

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Reluktanční stroje a jejich možné využití v průmyslu

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš MARTIŠKO**
Osobní číslo: **E14B0093K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Reluktanční stroje a jejich možné využití v průmyslu**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

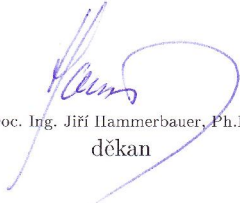
1. Uvedte přehled jednotlivých druhů reluktančních strojů.
2. Popište jejich konstrukční uspořádání, princip funkce a možnosti řízení.
3. Uvedte příklady jejich možného využití v průmyslu.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

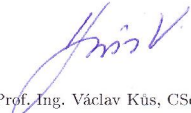
Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Šobra**
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2016**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kus, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Tato bakalářská práce je věnována reluktačním motorům a jejich využití v oblasti průmyslu. Úvodní část seznamuje s jejich historií, popisuje konstrukci a možnosti jejich řízení a využití v praxi. V další části jsou motory rozděleny do kategorií v závislosti na jejich odlišnosti od konvenčních elektrických točivých strojů. Poslední část se zaměřuje na výhody a nevýhody využití těchto motorů v praxi.

Klíčová slova

Reluktanční motor, reluktanční motor s permanentními magnety, reluktanční moment

Abstract

The bachelor thesis deals with reluctance motors and their industrial application. The opening part of the thesis acquaints with the history of reluctance motors, describes their constructions and possibilities of control and utilization in industry. The next part of the thesis divides reluctance motors into categories considering their differences from conventional electric rotary machines. The last part of the thesis focuses on advantages and disadvantages of their application in practice.

Key words

Reluctance motor, permanent magnet assisted reluctance motor, reluctance torque

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 29.5.2016

Lukáš Martiško

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Šobrovi, za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1. RELUKTANČNÍ MOTOR.....	11
1.1. PRINCIP RELUKTANČNÍHO MOTORU	11
1.2. RELUKTANČNÍ MOMENT	13
2. ZÁKLADNÍ DĚLENÍ RELUKTANČNÍCH MOTORŮ	15
2.1. SYNCHRONNÍ RELUKTANČNÍ MOTOR.....	15
2.2. SPÍNANÝ RELUKTANČNÍ MOTOR.....	18
2.3. KROKOVÝ RELUKTANČNÍ MOTOR.....	21
2.3.1. Rotační krokový motor.	22
2.3.2. Lineární krokový motor.	24
3. VÝKONOVÉ OBVODY A ŘÍZENÍ SRM	26
4. HLAVNÍ ODLIŠNOSTI OD KONVENČNÍCH EL. TOČIVÝCH STROJŮ	27
4.1. VÝHODY A NEVÝHODY RELUKTANČNÍCH MOTORŮ.....	28
4.1.1. Výhody.....	28
4.1.2. Nevýhody	28
5. POUŽITÍ RELUKTANČNÍHO MOTORU	29
6. ZÁVĚR	30
POUŽITÁ LITERATURA	31

Seznam symbolů a zkratk

SRM	spínaný reluktanční motor (switched reluctance motor)
RM	reluktanční moment (reluctance torque)
PM.....	permanentní magnety (permanent magnets)
VRM	krokové motory s proměnnou reluktancí (variable reluctance motors)
JV	jednoduchou vyniklostí (singly-salient)
DV.....	dvojitou vyniklostí (doubly-salient)
N _s	počet zubů statoru
N _R	počet zubů rotoru
ω [rad*s ⁻¹]	úhlová rychlost
B [T]	magnetická indukce
M [Nm]	velikost momentu

Úvod

Jedním ze známých druhů elektrických motorů je reluktanční motor. Svůj název dostali od „reluktance“, což je, magnetický odpor v uzavřeném magnetickém obvodu odpovídající ohmickému odporu elektrického obvodu.

