

Dlouhodobý monitoring torzních vibrací velkých turbogenerátorů

Sven Künkel¹, Jindřich Liška, Jan Jakl

1 Úvod

Torzní vibrace rotujících strojů mohou představovat skrytou hrozbu z hlediska jak rizika škod na samotném stroji tak i enormních finančních ztrát plynoucích z odstávky stroje při jeho opravě. Z fyzikální podstaty buzení torzních vibrací rotorů turbogenerátorů (TG) v elektrárnách se navíc závažnost této problematiky v posledních letech, kdy se postupně mění struktura energetiky, ještě zvyšuje, viz také Walker (2005).

Měření torzních vibrací rotujících strojů je netriviální úlohou s vysokými nároky na hardwarové vybavení i na následné zpracování naměřených signálů. Metodu měření a vyhodnocení torzních vibrací publikovanou např. v Liška (2019) implementovali autoři do systému TVMS, který byl do dnešního dne instalován na čtyřech elektrárnách v ČR i ve světě, celkem na sedmi TG. Ve své nejpokročilejší formě funguje systém na trojici zahraničních TG o celkové kapacitě 640 MW, kde je informace o aktuální hodnotě torzních vibrací v reálném čase předávána do ochranného systému elektrárny.

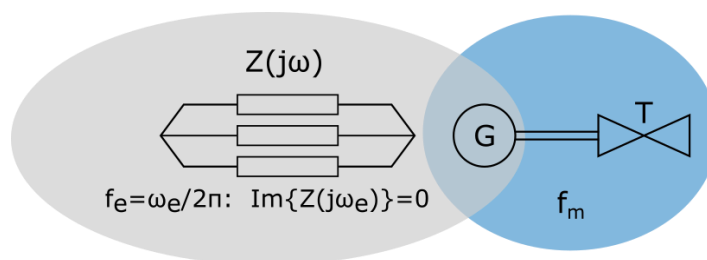
V následující části budou detailněji popsány a vybranými vyhodnocenými signály ilustrovány hlavní mechanismy vybuzení torzních vibrací.

2 Subsynchronní rezonance a další zdroje buzení torzních vibrací

Známým jevem ohrožujícím TG nadměrnými torzními vibracemi je subsynchronní rezonance. Jde o stav samobuzených oscilací torzních kmitů TG vlivem existence oscilujících proudů ve statorovém vinutí TG, blíže viz Kilgore (1977). Nutnou podmínkou SSR je, aby pro vlastní frekvenci f_e elektrických oscilací soustavy síť + generátor a vlastní frekvenci torzních kmitů f_m platil vztah

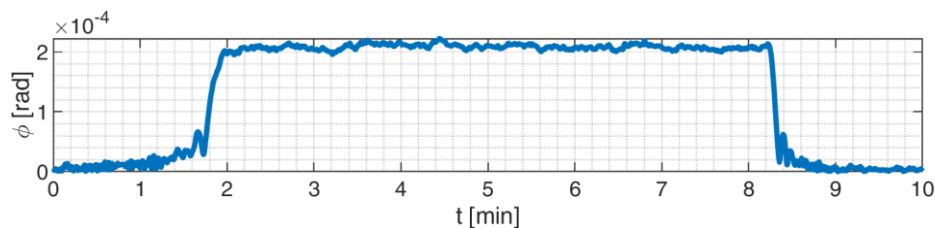
$$f_e = 50 - f_m. \quad (1)$$

Zejména v současné době, kdy se pro zvýšení kapacity dlouhých přenosových linek používají sériové kapacitory, nabývá problém SSR a její detekce na významu. Na obr. 1 je zjednodušené schéma elektro-mechanického systému, na obr. 2 je ukázka průběhu amplitudy torzních vibrací na 380 MW TG, který s velkou pravděpodobností souvisí s SSR.



Obrázek 1: Zjednodušené schéma elektro-mechanického systému: elektrizační síť + TG.

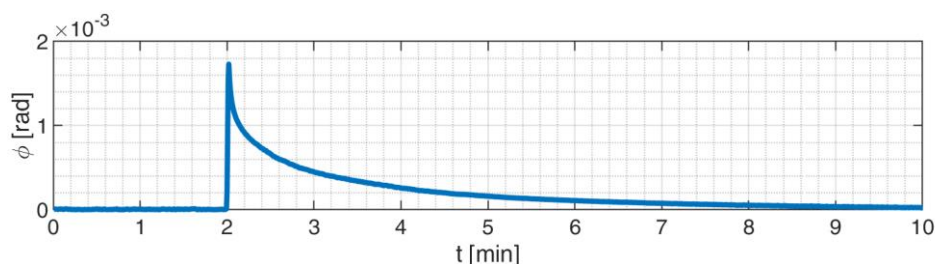
¹ student doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Kybernetika, e-mail: kunkel@students.zcu.cz



Obrázek 2: Časový průběh amplitudy torzních vibrací při subsynchronní rezonanci.

Dalším zdrojem buzení torzních vibrací je nesymetrie trojfázového napětí v elektrizační soustavě. Lze dokázat, že jak nesymetrie amplitudová tak i fázová způsobí harmonické kolísání momentu ve vzduchové mezeře generátoru s frekvencí dvojnásobku otáčkové frekvence, tj. 100 Hz. Podobný efekt má také neharmoničnost napětí, při které časový průběh napětí obsahuje vyšší harmonické složky, které opět vedou na dodatečné oscilující komponenty momentu ve vzduchové mezeře a z toho plynoucí torzní buzení rotoru TG. K problémům tohoto druhu v posledních letech přispívá využívání obloukových pecí, vysokovýkonových frekvenčních měničů v motorech a střídačů ve fotovoltaických elektrárnách.

Další velkou zátěž představuje náhlé odpojení generátoru od elektrizační sítě. Rotor, který byl na začátku torzně deformován momentem přenášeným od turbíny ke generátoru, je okamžikem odpojení generátoru od sítě jednostranně odlehčen a původní deformační energie se začne částečně přeměňovat na kinetickou energii torzních kmitů. Charakteristickou vlastností torzních kmitů nezátíženého rotoru je extrémně dlouhá časová konstanta, řádově až minuty. Ukázkou časového průběhu amplitudy torzních vibrací 380 MW stroje při vypínací zkoušce z plného výkonu ukazuje obr. 3.



Obrázek 3: Časový průběh amplitudy torzních vibrací po vypínací zkoušce generátoru dokazující extrémně velkou časovou konstantu tlumeného děje.

Poděkování

Příspěvek byl podpořen grantovými projekty PUNTIS-LO1506 a SGS-2019-020.

Literatura

- Kilgore, L., A., Ramey, D., G., Hall, M., C. (1977) Simplified transmission and generation system analysis procedures for subsynchronous resonance problems. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-96, 6, pp 1840-1846.
- Liška, J., Jakl, J., Künkel, S. (2019) Measurement and evaluation of shaft torsional vibrations using shaft instantaneous angular velocity. Proceedings of ASME Turbo Expo 2018: Turbomachinery Technical Conference and Exposition, pp 1-6.
- Walker, D., N., Giesecke, H. (2005). Steam Turbine-Generator Torsional Vibration Interaction with the Electrical Network: Tutorial". EPRI, Palo Alto, CA.