

## Krokové motory

Tesár Richard · Elektrotechnika, Strojárstvo

23.11.2009



V minulých prehľadových článkoch sme sa venovali **jednosmerným** a **synchronným** motorom. Dnes si sa zamierime na krokové motory. Krokové motory sú mnohopólové a mnohofázové synchronne motory prispôbené prevádzke v krokovom režime. Najčastejšie sú používané ako otvorené polohové číslicové servopohony, bez priameho snímania polohy rotora motora.



Obr. 1. Ukážka krokového motora

Krokové motory majú nasledovné vlastnosti:

- Sú bezkefóvé – nedochádza k vzniku iskier, čo môže byť nežiaduce v určitých oblastiach nasadenia – sú teda bezpečnejšie a možnosť ich nasadenia je možné uplatniť aj v rizikovejších prostrediach.
- Udržujú krútiaci moment – krokové motory majú dobrú schopnosť udržať si krútiaci moment. Sú využívané práve kvôli tejto schopnosti a to aj pri nulových otáčkach, keď motor stojí.
- Otvorený systém – pravdepodobne najcennejšou a najzaujímavejšou vlastnosťou krokových motorov je, že ich je možné použiť v otvorených systémoch bez spätnej väzby. Toto však platí pri dostatočnom nadimenzovaní motora (záťažný moment).
- Nezávislosť od záťaže – rotačná rýchlosť KM nezávisí od záťaže. Platí to za predpokladu dostatočného momentu motora tak, aby sa predišlo strate kroku (preklznutiu). Toto sa stáva najmä pri vysokých rýchlostiach. Vtedy nevieme presne určiť pozíciu. Kvôli tomu sa rýchlosť udržiava v rámci predpísaného intervalu.

Základný princíp krokového motora je pomerne jednoduchý. Prúd prechádzajúci cievkou statora vytvorí magnetické pole, ktoré pritiahne opačný pól magnetu rotora. Vhodným zapojením cievok dosiahneme vytvorenie rotujúceho magnetického poľa, ktoré otáča rotorom.

Podľa požadovaného krútiaceho momentu, presnosti nastavenia polohy a prípustného odberu volíme niektorú z variant popísaných nižšie. (Bipolárny/unipolárny motor, riadenie s plným krokom/polovičným krokom).

Kvôli prechodovým magnetickým javom je obmedzená rýchlosť otáčania motora. Po prekročení tejto maximálnej rýchlosti motor začína strácať krok. V prípade, kde by mohol nastať takýto stav, je potrebné v prípade otvoreného systému uvažovať o motore s vyššími parametrami alebo uvažovať o uzavretom systéme so spätnou väzbou (napr. IRC snímač polohy).



Obr. 2. Krokový motor: a) celkový pohľad



Obr. 2. Krokový motor: b) statorová časť



Obr. 2. Krokový motor: c) rotor

V prípadoch, keď sú známe (maximálne) prevádzkové rýchlosti pri meniacej sa záťaži, sú krokové motory veľmi nápomocné.

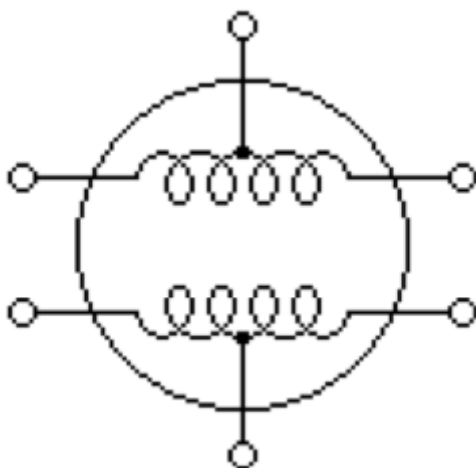
Krokové motory nájdu uplatnenie najmä v prípadoch, kedy je potrebné presne nastaviť určitú polohu a túto polohu aj pri zmenách záťaže udržať.

Kvôli zachovaniu objektivity je potrebné spomenúť aj nevýhody krokových motorov.

Najzávažnejším je zrejme trvalý ober prúdu a to aj keď sa motor neotáča. Krokové motory majú tiež nie príliš vhodný pomer výkonu (krútiaceho momentu) voči hmotnosti motora.

### Unipolárne riadenie krokového motora

Unipolárne krokové motory obsahujú dve cievky. Tieto sú identické a nie sú elektricky spojené. Každá z cievok má stredový vývod - ten vychádza zo stredu cievky medzi jej jedným a druhým koncom (Obr. 3).



