



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Výukové texty

pro předmět

Automatické řízení výrobní techniky

(KKS/ARVT)

na téma

Tvorba grafické vizualizace principu krokového motoru a jeho řízení

Autor: Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tvorba grafické vizualizace principu krokového motoru a jeho řízení

Princip funkce krokového motoru

Krokový motor (KM) je bezkomutátorový synchronní točivý stroj, který je napájený napěťovými impulsy stejnosměrného proudu. Vniklé magnetické pole je generováno postupným napájením jednotlivých pólových dvojic (cívek ve statoru). Pohyb rotoru krokového motoru je při nízkých rychlostech nespojitý, rotor se pohybuje mezi stabilními polohami permanentního magnetu a cívky vždy v určitém úhlu – mluvíme o pohybu v krocích. Počet kroků (stabilních klidových poloh) je dán počtem pólových dvojic, rovněž také může být ovlivněn způsobem ovládání (plný krok, poloviční krok). K pohybu tohoto motoru je vždy třeba řídicí elektronika – ovladač krokového motoru tzv. driver.

Krokový motor převádí tzv. digitální impulsy na postupné otáčení hřídele motoru. Počet kroků je úměrný generovaným impulsům a počtu otáček. Rychlost otáčení je úměrná frekvenci vstupních impulsů. Tyto impulsy mohou být vytvořeny jednoduše mechanickým spínačem, logickými obvody nebo mikroprocesorem. Výkonná elektronika driveru funguje jako „rozdělovač“, kde každý impuls je pak převeden přímo do jednotlivých vinutí motoru. Obvykle jeden puls otáčí rotorem o jeden krok.

Vzhledem k principu nedochází k mechanickému kontaktu mechanicko-elektrických částí a jediné opotřebení je proto v ložiskách, tím se vyznačují velkou mechanickou odolností, dlouhou dobou života a provozem téměř bez údržby.

Nevýhodou krokových motorů je tzv. ztráta kroku, která nastává při překročení mezního zatížení a náchylnost k mechanickému zakmitávání (vibracím), které může vést k nestabilitě při pohybu. Obě tyto negativní vlastnosti lze předem vyloučit volbou vhodného motoru a driveru s přihlédnutím k potřebným momentovým charakteristikám pohonného systému technického zařízení.

Krokové motory jsou rozdělovány podle počtu „fází“ a to na 2-fázové, 3-fázové a 5-fázové.

Použití krokového motoru

V praxi se vyskytují oblasti a potřeby pohonu, který bez dalších technických prvků zvládne přesně nastavit danou polohu a tuto polohu i přes působící zátěžné síly udržet (např. souřadnicové zapisovače, manipulátory nebo počítačem řízené obráběcí stroje). Právě to jsou aplikace jako vhodné pro aplikaci krokových motorů. V robotice se používají krokové motory z důvodu jejich snadné obsluhy, údržby a jednoduchosti. Pokud jsou vhodně zvolené krokové motory pro danou aplikaci (nejsou přetěžovány), lze se obejít bez zpětné vazby



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

enkodéru pro určení polohy KM – stačí řídicím systémem posílat a počítat impulsy (kroky) a není potřeba pro precizní řízení rychlosti programovat komplexní a složité PID kontroléry.

Je též nutné popsat výhody a nevýhody pohonů s krokovými motory. Nejzávažnější je trvalý odběr proudu (pokud je jednodušší driver) i když se motor netočí. Nepříliš výhodný je poměr výkonu (kroutícího momentu) vůči hmotnosti motoru. Cena některých druhů KM není ve srovnání s DC motory nebo servomotory příliš výhodná.