Tato technologie je již dobře známá z minulosti. Jde o jeden z nejstarších typů elektromotorů, jejichž kořeny sahají do roku 1923, kdy docházelo k prvotním experimentům s touto technologií. Přestože je tato technologie dobře známá, bohužel se za celou historii nerozšířila tak, aby byla běžně používána v praxi.

V minulosti tato technologie narážela na problémy s řízením, protože na rozdíl od klasických motorů vyžadují pro práci náročné řízení frekvenčními měniči, které byly dříve drahé a především nestabilní. Až s rozvojem moderních technologií řízení a především z důvodu neustále rostoucích požadavků na úspory energií se výrobci postupně vrací k této technologii. Navyšování účinnosti klasických motorů nebude možné realizovat donekonečna. Používání vzácných kovů jednoho dne dosáhne svých limitů a z důvodu narůstajících ekonomických nákladů se proto výrobci rozhodli znovu začlenit do praxe tuto původní technologii.

Tato bakalářská práce je věnována právě těmto motorům a jejich možnému využití v oblasti průmyslu. Seznamuje s jejich historií, popisuje konstrukci, jejich řízení a využití v praxi. V dalších částech této bakalářské práce jsou motory postupně rozděleny do kategorií v závislosti na jejich odlišnosti od konvenčních elektrických točivých strojů. V poslední části se zaměřuji na výhody a nevýhody využívání těchto motorů v praxi.

1 Reluktanční motor

1.1 Princip reluktančního motoru

Reluktanční motor je druh elektromechanického měniče využívajícího tzv. reluktanční moment. Základním principem reluktančního momentu je silové působení magnetického pole dosažené změnou magnetického odporu (reluktance) stroje. U reluktančních motorů je veškerý vznikající moment reluktančního charakteru. Aby docházelo ke změně reluktance během otáčení rotoru, musí se jednat o stroj s vyniklými póly. Rotor stroje se natáčí vždy tak, aby stroj dosáhl minimální reluktance. Překrývají-li se zuby rotoru a statoru, je magnetický odpor stroje minimální, v opačném případě je maximální. S polohou rotoru se mění i indukčnost stroje, která je úměrná jeho reluktanci. [1] [2] [3] [4]

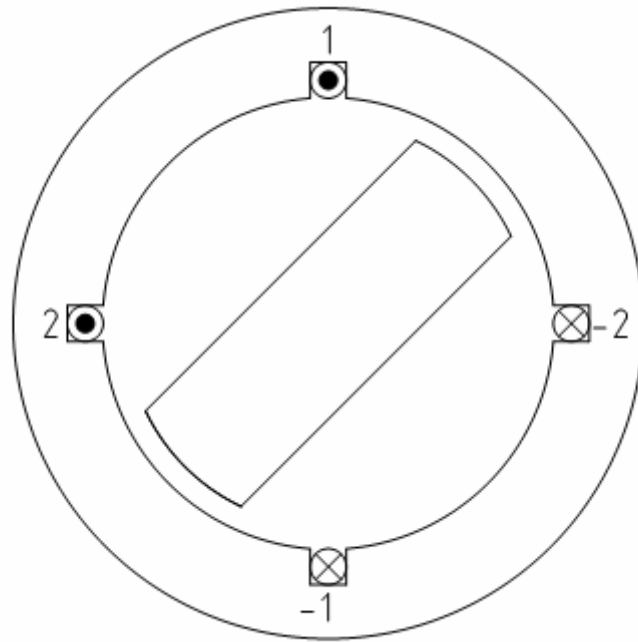
Stator se skládá z několika vyniklých pólů, fungujících jako elektromagnety, podobných jako u stejnosměrných motorů s komutátorem. Rotor je vyroben z magneticky měkkého materiálu, jako je laminovaná křemíková ocel, z níž jsou vyrobeny vyniklé póly. Počet pólů rotoru je typicky menší než počet pólů statoru, což minimalizuje cukání a zabraňuje vzniku mrtvé polohy (tj. polohy, při níž je kroutící moment nulový). [5]