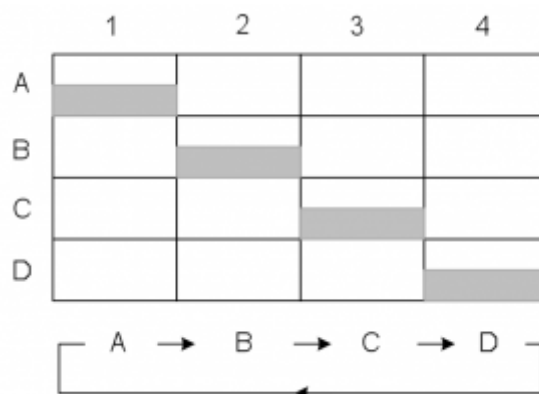
Obr. 3. Zapojenie cievok unipolárneho krokového motora

Pri unipolárnom riadení sa na vinutie pripája napätie vždy len jednej polarity.

Pri praktickej realizácii je výhodou unipolárneho riadenia fáz jednoduchšie hardvérové riešenie. Na každú cievku v podstate stačí jeden budiaci tranzistor a ochranná dióda (viď. Obr. 10). Stredné vodiče pripojíme ku kladnému pólu zdroja. Uzemňovaním jednotlivých koncov môžeme vytvoriť požadovanú sekvenciu na otáčanie motora. Keďže máme k dispozícii „4 cievky“, je tu možnosť nastaviť rôzne sekvencie pre riadenie.

### Unipolárne štvortaktné riadenie - súčasne je napájaná len jedna fáza

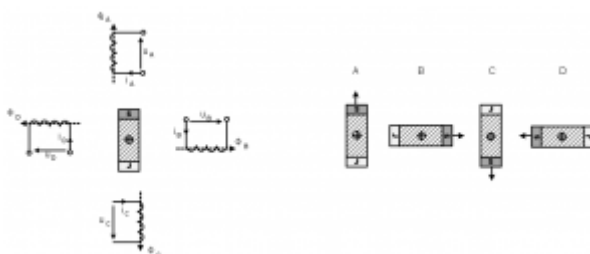
Základné unipolárne štvortaktné riadenie predpokladá, že súčasne je napájaná len jedna fáza. Postupnou zmenou jednotlivých fáz v správnom poradí sa dosiahne rotačného pohybu. Zmenu otáčania KM dosiahneme zmenou spínania fáz a to v opačnom poradí.



Obr. 4. Postupnosť spínania fáz pri štvortaktnom unipolárnom riadení - napájaná jedna fáza

Ako už bolo spomenuté, pretekaním prúdu cez cievku, cievka vytvára magnetické pole a to pritiahne opačný pól magnetu rotora.

Podľa nasledujúceho obrázku by nastalo otočenie o 90 stupňov pri zmene cievky (fázy).

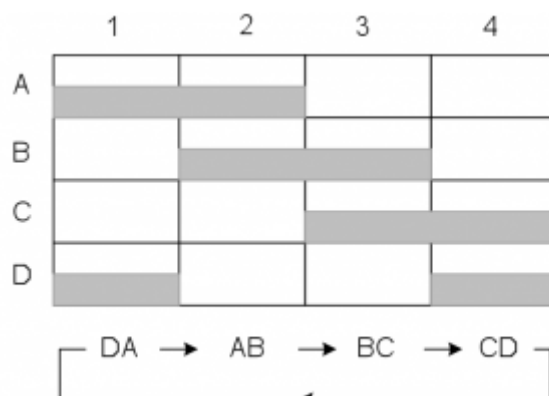


Obr. 5. Štvortaktné riadenie krokového motora - napájaná len jedna fáza

### Unipolárne štvortaktné riadenie - súčasne sú napájané dve fázy

Moment motora môžeme zdvojnásobiť tým, že v danom okamihu budú aktívne vždy dve (susedné) cievky - Plný krok (dvojfázový) (tab. 1 sekvencia 2). Tým sa nám však taktiež zvýšil prúd spotrebovávaný motorom.

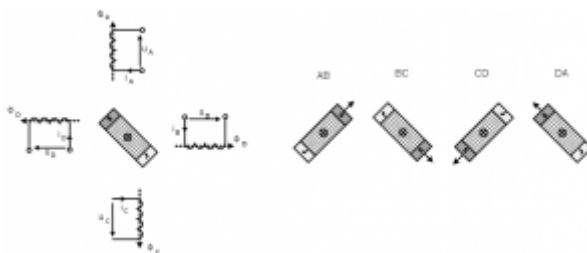
Postupnosť pripájania jednotlivých fáz je uvedená na obrázku pod.



Obr. 6. Postupnosť spínania fáz pri štvortaktnom unipolárnom riadení - napájané dve fázy

Rotor krokového motora zaujme stabilnú polohu v smere pôsobenia výsledného vektorového súčtu tokov príslušných fáz.

