

# Číslkové snímače polohy, rýchlosti a zrýchlenia (3)

## Absolútne snímače polohy

Základnou výhodou absolútnych snímačov je, že pripojením napájacieho zdroja okamžite vyhodnocujú absolútnu polohu uhla natočenia hriadeľa alebo dráhu, čím sa zvyšuje spoľahlivosť snímania polohy.

### Typy absolútnych snímačov:

#### Jednotáčkové absolútne snímače – single turn encoders

Maximálna rozlišovacia schopnosť 16 384 (14 Bit) na otáčku. Tomu zodpovedá uhlové rozlíšenie  $0,022^\circ (= 1,3')$ . Po jednej otáčke sa snímač vynuluje – reštartuje. Jednotáčkové absolútne snímače sa môžu používať na meranie uhlov teleskopov, polohy ramien robota a pod.

#### Viacotáčkové absolútne snímače – multiturn encoders

Maximálna rozlišovacia schopnosť snímačov je 8 192 (13 Bit) na otáčku, výsledná hodnota polohy sa zvyšuje (multiplikuje) o 4 096 (12 Bit), čo zodpovedá až 33,5 miliónom inkrementov polohy. Viacotáčkové absolútne snímače sa môžu používať na meranie polohy obrábacích a rezacích strojov, výťahov, dopravníkov, žeriavov a pod.

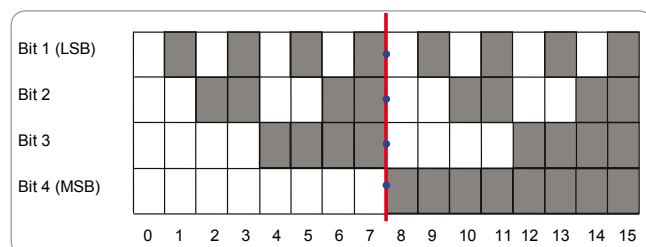
### Spôsoby kódovania snímačov

Základné metódy kódovania snímačov sú:

- binárny kód,
- Grayov kód.

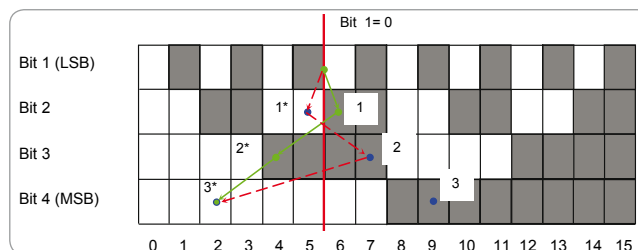
#### Binárny kód

Kód BCD (Binary Coded Decimal) je jedným z najčastejšie používaných kódov na reprezentovanie desiatkových čísel. Pri tomto kóde je každá desiatková číslica zakódovaná pomocou štyroch bitov, tak ako to znázorňuje obr. 17. Každý bit sa sníma fotoelektrickým snímačom. Ak sú snímače umiestnené na priamke, dochádza pri BCD kóde súčasne k viacerým prechodom z 1 na 0 alebo z 0 na 1. Vyhodnotenie polohy zo snímačov na prechode nemusí byť jednoznačné, zvyšuje sa riziko.



Obr. 17 Binárny kód BCD

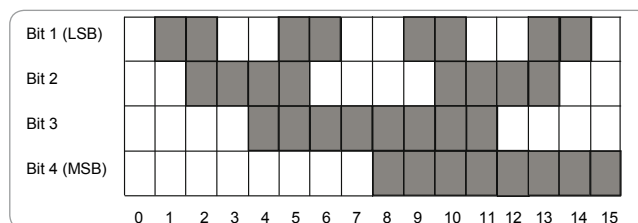
Tento problém sa môže odstrániť použitím viacerých snímačov, ktoré sú rozložené v tvare písmena V (obr. 18). Snímače sú rozložené tak, že pre najnižší rád je jeden snímač a v ostatných sú vždy dva, pričom od ideálnej priamky merania sú vzdialené o  $\frac{1}{4}$  intervalu predchádzajúceho rádu. Stav snímačov sa vyhodnocuje postupne, pričom sa vždy začína od najnižšieho rádu. Ak je na výstupe i-tého rádu 0, tak sa v  $i + 1$  ráde sníma informácia zo snímača, ktorý je v smere zvyšovania hodnôt kódu. Ak je v i-tom ráde 1, tak sa berie hodnota snímača v smere znižovania hodnôt kódu. Na obr. 18 je znázornený výber pre prípad, ak bit v najnižšom ráde Bit 1 (LSB) = 0.



