

## Repetitivní řízení

Arnold Jáger<sup>1</sup>

### 1 Úvod

Jednou ze základních úloh v oblasti řídicích systémů je přesné sledování referenčních signálů v ustáleném stavu a to i za přítomnosti neznámých a neměřitelných poruch. Základním principem, ze kterého se vychází při návrhu systémů sledující referenční signál, je tzv. princip vnitřního modelu navržený autory Francis a Wonham v Francis a Wonham (1975).

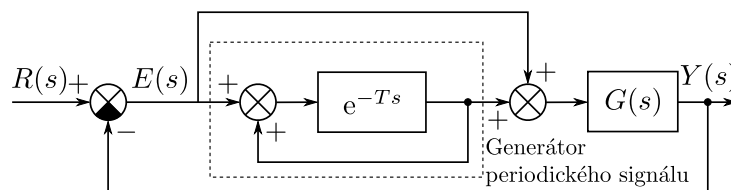
V praxi se lze často setkat s případy, kdy referenční signály, které se mají sledovat, a/nebo poruchy, které mají být potlačeny, jsou periodické signály s pevnou periodou. S tímto typem signálů se můžeme setkat například u mechatrických systémů jako jsou průmyslové roboty, CNC obráběcí stroje a obecně aplikace, kde se vyskytuje problematika řízení pohonů a přesné řízení pohybu.

### 2 Princip repetitivního řízení

Podle principu vnitřního modelu lze sledovat či potlačit libovolný signál bez odchylky v ustáleném stavu, pokud je tento signál výstupem autonomního generátoru, který je obsažen v řídicím systému. Platí to i pro libovolný periodický signál, který lze generovat generátorem s dopravním zpožděním v kladné zpětné vazbě s přenosem

$$F_{GPS}(s) = \frac{e^{-Ts}}{1 - e^{-Ts}}. \quad (1)$$

Časová konstanta  $T$  dopravního zpoždění odpovídá periodě generovaného signálu. Tento koncept *repetitivního řízení* byl poprvé publikován Inoue et al. (1981).



**Obrázek 1:** Schéma systému s repetitivním řízením

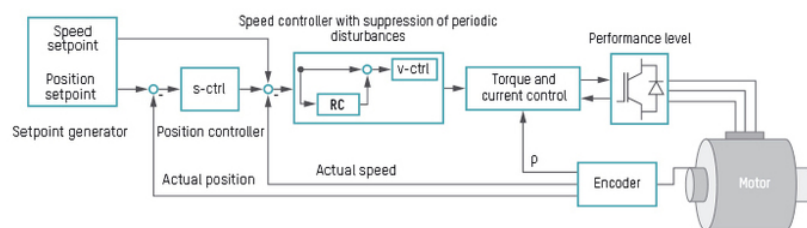
Na obrázku 1 je znázorněno schéma systému s repetitivním řízením, kde  $R(s)$ ,  $Y(s)$  a  $E(s)$  jsou po řadě Laplaceovy transformace referenčního vstupu  $r(t)$ , výstupu systému  $y(t)$  a chyby  $e(t)$ . Dále  $G(s)$  značí ryzí přenosovou funkci řízeného systému. Takto navržený systém repetitivního řízení má ovšem dva zásadní nedostatky. Jednak nezaručuje, že  $e(t) \rightarrow 0$  pro  $t \rightarrow \infty$  a také je dokázáno, že je nemožné navrhnout repetitivní řízení, které by exponenciálně stabilizovalo systém repetitivního řízení, pro striktně ryzí systém.

<sup>1</sup> student doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Kybernetika, e-mail: arnie87@kky.zcu.cz

Hara et al. (1988) navrhli modifikované repetitivní řízení, kde k dopravnímu zpoždění v generátoru periodického signálu byl přidán low-pass filtr, který výše zmíněné nedostatky řeší. Filtr ovšem na úkor satability pro vysoké frekvence zmenšuje frekvenční pásmo pro výsledování referenčního signálu na nízké fekvence. Jelikož nízké frekvence bývají dominantní v referenční signálech, není tato skutečnost tak omezující. Hlavním úskalím použití repetitivního řízení je, že model generátoru periodického signálu (1) zanáší do systému nekonečně mnoho komplexně sdružených pólů na imaginární ose, tedy na mezi stability. Návrh stabilizujících regulátorů pro takové systémy je pak více než obtížný, zejména z důvodu interakce vysokofrekvenčních pólů s nemodelovanými dynamikami. Zařazení low-pass filtru tento problém částečně řeší, ovšem na úkor kvality výsledování.

### 3 Repetitivní řízení v praxi

Mohlo by se zdát, že sledování periodického referenčního signálu pomocní repetitivního řízení je bezproblémová záležitost a bude často nasazována v průmyslových regulátorech. Opak je však pravdou. Dle dostupných informací pouze firma *B&R Automation* implementovala repetitivní řízení ve výše zmíněné formě s low-pass filtrem do rychlostní smyčky kaskádní regulace řídicích jednotek ACOPOS (viz. obrázek 2) za účelem aktivního potlačení periodických poruch. Při ladění repetitivního regulátoru musí uživatel zadat periodu poruchy a hlavně citlivě zvolit mezní frekvenci low-pass filtru tak, aby byla zachována stabilita regulační smyčky.



**Obrázek 2:** Schéma kaskádní regulace s repetitivním řízením v rychlostní smyčce implementované v řídicích jednotkách ACOPOS firmy B&R Automation.

### 4 Závěr

Výše nastíněná problematika sledování/potlačení periodických poruch ukazuje, že ač se jedná o velice zajímavý a užitečný přístup např. pro přesné řízení polohy, komplikace při návrhu stabilního repetitivního řízení výrobce zatím stále odrazuje od nasazení do průmyslu. Cílem našeho dalšího výzkumu je nalézt takové schéma repetitivního řízení, aby ho bylo možné implementovat do regulačních smyček ve formě autotuneru.

### Literatura

- Francis, B., Wonham, W., 1975. The internal model principle for linear multivariable regulators. *Applied Mathematics and Optimization*, Springer-Verlag, Vol. 2. pp 170-194.
- Hara, S., Yamamoto, Y., Omata, T., Nakano, M., 1988. Repetitive control system: a new type servo system for periodic exogenous signals. *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol.33. pp 659-668.
- Inoue, T., Nakano, M., Iwai, S. 1981. High accuracy control of servomechanism for repeated contouring. *Proceedings 10th Annual Symposium - Incremental Motion Control Systems and Devices*, pp 285-292