Výsledná veľkosť momentu motora je  $\sqrt{2}$  - krát väčšia ako pri algoritme riadenia, kedy sa pripája len jedna fáza.

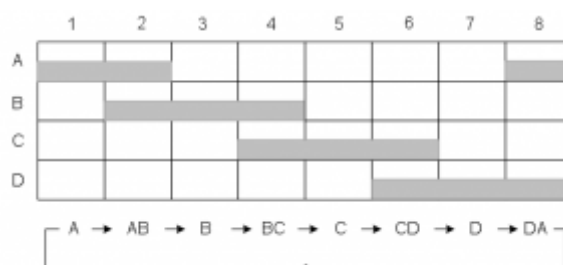


Obr. 7. Štvortaktné riadenie krokového motora - napájané sú dve fázy

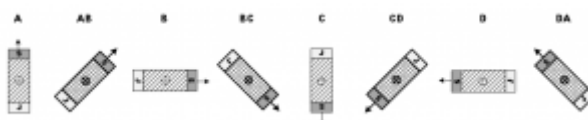
### Unipolárne osemtaktné riadenie

Kombináciou predchádzajúcich dvoch algoritmov riadenia je možné zdvojnásobiť počet stabilných stavov. Týmto dosiahneme zvýšenie presnosti polohovania KM - "zjemníme krok", a to všetko bez zmeny konštrukčnej úpravy.

Nevýhodou osemtaktného riadenia je, že je nesymetrické a striedanie počtu aktívnych cievok má za následok menenie sa hodnoty momentu motora v čase.



Obr. 8. Postupnosť spínania fáz pri osemtaktnom unipolárnom riadení



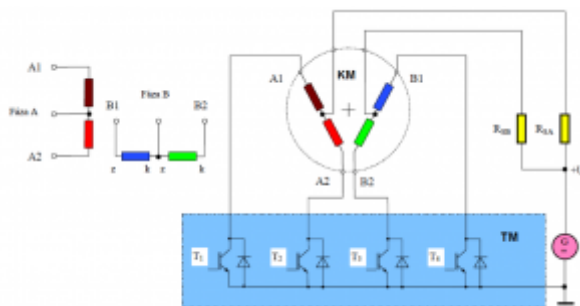
Obr. 9. Osemtaktné riadenie krokového motora

Tab. 1 obsahuje sekvenciu krokov u jednotlivých typov krokovania (s plným a polovičným krokom) a ich popis.

Tab. 1 Sekvencie riadenia s plným a polovičným krokom.

Popis:

Každá štvorica čísel vedľa seba reprezentuje, štvoricu cievok v motore. Cievky, ktoré nie sú aktívne - nepreteká nimi prúd sú označené ako '0'. Cievky, ktoré sú v danom kroku budené sú označené ako '1'

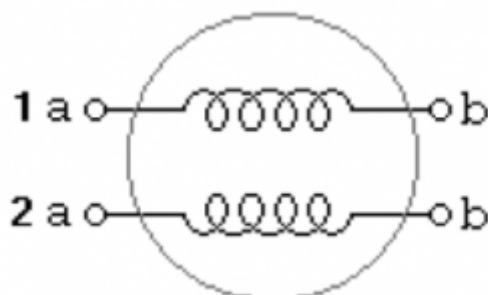


Obr. 10. Schéma zapojenia tranzistorového meniča pre unipolárne napájaný dvojfázový krokový motor  
(zdroj: [1] - obr. 8.39 (str. 197))

### 3 Bipolárne riadenie krokového motora

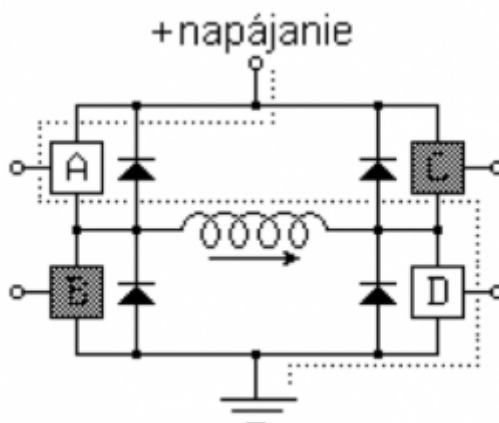
Bipolárne motory sú z hľadiska fyzického vyhotovenia veľmi podobné unipolárnym, okrem faktu, že nemajú vývod, ktorý vychádza zo stredu cievky medzi jej jedným a druhým koncom (Obr. 11). Kvôli tejto odlišnosti potrebujú bipolárne motory iný typ riadenia než unipolárne. Je tu potrebné zabezpečiť zmenu toku prúdu cievkami a to zmenou polaroty. Z tohto vlastne vyplýva aj názov bipolárne.