Když nějaký pól rotoru je stejně vzdálen od dvou přilehlých pólů statoru, této poloze se říká „úplně nevyrovnaná poloha“. Je to poloha maximální magnetické reluktance pólu rotoru. Ve „vyrovnané poloze“ jsou dva nebo více pólů rotoru úplně vyrovnány se dvěma nebo více statorovými póly a v této poloze je minimální reluktance. [5]

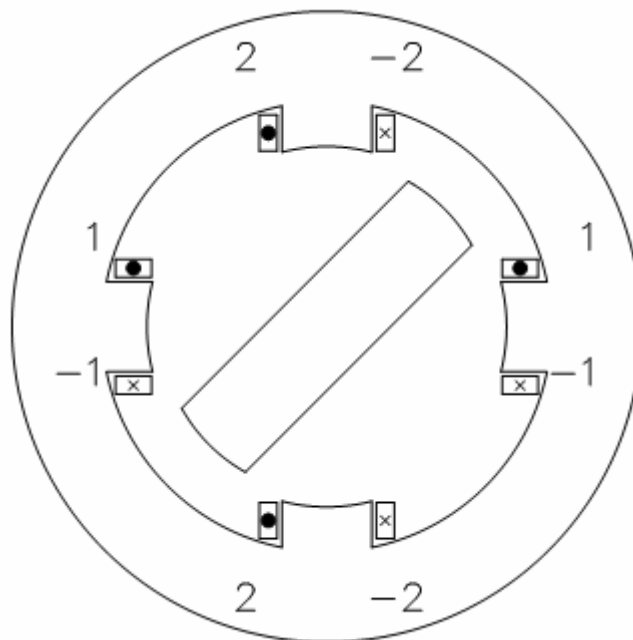
Když je pól statoru zmagnetován (tj. jeho cívkou protéká proud), kroutící moment rotoru působí ve směru, který sníží reluktanci. Nejbližší rotorový pól je tažen z nevyrovnané polohy magnetickým polem statoru do polohy s nejmenší reluktancí. Je to stejný účinek jako u válcové cívky s jádrem, nebo když magnet přitahuje feromagnetický kov. Aby byla udržena rotace pole statoru musí rotovat v předstihu před póly rotoru, aby neustále „táhlo“ rotor. [5]

Většina moderních konstrukcí je však typu spínaných reluktančních motorů, protože elektronická komutace poskytuje významné výhody pro start, řízení rychlosti a hladký běh motoru. [5]

Dle vyniklosti se reluktanční motory dělí na stroje s jednoduchou (JV) *singly-salient* nebo dvojitou vyniklostí (DV) *doubly-salient*. Rozdíl mezi oběma typy můžeme vidět na obrázcích 1 a 2. [3]



Obr. 1: Reluktanční stroj s jednoduchou vyniklostí. [3]



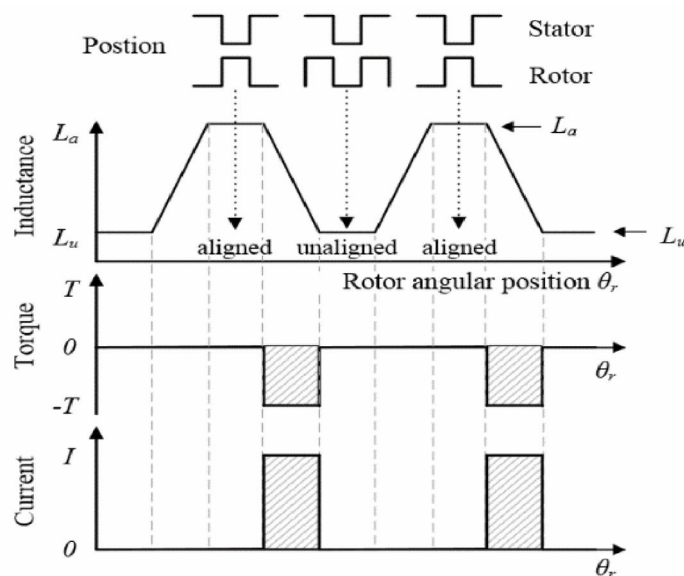
Obr. 2: Reluktanční stroj s dvojitou vyniklostí. [3]

