

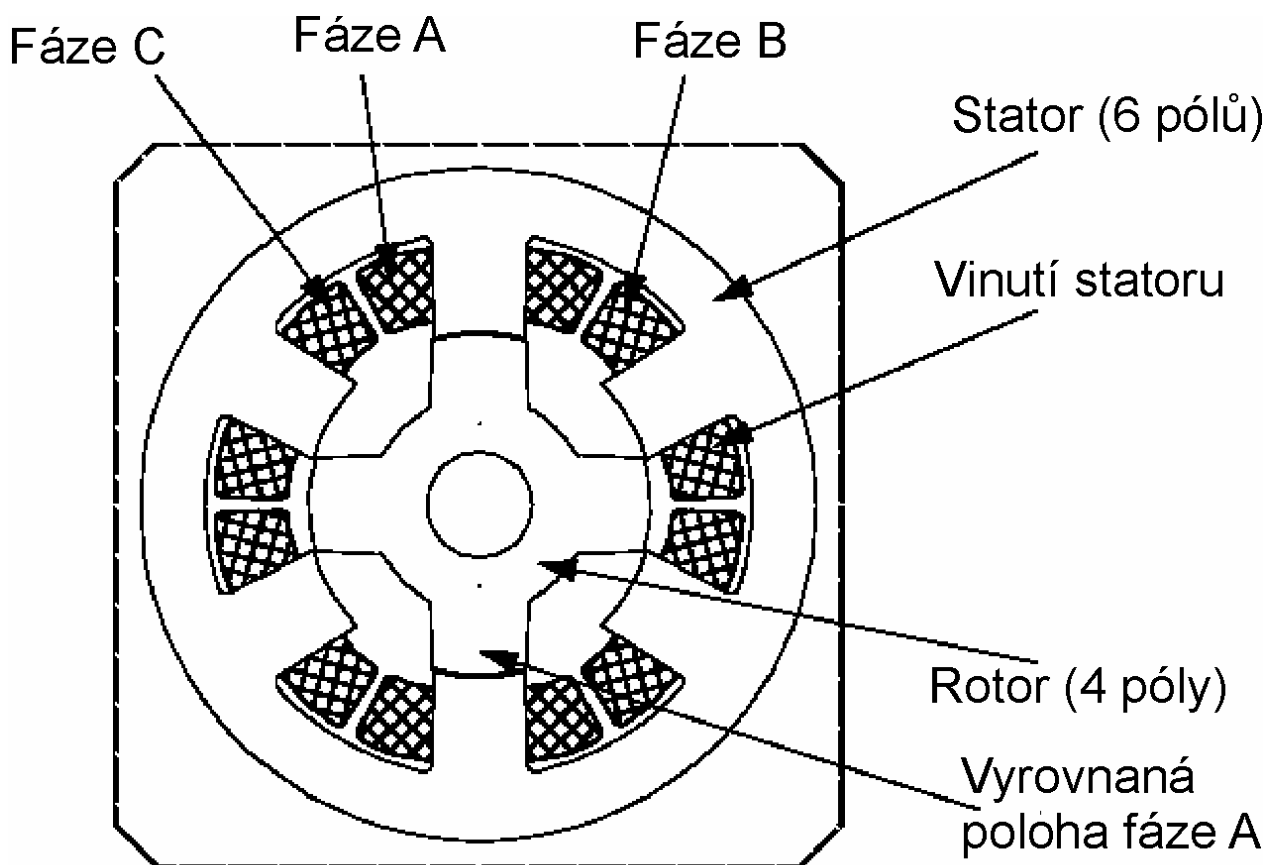
Spínaný reluktanční motor s magnety ve statoru

(c) Ing. Ladislav Kopecký, 2007

Úvod

Spínaný reluktanční motor (SRM) je rotační elektrický stroj, kde jak stator, tak rotor má vyniklé póly. Statorové vinutí se skládá z sady cívek a každá z nich je navinuta kolem jednoho pólu. Rotor je sestaven ze vzájemně izolovaných plechů, aby se minimalizovaly ztráty vířivými proudy. SRM se vzájemně liší počtem fází navinutých na statoru. Každý SRM má určitou vhodnou kombinaci počtu statorových a rotorových pólů. Obr. 1 ilustruje typický třífázový SRM se šesti póly ve statoru a čtyřmi póly v rotoru.

Motor je poháněn sekvencí proudových impulsů, přiváděných do každé fáze. Jednotlivé fáze jsou postupně buzeny a nutí rotor motoru otáčet se. Proudové impulsy musí být aplikovány do příslušné fáze v přesné poloze rotoru vzhledem k této fázi.