Obr. 18 Princíp vyhodnotenia polohy systémom V fotoelementov

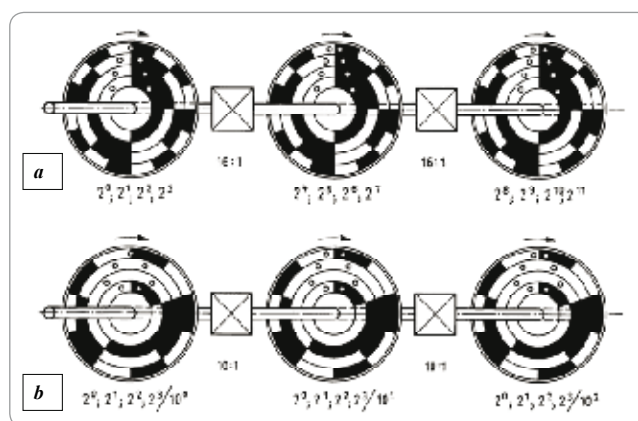
#### Grayov kód

Grayov kód alebo zrkadlový binárny kód je cyklický kód, v ktorom sa každé ďalšie kódové slovo líši od predchádzajúceho len v jednom bite a posledné slovo kódu sa líši od prvého tiež len v jednom bite (obr. 19). Používa sa ako metóda vyhodnotenia polohy práve pre vlastnosť rozdielu vedľajších slov len v jednom bite.

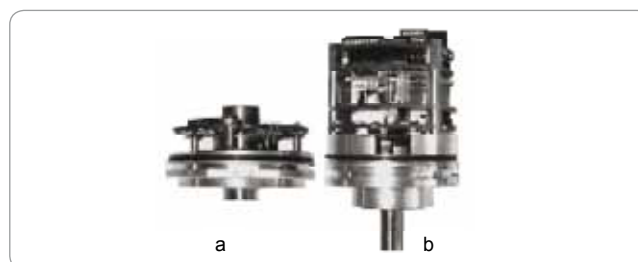


Obr. 19 Grayov kód

Klasický spôsob zvyšovania rozlišovacej schopnosti absolútnych snímačov polohy je možný mechanicky kaskádovým radením snímačov s prevodom do rýchla (obr. 20) alebo elektronicky (obr. 21). Môže byť riešený v binárnom kóde, prevodové číslo je  $i = 16 : 1$ , alebo dekadickým kóde, ak  $i = 10 : 1$ .



Obr. 20 Kaskádové radenie snímačov s prevodom do rýchla: a) binárny kód, b) dekadický kód



Obr. 21 a) elektronická a b) mechanická realizácia absolútnych snímačov so zvýšením rozlišovacej schopnosti. Fy Kubler

## Rozhranie

Pri aplikáciách je rozhodujúce rozhranie snímača. V súčasnosti sa využívajú nasledujúce rozhrania.

**Paralelný výstup** – tento typ prenosu je veľmi rýchly. Všetky bity sa prenášajú súčasne.

**Synchrónne sériové rozhranie (SSI)** – v porovnaní s paralelným rozhraním potrebuje rozhranie SSI menej súčastí a je menej citlivé na rušenie. Kábel, ktorým je pripojený snímač k riadiacemu systému, môže byť oveľa dlhší ako pri paralelnom prenose. V závislosti od požadovaného výstupu obvodu odporúča fy Kubler nasledujúce dĺžky káblov:

Rozhrania a výstupné obvody	Maximálna dĺžka kábla	Pripojenie k
Parallel CMOS/TTL	2 m	PLC/IPC1)
Parallel push-pull	100 m	PLC /IPC1)
SSI	až do 1200 m	PLC/IPC1)
RS 422 /RS 485	(>50 m závisí od frekvencie)	
Analógový výstup 4 – 20 mA	200 m	

1)IPC = priemyselné PC

## Snímače uhlovej rýchlosti

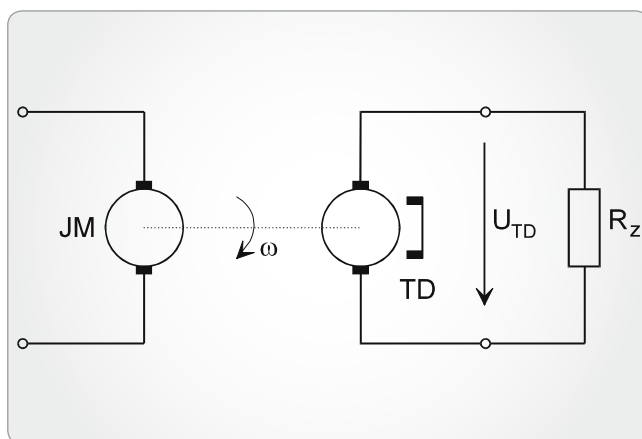
Základné delenie metód merania uhlovej rýchlosti:

- s priamym meraním pomocou snímača uhlovej rýchlosti, napr. tachodynamo, tachogenerátor,
- s nepriamym meraním (vyhodnotením) rýchlosti:
  - estimovanie rýchlosti: z informácie o polohe (inkrementálne snímače polohy –IRC), indukčné snímače (selsyn resolver),
  - pozorovateľ (observer) uhlovej rýchlosti motora, len z elektrických veličín, sensorless riadenie.