1.2 Reluktanční moment

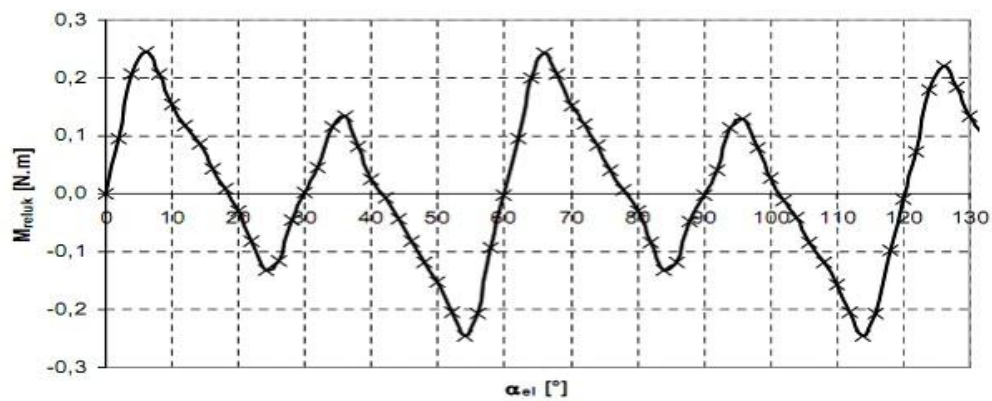
Reluktanční moment - *reluctance torque* je moment, který vzniká mezi rotorem a státorem motorů s permanentními magnety ale i pro stroje s proměnnou velikostí vzduchové mezery. Rotor osazený permanentními magnety má snahu se natočit tak, aby zaujal nejmenší magnetický odpor vůči statoru – vyrovnanou polohu nebo taky magneticky klidnou polohu. Nejmenšího reluktančního momentu dosahuje stroj tehdy, když se permanentní magnet nachází přímo pod statorovým zubem a překrývá se tak největší část plochy magnetu a zubu statorové drážky. [2]

Tento jev je založen na úplně stejném principu, jako např.: feromagnetická tabule s magnetky. Čím blíže se přibližujeme plochou magnetu k tabuli, a čím větší je daná plocha, tím větší síla přitahuje magnet k podložce, a tím menší magnetický odpor je mezi magnetem a podložkou. Když se ho naopak snažíme vychýlit, magnetický odpor vzrůstá, klesá magnetický tok a magnet se sám brání a působí na něj síla proti směru vychýlení. [2]

Při chodu motoru, kdy se rotorové póly pravidelně překrývají se statorovými zuby a zase odkrývají, se nám mění velikost a směr síly, kterou jsou magnety ke statoru přitahovány, a tedy i reluktanční moment není stálý, má svá maxima a minima, periodicky se opakuje, a algebraicky se sčítá s celkovým momentem motoru. Perioda je určena konstrukcí motoru. Tyto momentové výkyvy ale nesmí přesáhnout určitou mez, která by ovlivňovala plynulost chodu motoru. [6]



Obr. 3: Závislost indukčnosti na poloze rotoru, momentu a proudu . [7]