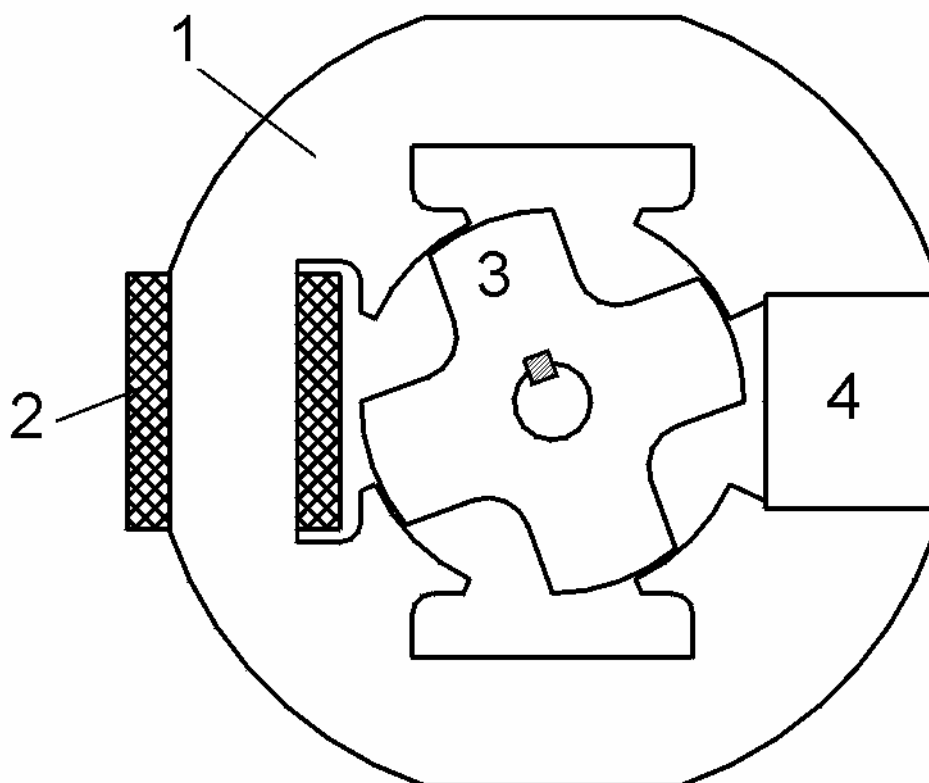


Obr. 1. Typický příklad spínaného reluktančního motoru

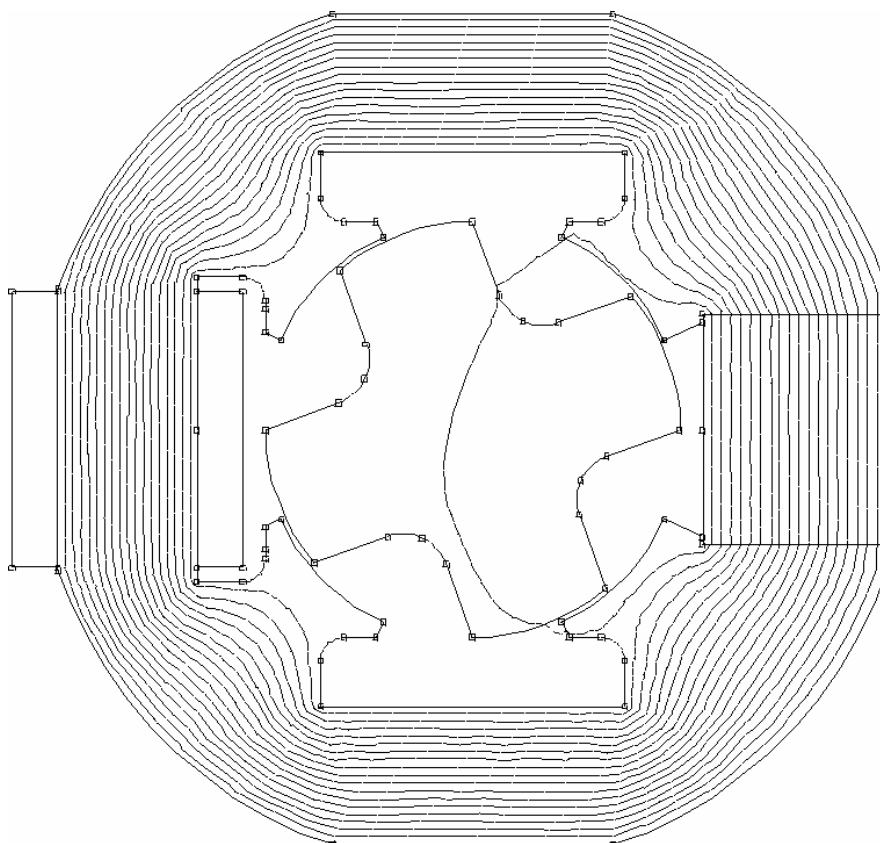
Nové technické řešení reluktančního motoru