## Snímače uhlovej rýchlosti – s priamym meraním

### Jednosmerný generátor – tachodynamo

Pri regulácii má významné postavenie jednosmerný generátor s permanentnými magnetmi, označovaný ako tachodynamo – TD (DC tachogenerator). Z blokovej schémy a schémy zapojenia vyplýva, že TD predstavuje prevodník uhlová rýchlosť – napätie. Jeho prenosové vlastnosti sú vyjadrené zosilnením tachodynamo KTD.



Obr. 22 Schéma zapojenia tachodynamo

Tachodynamá sú meracie prevodníky uhlovej rýchlosti na realizáciu rýchlostných uzavretých servopohonov. Dosahuje sa nimi presnosť regulácie lepšia ako 1 % a regulačný rozsah až 1 : 1 000. Základným charakteristickým údajom je zosilnenie KTD. Z údajov v katalógu sa dá vypočítať ako pomer výstupného napätia naprázdno  $U_{T0}$  pri nominálnej (vzťažnej) hodnote otáčok  $n_0$  alebo uhlovej rýchlosti  $\omega_0$ .

Zosilnenie sa vyjadruje aj vzťahom  $K_{TD} = \frac{U_{T0}}{n_0}$  alebo  $K_R = K_{TD} \frac{\pi}{30}$ .

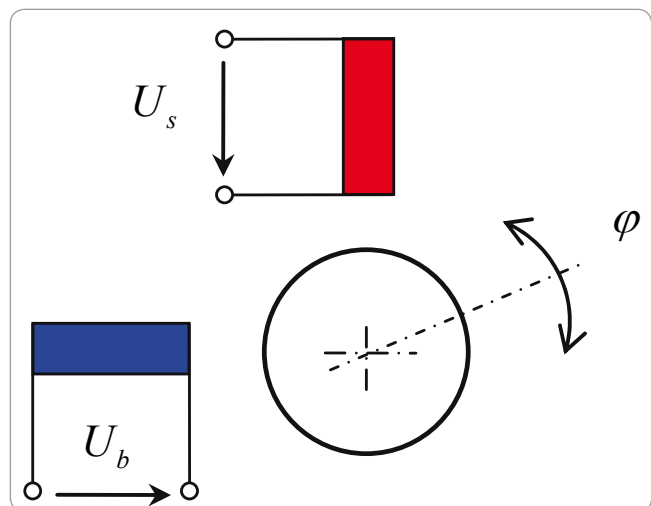
Typ	GT 9.06L/420k	
No load DC voltage	20 V	Napätie naprázdno
Rated current	3,0 mA	Nominálny prúd
Rated speed	1 000 rev./min. ot./min.	Nominálne otáčky
Rated burden	6,7 k Ohm	Nominálna záťaž
Voltage tolerance	≤ 5 %	Presnosť napätia
Ripple factor	≤ 0,2 %	Zvlnenie
Linearity error	≤ 0,15 %	Linearita
Reversing error	≤ 0,2 %	Chyba pri reverzácii
Speed range	8 000 rev./min. ot./min.	Rozsah rýchlostí
Temperature range of the magnet system	0,05 %/10 K	Vplyv teploty na PM

Tab. 1 Katalógové údaje tachodynamo

Tachodynamá sa vyznačujú dobrou linearitou, vysokým výstupným signálom a možnosťou indikácie smeru otáčania. Ich nevýhodou je, že obsahujú mechanický komutátor.

## Asynchrónny tachogenerátor

Asynchrónny tachogenerátor sa konštrukčne môže riešiť ako indukčný generátor s klieťkovou kotvou alebo s previsnutým rotorom vyhotovenia Ferraris. Na statore je budiace vinutie  $U_b$  a snímacie vinutie  $U_s$ . V porovnaní s tachodynamom má tú výhodu, že neobsahuje komutátor. Jeho výstupným signálom je striedavé napätie.



Obr. 23 Schéma zapojenia asynchrónneho tachogenerátora

Budiace a snímacie vinutie sú navzájom pootočené o 90°el. Budiace vinutie sa napája konštantným striedavým prúdom, zvyčajne s frekvenciou 50 až 500 Hz. V prípade konštantného budiaceho napätia je výstupom zo snímača striedavé napätie s rovnakou frekvenciou a amplitúdou úmernou frekvencii otáčania rotora. Po zmene zmyslu otáčania sa fáza výstupného napätia zmení o 180°. Merací rozsah tachogenerátora sa pohybuje v rozmedzí od 0 po 3 000 ot./min., veľkosť výstupného signálu je v rozsahu 10 V až 100 V.

