

DYNAMICKÁ MĚŘENÍ NA PARNÍCH TURBINÁCH

Ing. Jiří Vobořil, CSc.

Státní výzkumný ústav pro stavbu strojů, Praha

Při proměřování napjatosti u složitých strojních celků, zejména při dynamickém namáhání, se naráží na značné technické problémy. Názorným příkladem jsou dynamická měření na parních turbinách. V případě, kdy se sledovaná část stroje pohybuje, nebo informace o napjatosti se přímo velmi složitě získává, je nutno sledovat jiné parametry strojní části a ze zjištěných hodnot usuzovat na velikost namáhání příslušných dílů.

Velmi často se naznačený problém řeší tak, že se využívá znalosti rozložení napjatosti z laboratorního měření a pro zjednodušené vyhodnocení periodického namáhání se použije hodnocení výchylky, případně rychlosti pohybu určitého bodu strojního dílu. Ze znalosti změn amplitudy sledované veličiny lze usuzovat na změny napjatosti v kritických uzlech velkého soustrojí.

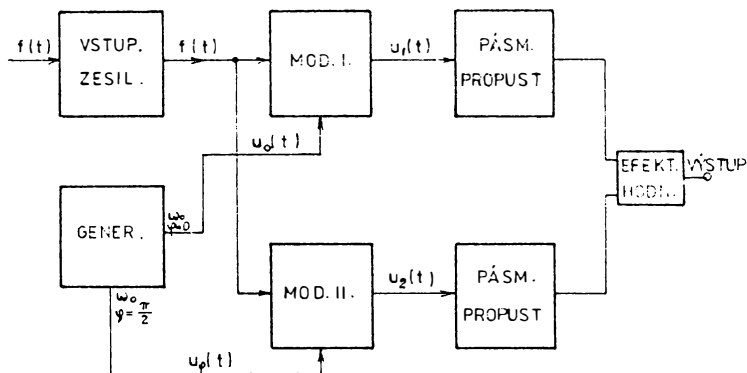
Známe-li např. amplitudu výchylky konce lopatky parní turbíny při kmitavém pohybu, lze odvodit informaci o rozložení napjatosti na lopatce, zejména pak v některém kritickém bodě (otvor pro tlumicí drát, patka a pod.). Sledujeme-li v provozu podmínku dodržení zadané úrovně namáhání v kritickém bodě, převádíme tuto úlohu na sledování velikosti amplitudy výchylky kmitavého pohybu.

Praktické měření bývá obtížně realizovatelné také proto, že sledovaná informace o pohybu příslušného dílu tvoří pouze část celkového signálu, který bývá ještě výrazně zatížen šumem.

Jedna z metod vyhodnocování signálu, který je výrazně překrýván nežádoucím šumem, je metoda rozšířené modulační analýzy. Princip zpracování signálu vychází ze základních vztahů Fourierovy analýzy aplikovaných na modulační proces s klíčovými modulátory. Systém modulátorů s výhodou pra-

cuje v režimu s odtaněným nosným kmitočtem. Nosný kmitočet o frekvenci ω_0 se může měnit v širokém frekvenčním rozsahu a tím lze prošetřit potřebné kmitočtové pásmo sledovaných průběhů. V důsledku frekvenční transformace je výrazně potlačena šumová složka vstupního signálu a velmi jednoduše je možno realizovat vysokou rozlišovací schopnost systému.

Základní blokové schéma systému je uvedeno na obr. 1



OBR.1

Průběh modulačního napětí $u_0(t)$, které má obdélníkový tvar, lze vyjádřit pomocí Fourierova rozvoje ve tvaru

$$u_0(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\sin(2k+1)\omega_0 t}{2k+1} \quad (1)$$

Stejným způsobem lze také vyjádřit vztah pro průběh modulačního napětí $u_\varphi(t)$, které je fázově posunuto proti původnímu průběhu o $\varphi = \frac{\pi}{2}$, ve tvaru

$$u_g(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{\cos(2k+1)\omega_0 t}{2k+1} \quad (2)$$

Výsledný modulační produkt, vzniklý ze vstupního signálu $f(t)$ při použití modulačního průběhu, který je charakterizován rovnicí (1), lze popsat základním vztahem (3). Tento obecný výraz lze upravit na rovnici (4).

$$u_1(t) = f(t) \cdot u_g(t) \quad (3)$$

$$u_1(t) = \frac{2}{\pi} \left[2a_0 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2k+1} \sin(2k+1)\omega_0 t + \sum_{z=1}^U \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2k+1} \left[a_z (\sin[(2k+1)\omega_0 - z\omega] t + \sin[(2k+1)\omega_0 + z\omega] t) + b_z (\cos[(2k+1)\omega_0 - z\omega] t - \cos[(2k+1)\omega_0 + z\omega] t) \right] \right\} \right] \quad (4)$$

kde a_k, b_k jsou koeficienty Fourierova rozvoje funkce $f(t)$ která má periodu $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

Obdobný vztah lze získat i pro modulační produkt vytvořený za pomoci průběhu $u_g(t)$, který má tvar

$$u_2(t) = \frac{2}{\pi} \left[2a_0 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2k+1} \sin(2k+1)\omega_0 t + \sum_{z=1}^U \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{2k+1} \left[a_z (\cos[(2k+1)\omega_0 - z\omega] t + \cos[(2k+1)\omega_0 + z\omega] t) - \right. \right. \right. \quad (5)$$

$$-b_2 \left(\sin \left[(2k+1)\omega_0 - z\omega \right] t - \sin \left[(2k+1)\omega_0 + z\omega \right] t \right) \Bigg\} \Bigg\} . \quad (5)$$

Přivedeme-li modulační produkty na pásmovou propust, můžeme při vhodné volbě mezního kmitočtu σ dosáhnout odstranění produktů modulační frekvence vyšší než je hodnota σ . Navrhne-li mezní kmitočet dostatečně nízký např. $\sigma = 1$ Hz, budou všechny složky, které mají frekvenci vzniklou součtem kmitočtů $(2k+1)\omega_0 + z\omega$ odstraněny.

Složky modulačního produktu s kmitočtem vzniklým rozdílem $(2k+1)\omega_0 - z\omega$ mohou za určitých podmínek pásmovou propust procházet. Lze ukázat, že kromě žádaných produktů pro $k=0$ a $z=1$ vzniknou ještě nežádoucí parazitní modulační produkty související s vyššími harmonickými složkami modulačního kmitočtu ω_0 . K vyloučení jejich vlivu lze užít systém rozšířených modulátorů.

Modulační procesy v tomto systému používají další modulační kmitočty odpovídající parazitním modulačním frekvencím. Ve zvláštní větvi rozšířeného modulátoru se obdobným způsobem, který je uveden na obr. 1, vytvoří pouze parazitní modulační produkty. Jejich zavedení do sumátoru způsobí odstranění nežádoucích produktů v původním signálu.

Jestliže oba signály $u_1(t)$ a $u_2(t)$ přivedeme do jednotky, která vytváří signál úměrný efektivní hodnotě, získáme informaci o velikosti amplitudy pohybu, která byla sledována. Informace není zkreslena blízkými rušivými signály a je výrazně oddělena od šumového signálu.

Na základě výše naznačených úvah bylo v SVÚSS vyvinuto pro K.P. ŠKODA Plzeň zařízení VASA 11, které může sloužit k nepřímému sledování změn napjatosti při dynamických měřeních na parních turbinách.