Jednofázový motor

V základní verzi se jedná o jednofázový spínaný reluktanční motor s netypickým provedením statoru (viz obr.2). Počet pólů rotoru (3) se shoduje s počtem pólů statoru (1). Na rozdíl od klasického reluktančního motoru, stator (1) obsahuje pouze jedinou cívku (2), která je buzena proudovými impulsy. Druhá cívka je nahrazena magnetem (4). Na obrázku je zobrazen permanentní magnet, ale v principu může být použit i stejnosměrně a trvale buzený elektromagnet. Všimněte si, že cívka (2) není navinuta na vyniklém pólu statoru, jako je tomu u běžného reluktančního motoru, ale je umístěna mezi dvěma statorovými póly. Polarita cívky (2) je taková, aby magnetický tok, vybuzený cívkou (2), působil proti magnetickému toku magnetu (4). Je-li cívka (2) bez proudu, magnetický tok vybuzený magnetem (4) se uzavírá pouze statorem (viz obr. 3). Jestliže ve vhodné poloze rotoru vůči statoru do cívky (2) přivedeme elektrický proud, v cívkce se vybudí magnetický tok, který působí proti mag. toku magnetu (4). V tomto případě se oba magnetické toky, tj. magnetický tok vybuzený cívkou (2) a magnetický tok vybuzený magnetem (4), uzavírají přes rotor (3), čímž v rotoru vytváří krouticí moment (viz obr. 4). Výhoda tohoto uspořádání statoru SRM spočívá v tom, že k vybuzení jedné cívky je třeba poloviční energie proti statoru se dvěma cívkami, přičemž, díky magnetu, je krouticí moment rotoru stejně velký jako v případě statoru se dvěma cívkami. Toto uspořádání bohužel umožňuje konstruovat pouze jednofázové motory. Tento nedostatek je však možné odstranit vhodnou konstrukční úpravou.



Obr. 2. Spínaný reluktanční motor s magnetem ve statoru.

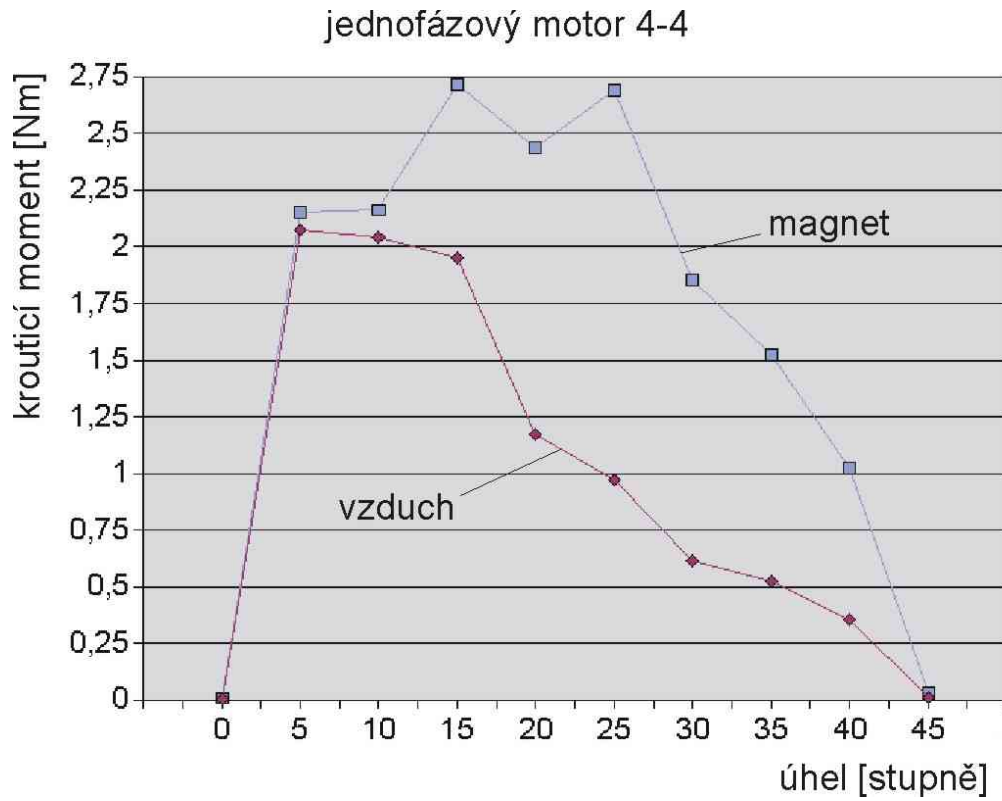


Obr. 3. Magnetické siločáry v motoru při nulovém proudu cívkou.