Výhody krokového motoru:

- Kompaktní „digitální“ motor bez zpětné vazby
- Velmi jednoduše říditelný
- Bezkartáčový
- Žádná údržba
- Poloha zůstává i při nulové rychlosti
- Žádná úhlová chyba
- Velmi vysoký točivý moment
- Moment i při nulových otáčkách
- Nelze ho mechanicky přetížit
- Otáčí se oběma směry
- Kompatibilní od různých výrobců

Nevýhody krokového motoru:

- Extremně citlivý na přetížení
- Žádná zpětná informace o skutečné poloze (pokud není použit enkodér)
- Při přetíženích ztratí pozici „bez opravení“
- Limitovaná dynamika
- Ztráta M_k při rostoucích otáčkách
- Vyšší hlučnost a vybrání

Struktura krokového motoru

Na obr. 1.1, 1.2, 1.3 je rozložený 2-fázový krokový motor s 200 kroky na otáčku (1.8 stupně na krok). Stator krokového motoru je tvořen sadou cívek. Pólové nástavce statoru jsou vroubkovány se stejnou roztečí jako je rozteč magnetů na rotoru. Toto je jedna z částí zvyšující přesnost motoru při stejném počtu cívek (obr. 1.4). Rotor je tvořen hřídelí usazenou na kuličkových ložiskách a prstencem permanentních magnetů.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



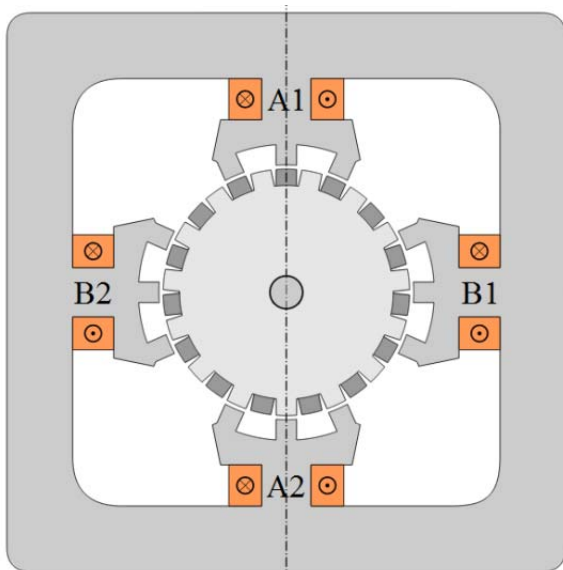
Obr. 1.1 Krokový motor [5]



Obr. 1.2. Stator KM [5]



Obr. 1.3. Rotor KM [5]



Obr. 1.4. Vnitřní struktura krokového motoru a reálný pohled na mechanické uspořádání [9]

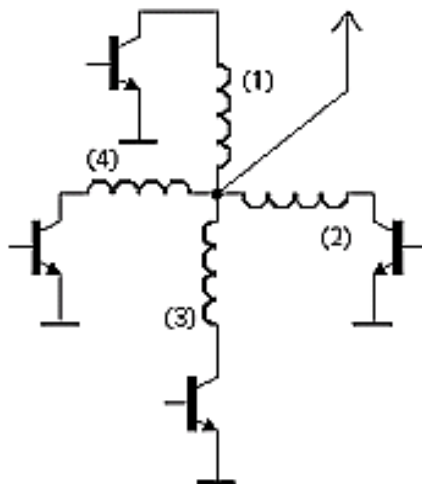
Struktura řízení krokového motoru

Řízení chodu krokového motoru je dáno počtem „fází“ a možnostmi elektronických výkonových stupňů driveru pro řízení unipolární nebo bipolární. Stavba driveru je možné „amatérsky“ a nebo využití profesionální úrovně, která nabízí mnohem více funkcí.

Unipolární řízení

Při unipolárním řízení prochází elektrický proud v jedné časové oblasti právě jen jednou cívku. Motor s tímto buzením má menší odběr, ale také poskytuje menší kroutící moment. Výhodou tohoto řešení je jednoduché zapojení řídicí elektroniky, kdy je postačující jeden tranzistor na každou cívku KM. Pro menší motory lze s určitou výhodou použít již zhotovený integrovaný obvod ULN2803.