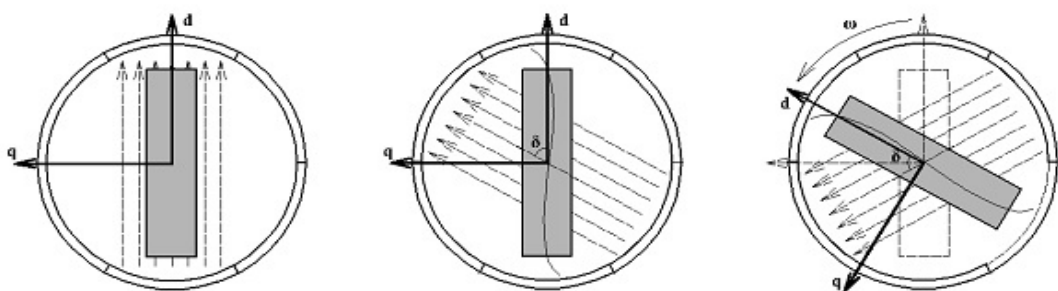
Obr. 4: Příklad průběhu reluktančního momentu v závislosti na natočení rotoru [6]

V praxi je cogging torque motoru velmi sledovaný faktor, který umíme ovlivnit konstrukcí motoru, hlavně geometrií v oblasti vzduchové mezery. Zejména u strojů s větším výkonem, kdy síly, které vytvářejí permanentní magnety, jsou už natolik velké, že reluktanční moment dosahuje jednotek N·m a narušuje tak plynulost chodu motoru zejména při nízkých otáčkách, musíme vzniklý reluktanční moment optimalizovat. [6]

2 Základní dělení reluktančních motorů

2.1 Synchronní reluktanční motor

Konstrukce statoru u synchronních reluktančních motorů je podobná konstrukci klasických synchronních či asynchronních motorů. Charakteristickým znakem reluktančního motoru je, že na rotoru není žádné vinutí ani permanentní magnet. Rotor je složen pouze z vhodně tvarovaných plechů. Otáčivý moment vzniká v důsledku rozdílných magnetických odporů magnetického obvodu díky nerovnoměrné vzduchové mezeře. [4]



Obr. 5: Princip funkce synchronního reluktančního motoru [8]

Základní fyzikální princip činnosti synchronního reluktančního motoru spočívá v tom, aby se vytvořila maximální magnetická vodivost v ose d a zároveň i maximální magnetický odpor v ose q . Při působení magnetického pole na rotor bude vznikat pohyb vždy, když se úhel δ mezi podélnou osou d a směrem magnetického pole nebude rovnat nule. [8]

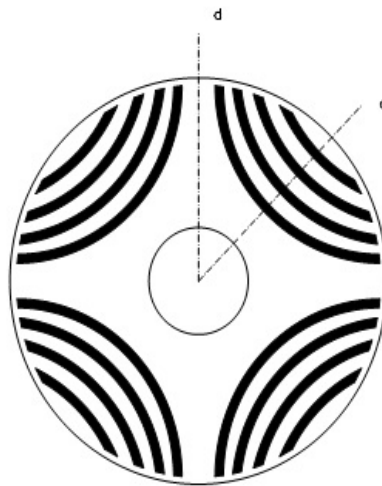
Tímto způsobem se rotor při otáčení magnetického pole vždy bude snažit zaujmout takovou polohu, při které magnetický odpor bude co nejmenší, a tento stav bude odpovídat minimální velikosti potenciální energie soustavy. Tím pádem se při zachování konstantního úhlu δ mezi magnetickým polem statoru a podélnou osou d bude elektromagnetická energie vždy přeměňovat na mechanickou. Viz obr. 5. [8]

Klasický reluktanční motor má stejný počet pólů na rotoru i na statoru. Tyto stroje jsou založeny na tzv. efektu vyniklosti. To znamená, že využívají změny magnetické vodivosti v závislosti na poloze rotoru. Jsou to synchronní stroje bez budícího vinutí s rotorem upraveným tak, aby se maximálně lišily magnetické vodivosti v osách d a q viz. obr 6. Maximální moment je závislý na rozdílu magnet. vodivostí . [4]

$$\Lambda_{\max} - \Lambda_{\min} \quad (2.1)$$

Abychom získali uspokojivé provozní charakteristiky, mělo by platit. [4]