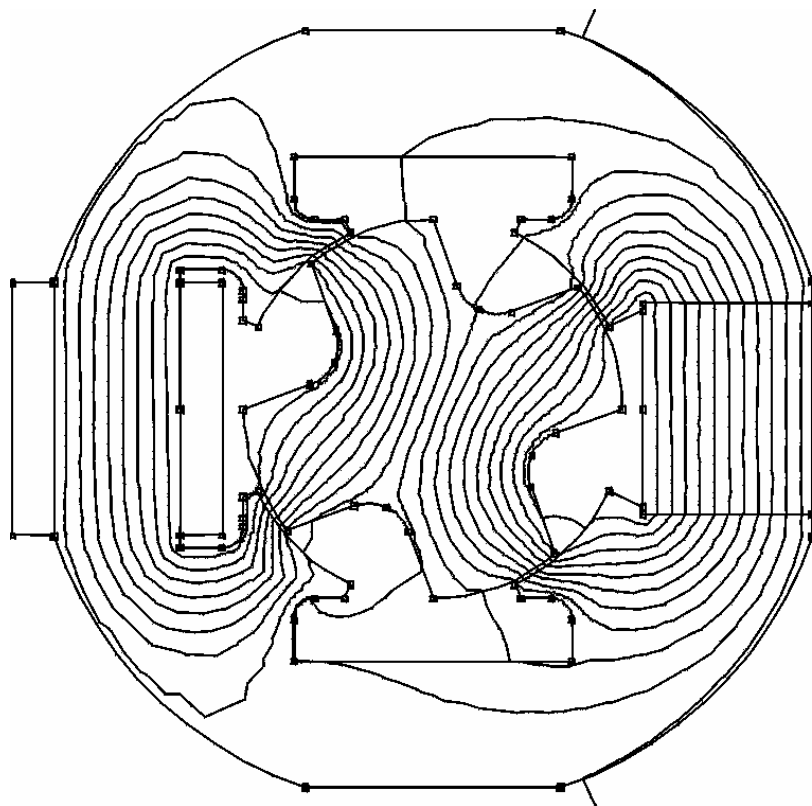
Úhel [st.]	Kroučicí moment [Nm]	
	Magnet	Vzduch
0	0,01	0,01
5	2,15	2,07
10	2,16	2,04
15	2,72	1,95
20	2,44	1,17
25	2,69	0,97
30	1,86	0,62
35	1,53	0,52
40	1,03	0,35
45	0,03	0,01

Tab. 1a. Vliv magnetu na velikost kroučicího momentu.

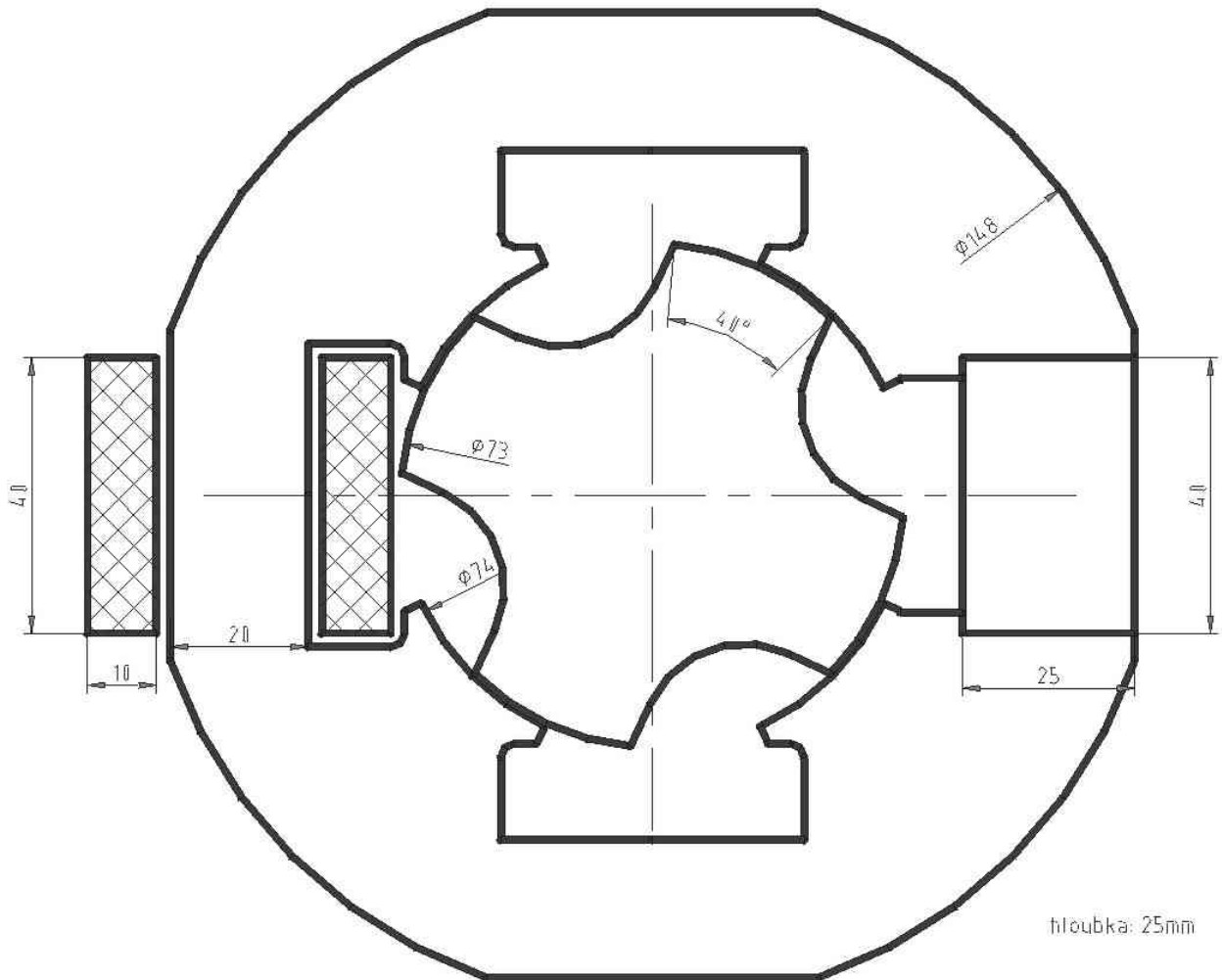
V tab. 1 jsou uvedeny hodnoty kroučicího momentu v závislosti na poloze rotoru. Ve třetím sloupci jsou uvedeny údaje pro motor, z něhož byl vyjmut magnet. Tyto údaje byly získány pomocí freewarové verze simulačního programu femm v.3.3, která je volně dostupná na internetu. Rozměry simulovaného motoru najdete na obr. 5. U cívkou byla použita proudová hustota 4 A/mm^2 , materiál magnetu byl zvolen NbFeB 32 MGOe, jako materiál mag. obvodu byla použita křemíková ocel (silicon core iron).