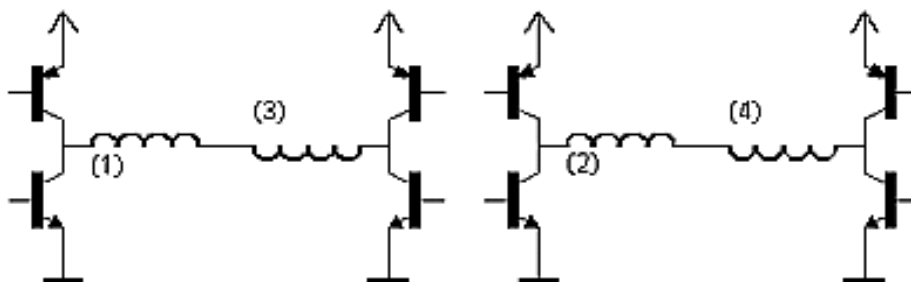
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 1.6 Základní elektrické schéma unipolárního řízení [5]

Bipolární řízení

Při bipolárním řízení prochází elektrický proud vždy dvěma protilehlými cívkami. Ty jsou zapojené tak, že mají navzájem opačně orientované magnetické pole. Krokový motor v tomto režimu poskytuje větší krouticí moment, ovšem za cenu vyšší spotřeby energie. Pro řízení jsou zapotřebí již 2 sady výkonových tranzistorů (zapojených do tzv. H-můstku). To ve výsledku znamená jednak složitější zapojení a větší počet ovládacích prvků (jejich počet lze zredukovat pomocí přídavné logiky). Vhodným integrovaným obvodem pro bipolární řízení menších motorů je např. H-můstek L293D.



Obr. 1.7 Základní elektrické schéma bipolárního řízení [5]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Jednofázové řízení

Jednofázové řízení KM znamená, že silové magnetické pole generuje pouze jedna cívka (případně dvojice cívek při bipolárním buzení).

Dvoufázové řízení

Při dvoufázovém řízení KM generují shodně orientované magnetické pole vždy dvě sousední cívky. Toto řízení má sice vyšší kroutící moment, ale je zde též dvojnásobná spotřeba energie proti řízení jednofázovému.

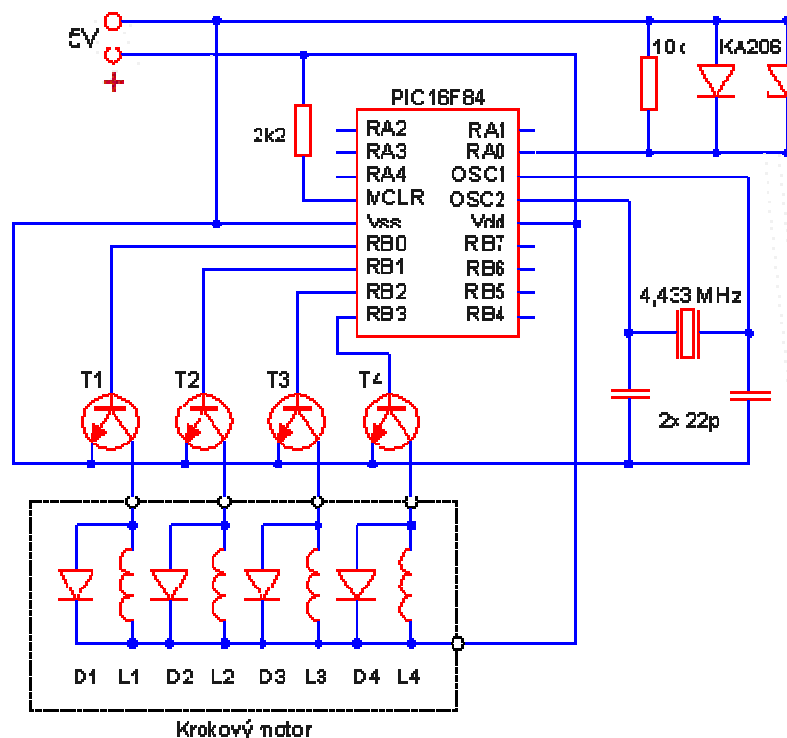
Řízení s plným krokem

Řízení s plným krokem (full step) znamená, že na jednu otáčku je potřeba přesně tolik kroků, kolik zubů má stator daného KM motoru.