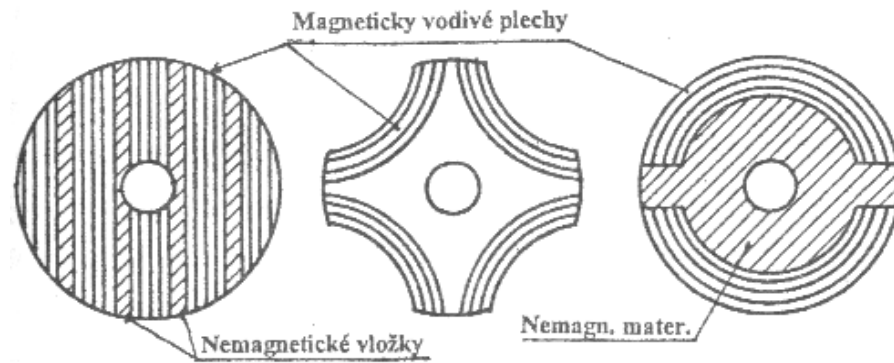
$$\frac{\Lambda_{\max}}{\Lambda_{\min}} \cong 8 - 10 \quad (2.2)$$



Obr. 6: Radiálně vrstvený rotor [2]

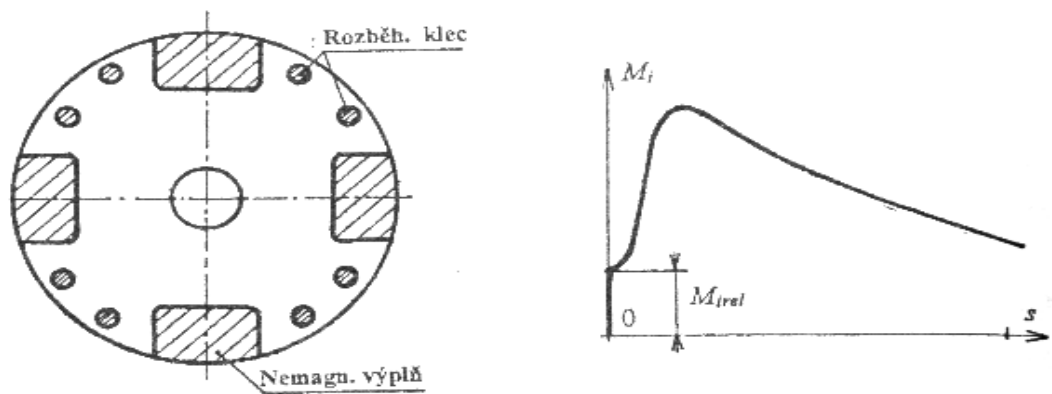


Obr. 7: Pohled na rotor synchronního reluktančního motoru [9]



Obr. 8: Příklady konstrukčního řešení reluktančního stroje [3]

Obsahuje-li rotor ještě klec nakrátko, jako u asynchronního stroje, získáme dobrý asynchronní rozběh a synchronní otáčivou rychlost. [4]



Obr. 9: Rotor reluktančního stroje s rozběhovou klecí a jeho momentovou char. [3]



Obr. 10: Synchronní reluktanční motor [9]

2.2 Spínaný reluktanční motor

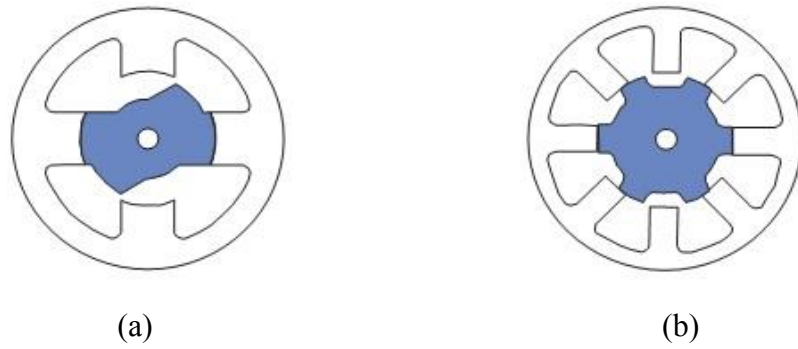
Spínané reluktanční motory (SRM) jsou charakteristické tím, že bez spolupráce s elektronickými obvody nejsou schopny funkce, na rozdíl od mnoha jiných typů elektrických strojů. U spínaných reluktančních motorů je reluktanční princip využíván kvalitativně jiným způsobem než u klasických reluktančních strojů synchronního typu. [2] [3]