Graf 1a. Závislost kroučícího momentu na poloze rotoru při konstantním buzení



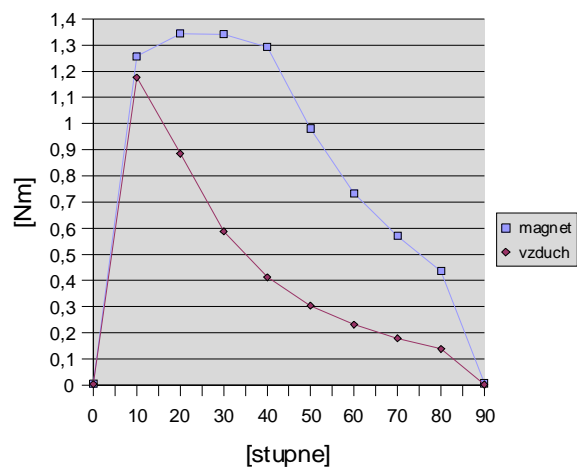
Obr. 4. Magnetické siločáry v motoru při plném buzení cívky.



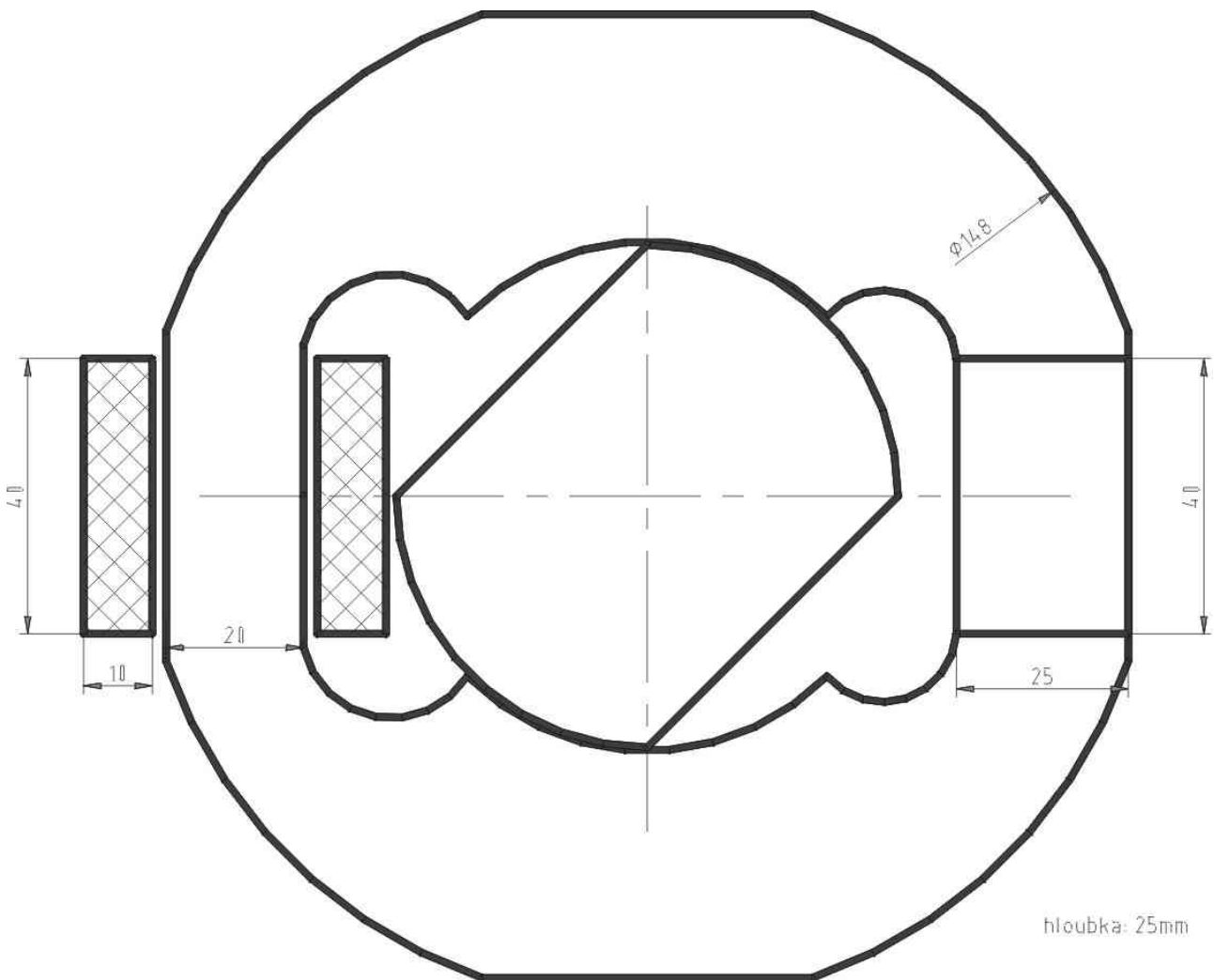
Obr. 5a. Konstrukční provedení jednofázového motoru 4-4.