Řízení s polovičním krokem

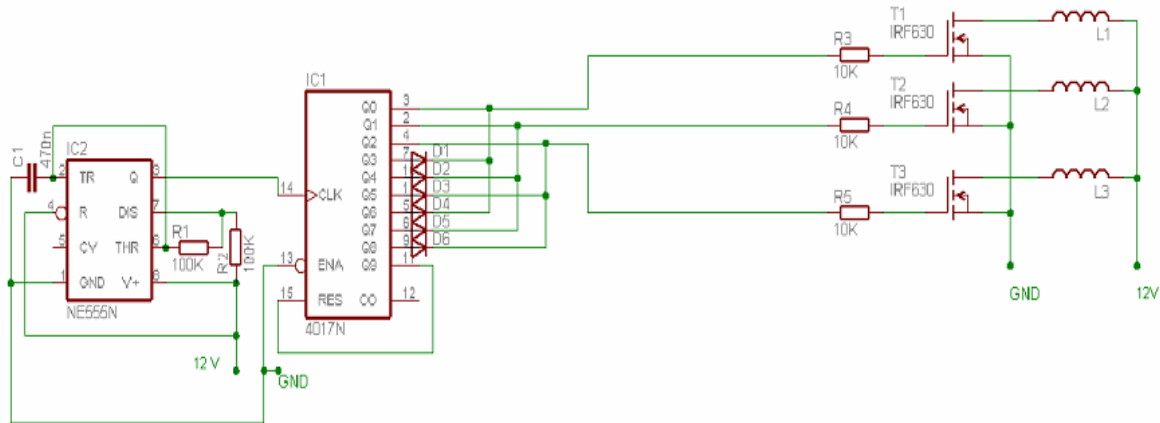
Řízením s polovičním krokem (half step) dosáhne dvojnásobné přesnosti. Technicky se jedná o střídání kroků s jednofázovým a dvoufázovým řízením. Toto řízení se též může nazývat mikrokrokování.

Základní příklady uspořádání řídicích systémů KM



Obr. 1.8 Příkladové schéma základního řídicího systému pro 2-fázový KM s mikročipem [8]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 1.9 Příklad řídicího systému pro 3-fázový KM s analogovými obvody [10]

Jednotlivé druhy krokových motorů

Krokový motor 2-fázový

Jak název napovídá, hybridní motor je kombinace několika vlastností. Spojuje v sobě vysokorychlostní VR motor a PM motoru pro sílu a tlumení. Běžně má u krokového motoru rotor 50 zubů, proto lze určit úhel jednoho kroku, který se určí:

$$360^\circ / z / F / P$$

z = počet zubů = 50

p = počet pólů rotoru = 2

f = počet fází = 2

tj. 1.8° nebo tzv. 200 kroků na jednu otáčku.

Úhel na jeden krok je téměř vždy $1,8^\circ$, ale i $3,6$ a $0,9$ stupňů.

Mezi typické aplikace patří tiskárny, lékařské přístroje, základnové radiostanice, průmyslová automatizace, atd.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Krokový motor 3-fázový

3-fázový krokový motor je novější variantou krokových motorů a má oproti 2-fázovému KM řadu výhod:

- Možnost používat stejné jednotky driverů jako servomotory nebo měniče.
- Úhel kroku $1,2^\circ$ tj. 300 kroků na jednu otáčku.
- Běh motoru je téměř nehlučný
- Výrazně hladší chod než 2-fázový motor, ale nedosahuje parametrů 5-fázového KM.

Vzhledem k výrobě 2-fázových krokový motor v mnoha miliónových sériích, která tvoří 95% z celkového počtu vyrobených krokových motorů je produkce 3-fázového KM mnohem menší a dražší. Díky výhodným vlastnostem bude v budoucnu nejspíše více rozšířen.

