

## Určení geometrie enkodéru v úloze monitoringu torzních vibrací

Sven Künkel, Jindřich Liška, Jan Jakl

### 1 Úvod

Tento článek je volným pokračováním předchozích publikací stejných autorů, které se zabývají problematikou měření a vyhodnocení torzních kmitů rotoru turbogenerátoru. Základní popis (základního) algoritmu lze nalézt např. v Liška et al. (2019). Torzní vibrace se zde vyhodnocují z vypočítané okamžité úhlové rychlosti rotoru, která je počítána z dat získaných z měření inkrementálním enkodérem. Konkrétně, úhlová rychlost je počítána jako podíl úhlových přírůstků ku časovým přírůstkům na jednotlivých mezerách enkodéru. Za časové přírůstky jsou při tom dosazeny aktuálně měřené časy, jako úhlové přírůstky jsou použity dlouhodobé, dvou sekundové průměry. U těchto průměrů se předpokládá, že díky jejich délce se eliminuje vliv torzních vibrací (majících vlastní frekvence v řádu desítek Hz), naopak případné změny geometrie enkodéru zůstanou zachovány (časové konstanty těchto dějů jsou v řádu desítek minut a více).

Cílem tohoto textu je odbornými argumenty upozornit na fakt, že prosté průměrování časových přírůstků automaticky negarantuje eliminaci vlivu torzních vibrací, naopak může docházet k nečekaným, leč matematicky vysvětleným fenoménům, jejichž neznalost však může vést k mylným závěrům.

### 2 Obrázky, tabulky a rovnice

Definujme relativní chybu v určení vybrané mezery jako rozdíl vypočítané a skutečné šířky mezery normovaný průměrnou šířkou mezery enkodéru s  $N$  mezerami podle rovnice

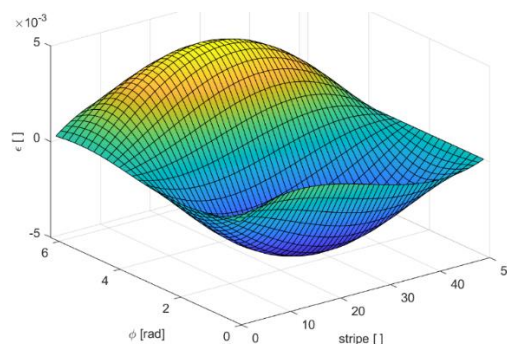
$$\epsilon \triangleq \frac{\varphi^* - \varphi}{2\pi/N}. \quad (1)$$

Nechť dále okamžitá úhlová poloha rotoru je předepsána rovnicí

$$\varphi = \omega_{rot}t - \frac{A}{2\pi f} \cos(2\pi ft + \phi) + \frac{A}{2\pi f} \cos(\phi). \quad (2)$$

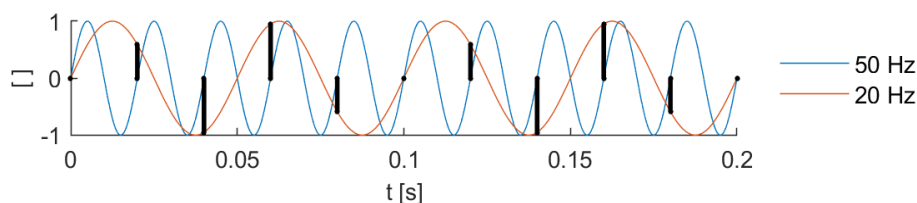
Rovnice (2) je pro neznámou  $t$  transcendentní rovnicí, jejíž analytické řešení se hledá obtížně. Pomocí programu Matlab byla nicméně snadno vykreslena závislost  $t = t(\varphi, \phi)$ . Obrázek 1 na první pohled vzbuzuje dojem, že průměrování napříč celým intervalem počátečních fází  $\phi$  kompenzuje chybu  $\epsilon$ , a ta je tak nulová. V praxi ovšem nedochází k průměrování přes kontinuální interval  $0 < \phi \leq 2\pi$ , nýbrž přes diskrétní hodnoty  $\phi$ , jejichž množina je dána hodnotou vlastní frekvence torzních

kmitů  $f$  a nominální otáčkové rychlosti rotoru  $\omega_{rot}$ .



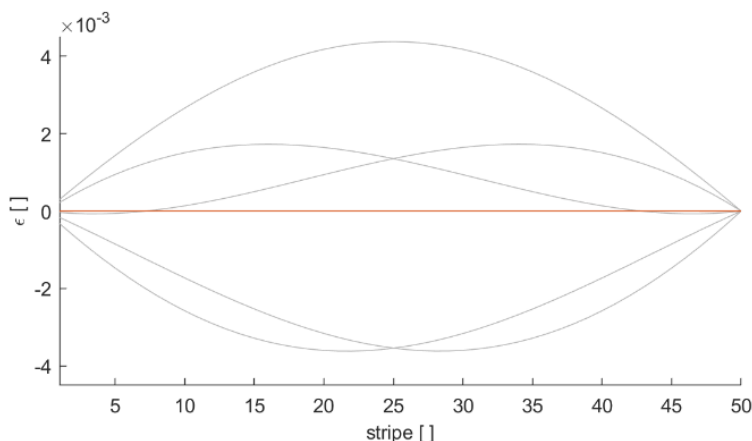
Obrázek 1: Chyba v určení šířky mezery.

Pro lepší představu je na obr. 2 ukázána vzájemná poloha dvou harmonických funkcí s frekvencemi 50 Hz (otáčení rotoru) a 20 Hz (aditivní torzní kmitání). Svislé černé čáry znázorňují počáteční fázi torzní komponenty na začátku každé otáčky rotoru. Je vidět, že v této konfiguraci existuje pouze 5 jedinečných počátečních fází.



**Obrázek 2:** Vzájemná poloha dvou harmonických funkcí s různými frekvencemi.

Lze ale ukázat, že průměrování i v tomto případě eliminuje efekt torzního kmitání. Ilustruje to obr. 3, na němž jsou šedou barvou vyznačeny půlperiody pěti harmonických funkcí s počátečními fázemi podle obr. 2.



**Obrázek 3:** Eliminace torzní komponenty průměrováním.

Uvedené argumenty jsou jen velmi povrchním náhledem na analýzu, která je předmětem výzkumu autora a která jistě bude v blízké době publikována i na jiném místě a v přiměřenějším rozsahu.

## Poděkování

Příspěvek byl podpořen grantovými projekty PUNTIS-LO1506 a SGS-2022-022.

## 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.