Dvoupólový jednofázový motor

Úhel [°]	[Nm] magnet	[Nm] vzduch
0	0,01	0
10	1,26	1,18
20	1,34	0,89
30	1,34	0,59
40	1,29	0,41
50	0,98	0,3
60	0,73	0,23
70	0,57	0,18
80	0,44	0,14
90	0,01	0



Tab./graf 1b. Jednofázový motor 2-2



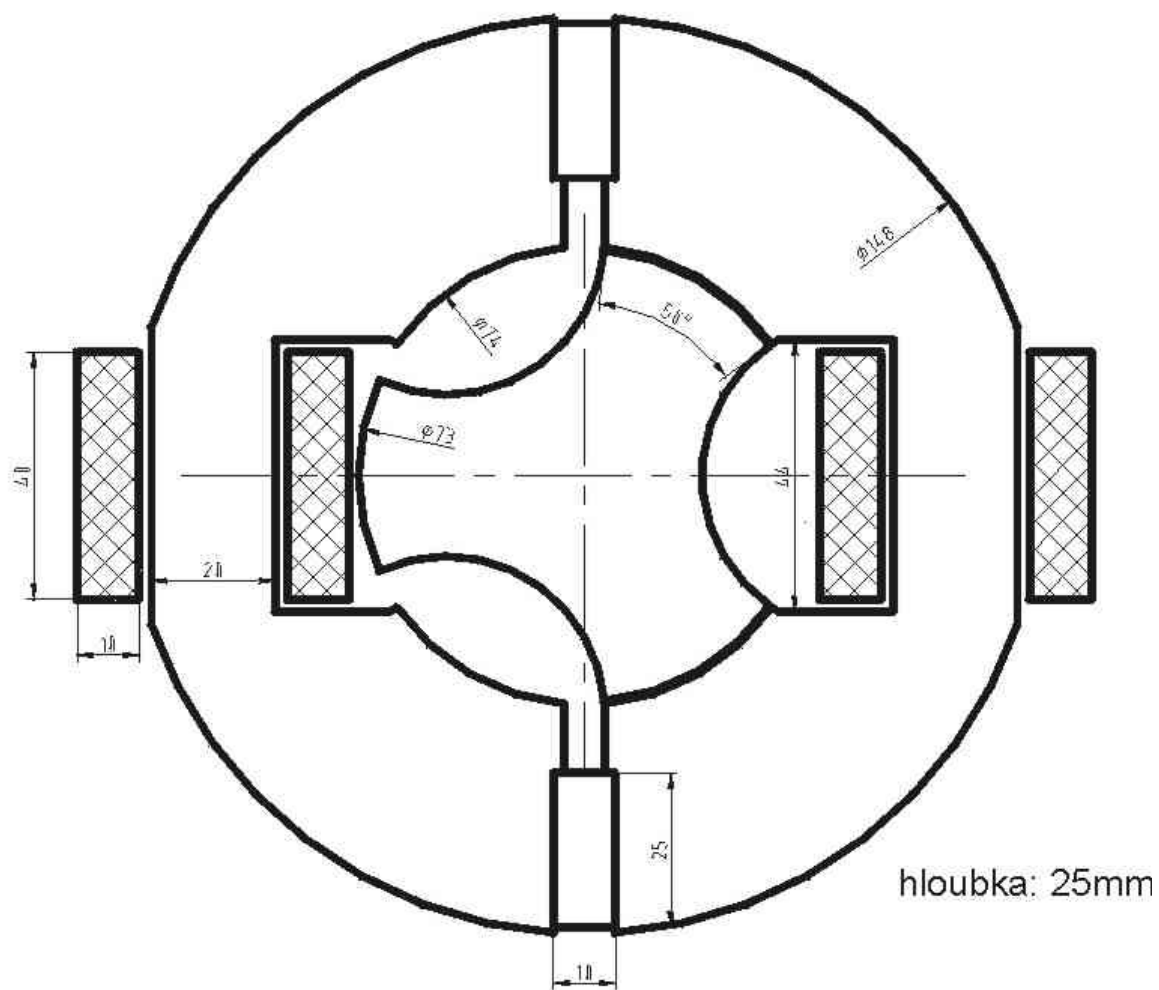
Obr.5b. Jednofázový motor 2-2

Vícefázové motory

Podobně jako u konvenčního reluktančního motoru, u vícefázového reluktančního motoru se počet vyniklých pólů rotoru liší od počtu vyniklých pólů statoru. Vzhledem k netypickému umístění statorových cívek a použití magnetů nemohou být póly statoru rozmístěny pravidelně, jako je tomu u klasického reluktančního motoru, ale každý druhý pól statoru je posunut tak, aby se přizpůsobil vzdálenosti dvou sousedních pólů v rotoru. Vše bude jasnější, až si to ukážeme na konkrétních provedeních dvoufázového a třífázového motoru.