Krokový motor 5ti fázový

Během roku 1970, získal Němec Berger Lahr patent na 5-fázový krokový motor, který byl parametricky mnohem lepší než všechny současné 2-fázové systémy KM. Motor byl silnější, žádné rezonance a úhel jednoho kroku je pouhých $0,72^\circ$ tj. 500 kroků na jednu otáčku (pozn. 500 kroků a šroub s 5 mm stoupáním umožnil rozlišení 0,01 mm). Roku 1992 vypršel patent a proto některé firmy jako Berger Lahr, Oriental Motors a Sanyo Denkiorientální Motors, Sanyo Denki vyrábějí 5-fázové motory ve velkém měřítku. Nevýhoda je mnohem dražší výroba než u klasických 2-fázových nebo i 3-fázových KM.

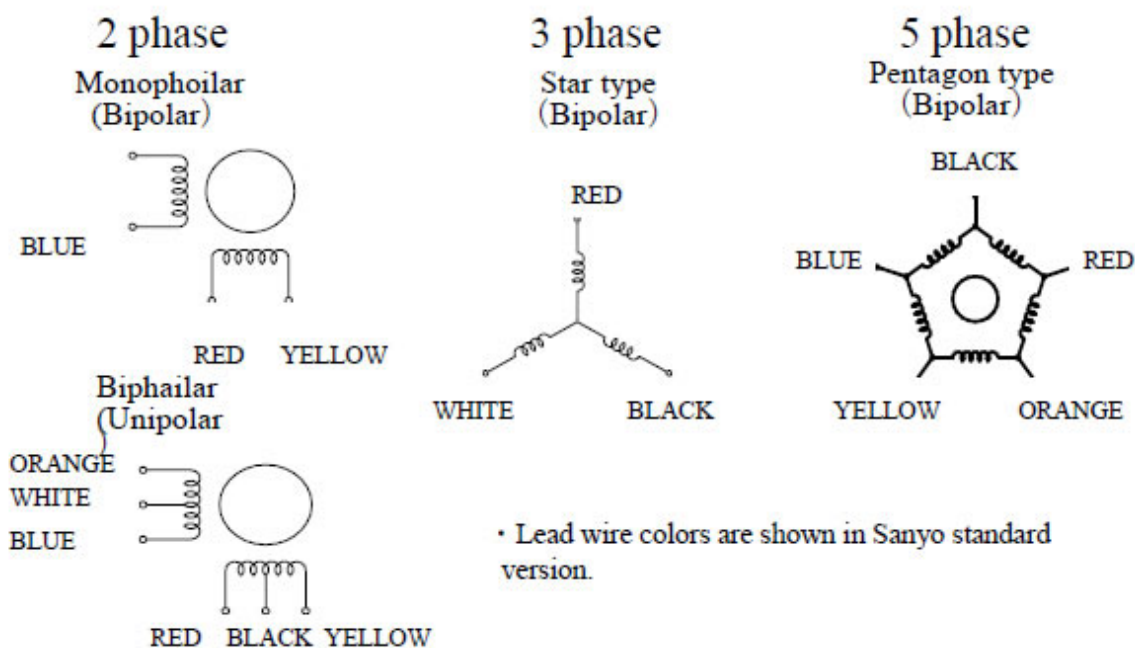
Existuje však řada aplikací pro měřicí přístroje nebo zdravotnickou techniku, kde měkký chod 5-fázového motoru „téměř“ bez vibrací a rezonance je nutnou podmínkou. Nevýhodou je, že řídicí systém má mnohem složitější řízení (příklad: obsahuje 10 nebo 20 tranzistorů pro koncový stupeň) a to činí celkové řešení drahé.

