

## Stabilita a praktické aspekty vlnového řízení

Martin Langmajer<sup>1</sup>

### 1 Úvod

Vlnové řízení má potenciál stát se efektivní metodou pro návrh regulátorů určených k tlumení mechanických vibrací. Jediným návrhovým požadavkem metody je, aby aktuátor potlačil takovou mechanickou vlnu, která se k němu prostřednictvím řízeného systému šíří. Stabilita či další vlastnosti regulační smyčky nejsou zahrnuty do návrhových specifikací a nejsou obecně garantovány. Nespornou výhodou této metody je možnost současného tlumení vibrací a řízení dalšího stavu systému, například pozice nebo rychlosti. Toho lze dosáhnout za použití pouze jednoho snímače umístěného na rozhraní aktuátoru a řízeného systému. Tato metoda je stále relativně mladá a mnohé její aspekty stále zůstávají předmětem výzkumu. Tento článek se zabývá stabilitou vlnového řízení a jeho aplikací na reálný systém s neznámými parametry.

### 2 Vlnové řízení

V roce 1997 navrhli W.J.O'Connor a D.Lang novou metodu řízení vibrací mechanických soustav, takzvané vlnové řízení. Jejich metoda zahrnuje aktuátor schopný vyslat do systému mechanickou vlnu, postupující systémem vpřed a současně tlumit odražené mechanické vlny postupující opačným směrem. Tato metoda vyžaduje dekompozici reálného pohybu systému na dopřednou a zpětnou vlnu. Takový pohyb je dán superpozicí těchto vln. Za tímto účelem O'Connor s Langem navrhli takzvanou vlnovou přenosovou funkci  $G(s)$ , danou jako přenos z pozice jednoho hmotného bodu  $X_i(s)$  na pozici následujícího hmotného bodu  $X_{i+1}(s)$  v oboustranně nekonečném řetězci hmotných bodů spojených ideálními pružinami.

$$G(s) = X_{i+1}(s)/X_i(s). \quad (1)$$

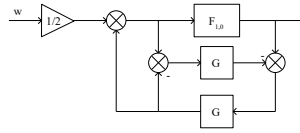
Vlnová přenosová funkce má dvě řešení

$$G(s) = 1 + \frac{1}{2} \frac{m}{k + bs} s^2 \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{m}{k + bs}} s \sqrt{4 + \frac{2m}{k + bs} s^2}, \quad (2)$$

kde  $m$  je hmotnost každého hmotného bodu v řetězci,  $k$  je tuhost pružin mezi hmotnými body,  $b$  je koeficient tlumení mezi hmotnými body a  $s$  je komplexní proměnná.

Tato dvě řešení vlnové přenosové funkce odpovídají dvěma směrům šíření mechanických vln. Zavedením okrajových podmínek pro systémy, které nejsou oboustranně nekonečné, je navíc možné získat takzvanou smyčku vlnových přenosových funkcí jako užitečný nástroj pro modelování pružných systémů. Ze smyčky vlnových přenosových funkcí je pak patrné, jakým způsobem navrhnout systém provádějící dekompozici kmitání systému na dopřednou a zpětnou vlnu. Navíc napovídá i jak navrhnout celý řídicí systém. Vlnový přenos  $G$  není celočíselného řádu a je tak nezbytné ho aproximovat.

<sup>1</sup> student doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Kybernetika, e-mail: mlangos3@gmail.com

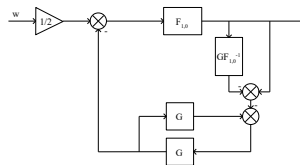


Obrázek 1: Regulační smyčka

### 3 Vlnové řízení pro systémy se spojitě rozloženými parametry

Výše popsáný způsob vlnového řízení je velice efektivní, rychlá a robustní metoda řízení pohybu systémů sestávajících z tuhých hmotných částí a pružných téměř nehmotných částí, které lze aproximovat řetězcem hmot a pružin. Pro systémy se spojitě rozloženými parametry je však nutné metodu upravit.

Nejprve je nutné parametry identifikovat. K tomu je možné zvolit takový model systému, který bude mít soustředěné parametry. Po změření frekvenční charakteristiky reálného systému lze nastavit parametry modelu tak, aby se jeho frekvenční charakteristika co nejvíce blížila charakteristice reálného systému. Celou regulační smyčku z obrázku 1 je pak možné překreslit jako na obr. 2 V tomto tvaru lze odvodit přenos otevřené smyčky



Obrázek 2: Alternativní forma regulace

$$L = -\frac{\hat{G}}{1 - \hat{G}^2} (F_{1,0} - \hat{G}), \quad (3)$$

který lze využít k vyšetření stability regulačního obvodu pomocí Nyquistova kritéria. Lze také přejít ke zpětnovazebnímu regulátoru

$$C_f = -\frac{\hat{G}}{1 - \hat{G}^2} (1 - F_{1,0}^{-1} \hat{G}). \quad (4)$$

Právě vlnové řízení v takovém tvaru je možné využít pro systémy se spojitě rozloženými parametry. Má-li reálný systém hmotnost  $M$ , tuhost  $K$  a tlumení  $B$ , pak jeho aproximace ve tvaru řetězce o  $n$  hmotnostech a pružinách bude mít parametry  $m = M/n$ ,  $k = K * n$  a  $b = B * n$ . Čím více hmotných bodů, tím lepší aproximace, a pro návrh regulátoru  $C_f$  pro systémy se spojitě rozloženými parametry je tak možné využít limitního přechodu, kde  $n$  se blíží nekonečnu a tento regulátor následně implementovat.

### 4 Závěr

Metoda vlnového řízení je moderní metodou řízení pro systémy se soustředěnými parametry. Je-li však správně modifikována, lze jí úspěšně využít i pro řízení systémů se spojitě rozloženými parametry. Byla provedena identifikace parametrů malého vetknutého nosníku a následně aplikována metoda vlnového řízení, upravená pro systémy se spojitě rozloženými parametry.

### Poděkování

Tato práce byla podpořena Technologickou agenturou ČR z projektu CIDAM TE02000103.