Dvoufázový motor

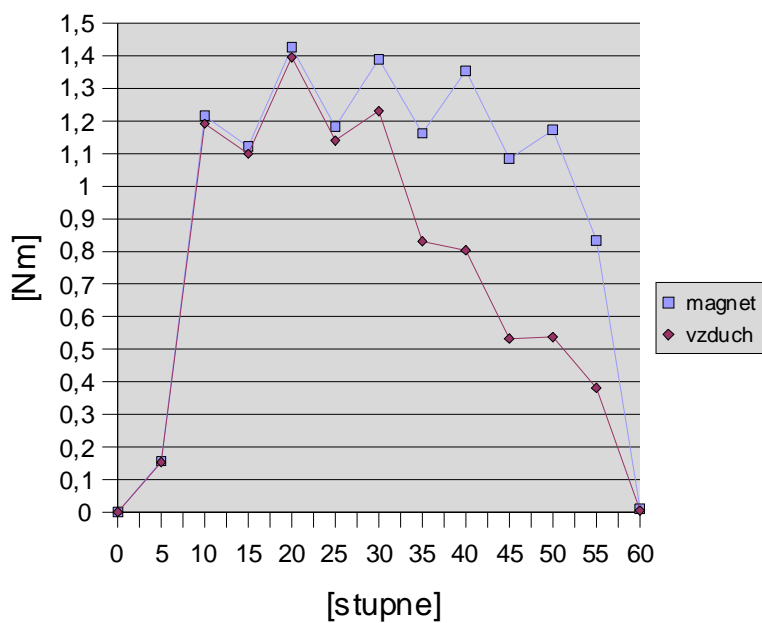
Jak bylo výše uvedeno, u vícefázového motoru není vzdálenost mezi póly statoru konstantní. Názorně je to ilustrováno na obr. 6, kde je zobrazen dvoufázový motor se čtyřmi statorovými póly a třemi póly v rotoru. Úhel, který svírají póly v rotoru je 120° . Ve statoru jedna dvojice pólů svírá úhel 120° (jako u rotoru), zatímco přilehlá dvojice pólů svírá úhel $180 - 120 = 60^\circ$.



Obr. 6. Příklad provedení dvoufázového motoru

Úhel [°]	[Nm] (magnet)	[Nm] (vyduch)
0	0	0
5	0,16	0,15
10	1,22	1,19
15	1,12	1,1
20	1,43	1,39
25	1,18	1,14
30	1,39	1,23
35	1,16	0,83
40	1,35	0,8
45	1,08	0,53
50	1,17	0,54
55	0,83	0,38
60	0,01	0,01