Díky lepší pohonné elektronice mají dnes dvoufázové krokové motory téměř stejné výsledky, ale za mnohem nižší cenu.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Typické vnitřní blokové uspořádání

(2-fázový KM, 3-fázový KM, 5-fázový KM s barevným značením vodičů a zapojením cívek)



Obr. 1.10 Příklad vnitřní schématické struktury KM [7]

Počet fází	2		3	5
Úhel na krok	1,8°		1,2°	0,72°
Způsob pohonu	Unipolární	Bipolární	Bipolární	Bipolární
Počet transistorů	4	8	6	10
Počet statorových pólů	8		12	10
Počet připojovacích vodičů	6	4	3	5
Momentový poměr (TG/TH)	0,707	0,707	0,866	0,951

Přidržovací moment (TH) - Max moment (TG) = Momentové zvlnění

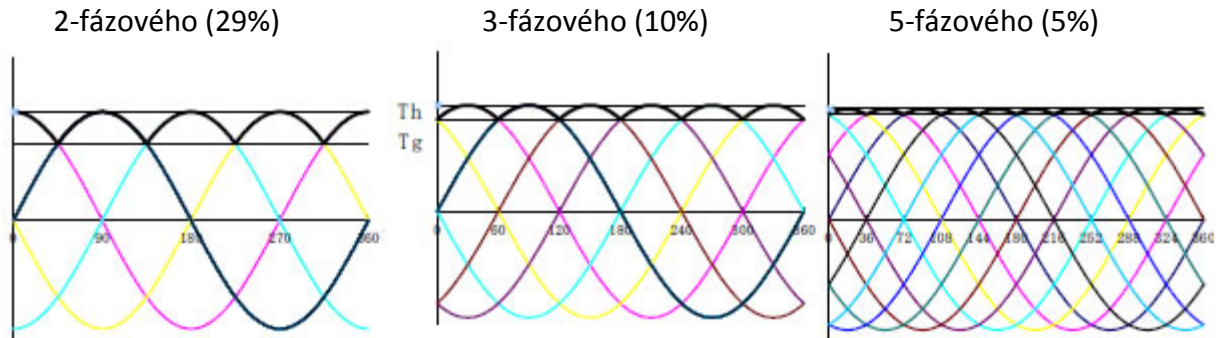
$$TG (2\text{-fas}) = 0,707 \times TH$$

$$TG (3\text{-fas}) = 0,866 \times TH$$

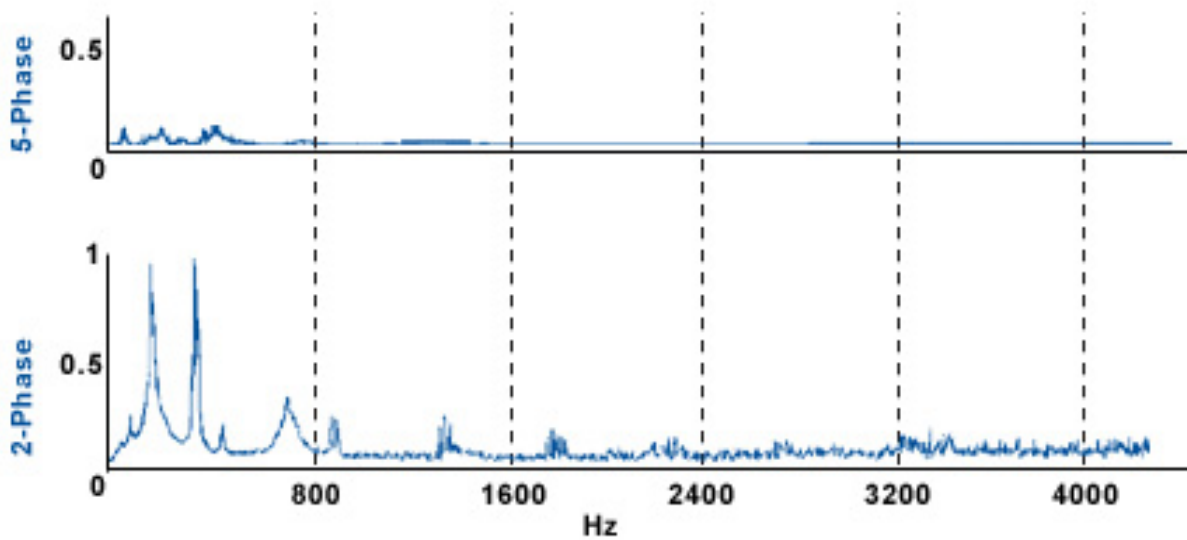
$$TG (5\text{-fas}) = 0,951 \times TH$$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Je velmi důležité zvolit správný typ motoru, pro aplikace, které vyžadují nízké vibrace a proměnnou rychlost.