Další důležitou záležitostí je to, že u SRM jsou to právě zuby, které produkují točivý moment. Proto je zde zubování nejdůležitější geometrickou konfigurací. U klasických strojů jsou zuby v podstatě nutné jen pro vytvoření drážek a tím prostoru pro vinutí a slouží tím k minimalizaci vzduchové mezery. SRM mohou dle způsobu řízení pracovat jak v krokovém režimu, tak i v režimu kontinuálního otáčení. Tyto stroje nepotřebují žádný kluzný kontakt, protože rotor je bez vinutí. Na statoru jsou jednoduché cívky napájené napětím jedné polarity. [2] [3]

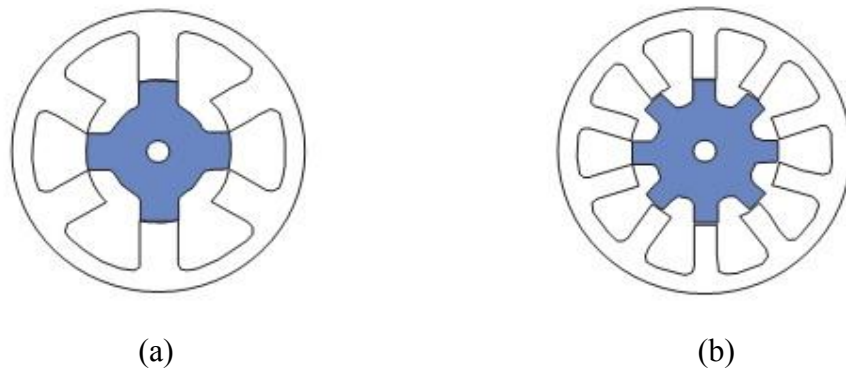
Princip jejich činnosti spočívá v tom, že po zavedení proudu do odpovídajících cívek se rotor nastaví tak, aby magnetický obvod měl minimální magnetický odpor (maximální magnetická energie). SRM jsou plně říditelné, mohou pracovat ve čtyřkvadrantovém režimu. Čtyřkvadrantovým režimem rozumíme pohyb po charakteristikách v souřadném systému $M\omega$ (kde M je točivý moment v Nm a ω je úhlová rychlost v s^{-1}) ve všech čtyřech kvadrantech. To znamená motorický i generátorický chod v obou smyslech otáčení. [3]

Jejich výhodou je také odolnost proti poruchám (mohou například pracovat i při výpadku jedné fáze). SRM mají ovšem i negativní vlastnosti. Patří mezi ně hlavně pulzační charakter točivého momentu a z toho plynoucí vyšší hlučnost a namáhání rotujících částí.