Kedže bipolárne motory využívajú celú cievku, nie len jednu polovicu cievky, majú schopnosť dosiahnuť väčší moment. U unipolárneho riadenia je možné dosiahnuť moment rovnakej veľkosti v režime štvortaktného riadenia - napájané dve cievky.



Obr. 11. Zapojenie cievok bipolárneho krokového motora

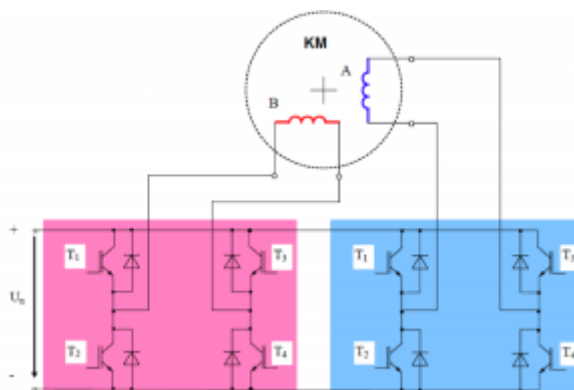
Ako už bolo spomenuté, je potrebné zabezpečiť zmenu polaroty napätia tak, aby prúd v cievke mohol tiecť oboma smermi. Zapojenie ktoré toto umožňuje sa nazýva tzv. H - most. H - most preto, lebo pripomína písmeno H, vid'. Obr. 12.



Obr. 12. Zapojenie tzv. H mostu

Princíp spočíva v tom, že pre prechod prúdu jedným smerom sa aktivuje dvojica budiacich/spínacích členov AD (tak ako je to ukázané na obrázku), pre opačný smer dvojica BC. Diódy v zapojení chránia spínače pred spätným rázom indukovaného napätia.

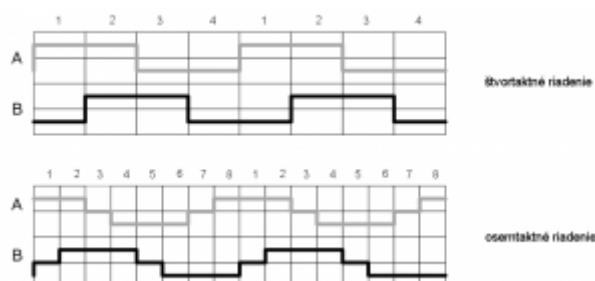
Keďže bipolárny KM obsahuje dve cievky, na jeho riadenie potrebujeme dva takéto H - mosty vid'. Obr. 13.



Obr. 13. Schéma zapojenia tranzistorového meniča (2x H most) pre bipolárne napájaný dvojfázový krokový motor

### Štvortaktné a osemtaktné bipolárne riadenie

Aj pri bipolárnom riadení môžeme realizovať základné algoritmy riadenia štvortaktné a osemtaktné s konštantnou amplitúdou prúdu tak, ako pri unipolárnom riadení, vid' obr. pod.



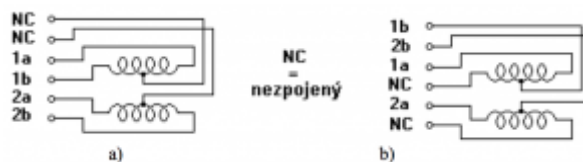
Obr. 14. Algoritmus spínania fáz pri bipolárnom riadení

Popis: A a B predstavujú jednotlivé fázy.

Hodnota nad osou predstavuje tok prúdu jedným smerom, pod osou tok prúdu opačným smerom.

### Unipolárne verzus bipolárne krokové motory

Z informácií zo začiatku článku sme mohli vyvodit jednoduchý záver, a to, že bipolárne motory sú vlastne jednoduché unipolárne KM bez stredného vývodu, ktoré navyše zjednodušuje výrobu motora. Unipolárne motory môžeme zapojiť ako bipolárne a to v dvoch variantoch, vid' pod.



Obr. 15. Zapojenie unipolárneho KM ako bipolárneho dosahuje väčší krútiaci moment dosahuje väčšie rýchlosti

Prvý variant Obr. 15a jednoducho ignoruje stredný vývod. Druhý variant Obr. 15b využíva polovicu cievky. Táto možnosť produkuje menší krútiaci moment, ale je možnosť dosiahnuť vyššie rýchlosti kvôli menšiemu indukovanému napätiu.

## Literatúra

1. Žalman, M.: Akčné členy, STU, Bratislava 2003
2. Krokové motory - Kamil Řezáč, 2002 <http://robotika.cz/articles/steppers/en>