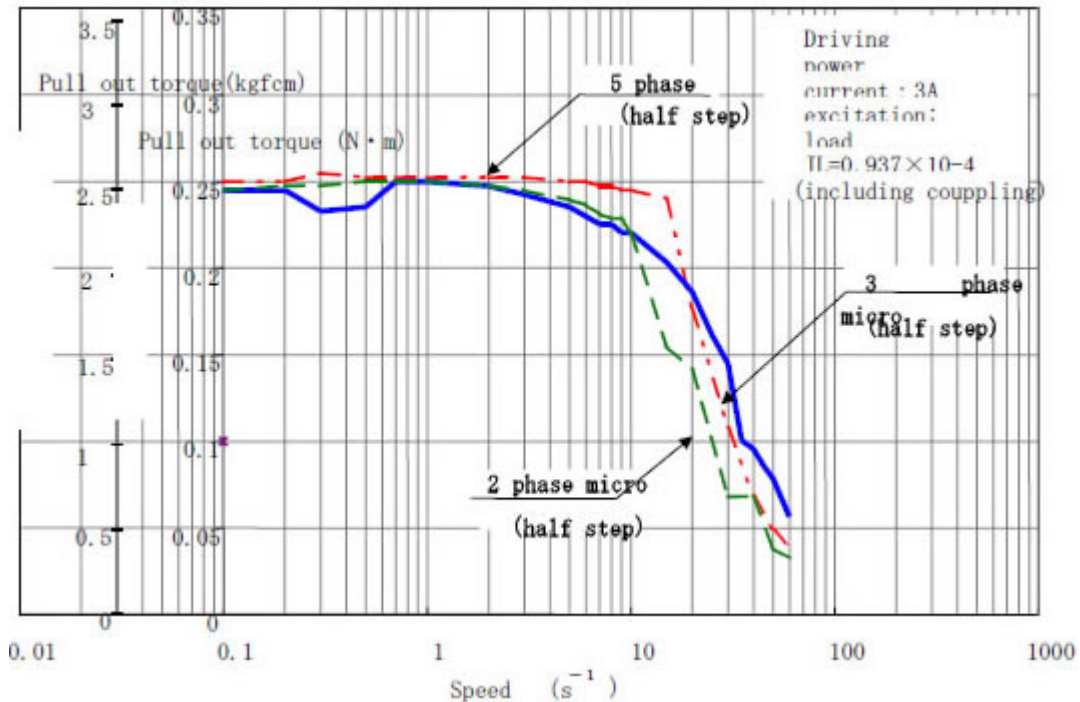
Obr. 1.11 Momentové zvlnění u 2-fázového (29%), 3-fázového (10%) a 5-fázového (5%) KM