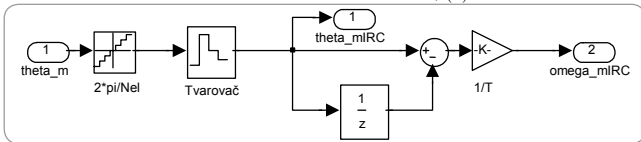
## Snímače uhlovej rýchlosti – s nepriamym meraním

### Číslkové vyhodnotenie rýchlosti snímačov polohy

V súčasnej generácii číslicových servosystémov sa používajú zásadne len snímače polohy typu IRC, selsyn a absolútne snímače. Spoločným znakom je, že číslicová informácia o polohe sa upravuje na paralelný kód – číslo, ktoré sa spracúva v programovateľnej časti riadiaceho počítača. Pri vyhodnotení informácie o rýchlosti alebo aj zrýchlenia sa preto uplatňujú metódy diskretnéj matematiky. Uvedené vzťahy predstavujú výpočtové algoritmy, pomocou ktorých estimujeme rýchlosť zo vzoriek polohy nasnímaných v diskretných ekvidištančných časových úsekoch, ktoré definuje perióda vzorkovania T.

Základná metóda vyhodnotenia rýchlosti sa označuje ako implicitná metóda (BW – Backward Euler method):

$$\omega(k) = \frac{\varphi(k) - \varphi(k-1)}{T} \text{ alebo v prenosovom tvare } \frac{\omega(z)}{\varphi(z)} = \frac{z-1}{Tz} = \frac{1-z^{-1}}{T} \quad (24)$$



**Obr. 24. Model estimátora rýchlosti IRC snímača, aplikácia implicitnej metódy**

Z množstva iných metód výpočtu derivácie uvedieme dvojkrovú implicitnú metódu druhého rádu, známu pod názvom GS – Gear-Schichman routines (Gear-2):

$$\omega(k) = \frac{3}{2T} \varphi(k) - \frac{2}{T} \varphi(k-1) + \frac{1}{2T} \varphi(k-2) \quad (25)$$

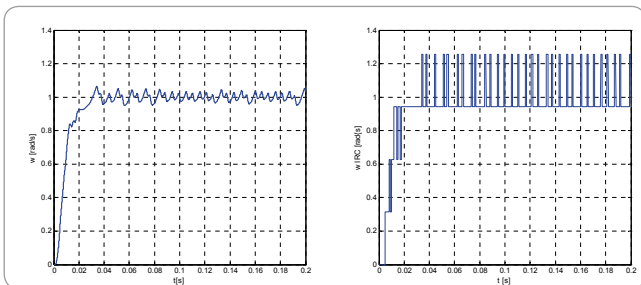
Pri základnej implicitnej metóde je dôležité poznať minimálnu hodnotu estimovanej rýchlosti, ktorá určuje dolnú možnú hranicu vyhodnotenia rýchlosti. Je definovaná vzťahom:

$$\Delta\omega = \frac{2\pi}{N_{el}T} \quad (26)$$

Z uvedeného vzťahu vyplýva, že  $\Delta\omega$  je nepriamo úmerná súčinu  $N_{el}T$ .

Príklad: Nech je perióda vzorkovania  $T = 1e^{-3}$  s, rozlišovacia schopnosť IRC snímača je  $N_{mech} = 5\,000$  imp./ot.,  $N_{el} = 4.5000 = 20\,000$  imp./ot., potom  $\Delta\omega(k) = \frac{2\pi}{N_{el}T} = \frac{2\pi}{2.10^4 \cdot 1.10^{-3}} = \frac{\pi}{10} = 0.1\pi$  rad/s.

Na nasledujúcich obrázkoch sú uvedené priebehy z estimátora rýchlosti IRC snímača, keď sa využíva na riadenie v spätnej väzbe rýchlostného servopohonu. Pri rýchlosti  $\omega^* = 1$  rad/s je vplyv IRC na mechanickú rýchlosť dosť výrazný, zvlnenie signálu dosahuje hodnotu do 5%. Preto treba pri vysoko dynamických polohových servopohonoch, kde je požiadavka na regulačný rozsah väčší ako  $D = 1\,000$ , používať iné metódy estimovania rýchlosti. Vhodné metódy pozorovania rýchlosti budú uvedené v ďalšej časti.



**Obr. 25 Porovnanie estimovanej rýchlosti  $w_{IRC}$  so skutočnou  $w$**

*Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. VMSP-II-0015-09.*