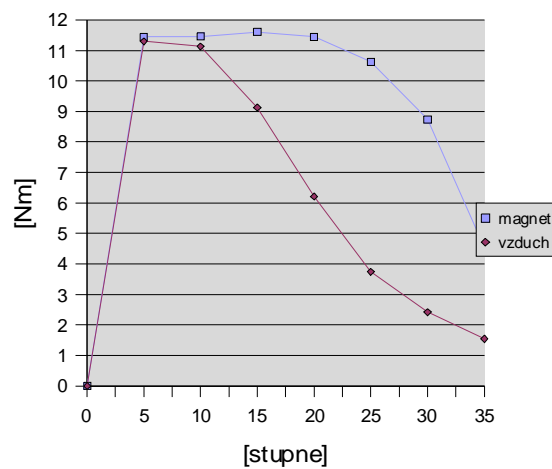
Tab. 2. Dvoufázový motor 4-3



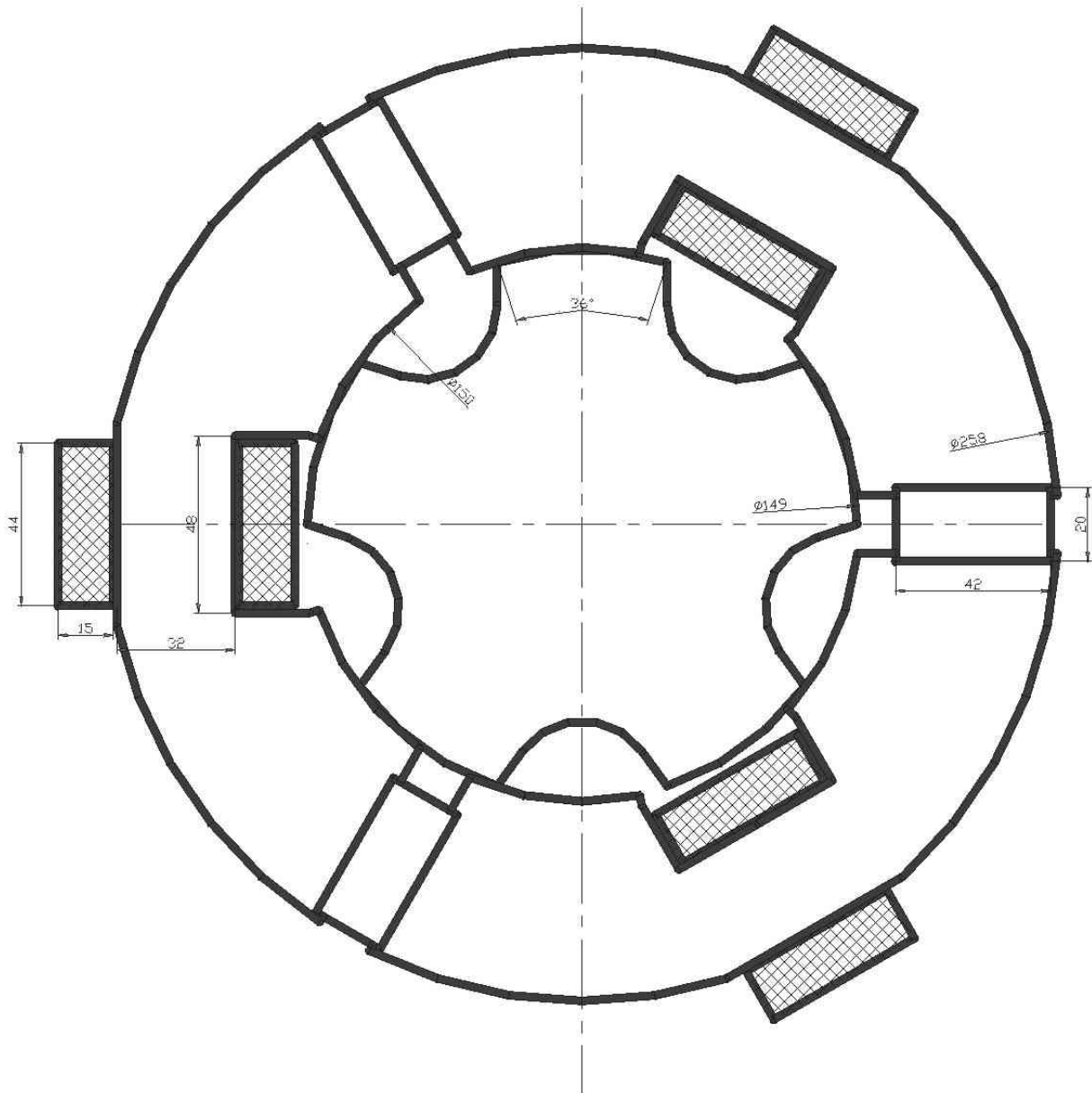
Graf.2. Dvoufázový motor 4-3

Třífázový motor

Úhel [°]	[Nm] (magnet)	[Nm] (vzduch)
0	0	0
5	11,44	11,3
10	11,45	11,13
15	11,6	9,13
20	11,44	6,21
25	10,63	3,74
30	8,74	2,43
35	4,52	1,54



Tab./graf 3. Třífázový motor 6-5



Obr.7. Třífázový motor 6-5

Závěr

Výsledky simulací všech tří provedení (jednofázový, dvoufázový a třífázový motor) jednoznačně prokazují, že magnety ve statoru podstatně zvyšují krouticí moment motoru, zejména v oblasti, která je blízko vyrovnané polohy rotoru (vyrovnanou polohou rotoru se míní to, že aktivní póly rotoru a statoru se kryjí). Tato vlastnost příznivě ovlivňuje průběh krouticího momentu v závislosti na poloze rotoru. Nejvíce je to patrné u třífázového motoru, jak je názorně vidět z příslušné tabulky a grafu.