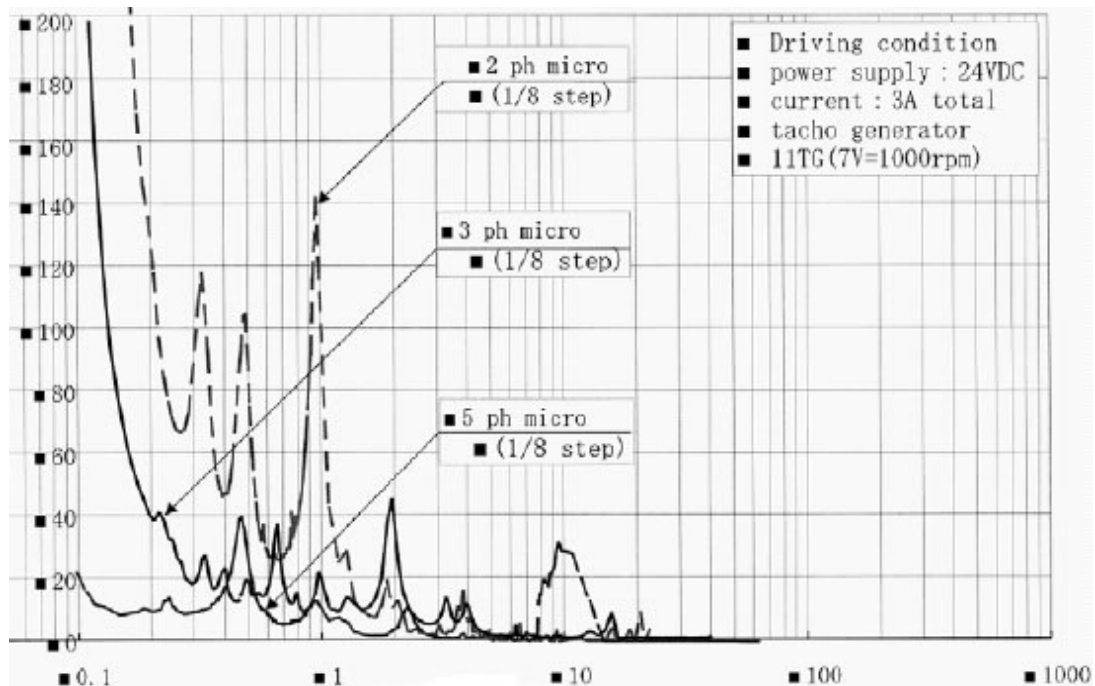
Obr. 1.12 Výhody nízkých vibrací 5-fázových motorů proti 2-fázovým. [11]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Dynamické charakteristiky (stejné pracovní podmínky v obou grafech)



Obr. 1.13 Dynamická charakteristika kroučícího momentu na otáčkách [7]



Obr. 1.14 Výhody nízkých rezonancí 5-fázových motorů proti 2-fázovým. [7]



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Z grafické závislosti je zřetelné, že 5-fázové krokové motory mají jasně nejlepší dynamickou charakteristiku. Pro jejich vlastnosti se využívají pro technické zařízení s přesným nastavením, jako jsou aplikace ve zdravotní technice a lékařství. Pokud se podíváme na cenové relace a úroveň hluku jsou 3-f motory ideální volbou.

Veškeré uvedené dynamické vlastnosti, momentové charakteristiky jsou důležitými parametry nejenom pro krokové motory, ale i pro ostatní pohonné systémy u polohovacích zařízení (manipulátory, roboty i výrobní stroje). Volba pohonného systému je závislá na požadovaných vlastnostech a možnostech pro danou aplikaci v technickém systému.

Poděkování

Investice do rozvoje vzdělávání.

Tento výukový text je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci projektu č. CZ.1.07/2.2.00/28.0206 „Inovace výuky podpořená praxí“.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Literatura

- [1] Häberle, H.: *Průmyslová elektronika a informační technologie*, Europa-Sobotáles, Praha, 2003, ISBN 80-86706-04-4
- [2] Kreidl, M., Šmíd, R.: *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu*, BEN, Praha, 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [3] Martinek: *Senzory v průmyslové praxi*, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-114-4
- [4] Schmidt, D.: *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*, Europa-Sobotáles, Praha, 2005, ISBN 80-86706-10-9
- [5] Krokové motory; <http://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [6] Encyklopedie WIKIPEDIA ; http://cs.wikipedia.org/wiki/Krokov%C3%BD_motor
- [7] Pohony s KM; <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/krokovy-motor>
- [8] Driver pro KM; <http://pelikan.aelias.eu/pic16x8x/priklady/priklad04.html>
- [9] Rozbor krokového motoru; <http://www.mylms.cz/text-krokovy-motor-princip/>
- [10] Krokový motor; <http://tc-pipa.wz.cz/motor.html>
- [11] Výrobce krokových motorů; <http://www.orientalmotor.com/support/index.html>