SEM s.r.o. Plzeň, Edvarda Beneše 39, 301 00 Plzeň,
e-mail: prada@sem.fki-et.com