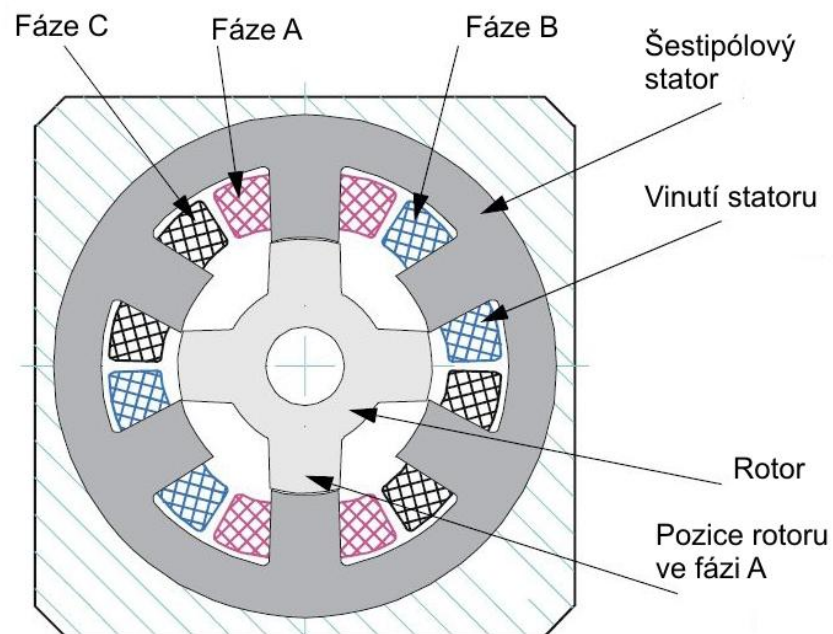
Hlavními technickými parametry spínaného reluktančního motoru jsou počet zubů statoru N_s , počet zubů rotoru N_r a počet statorových fází. Dvojitě vyniklé stroje se označují například jako 4/2, viz obr. 11. První číslo udává počet pólů statoru, druhé číslo určuje počet rotorových pólů. [3] [4] [10]



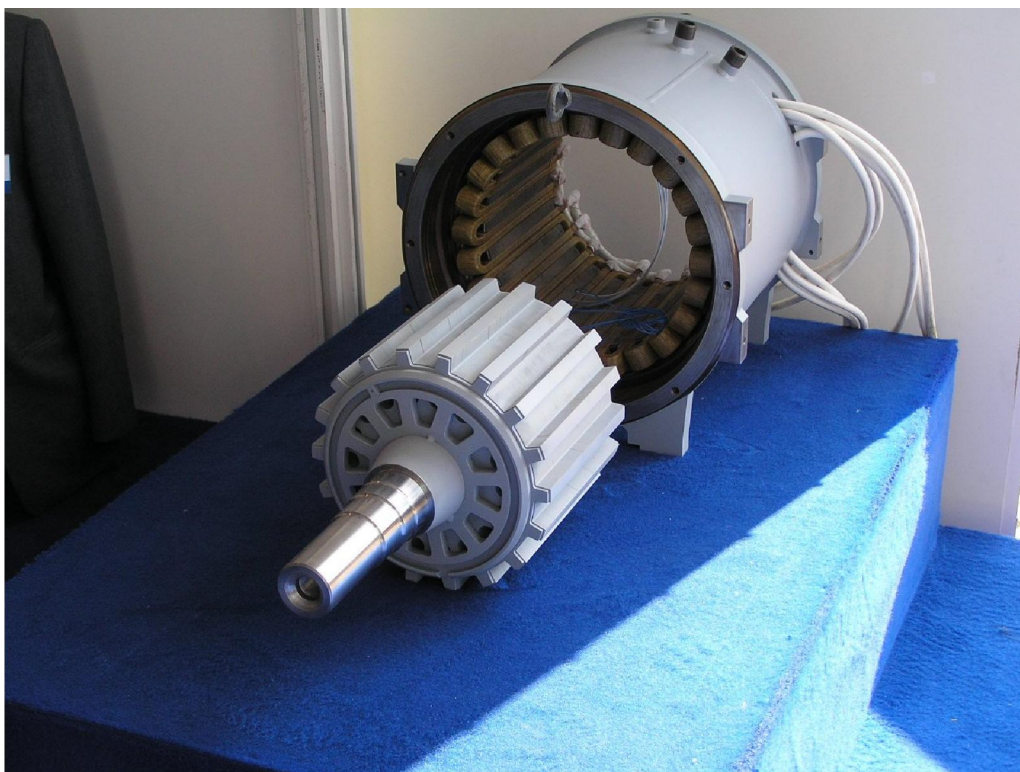
Obr. 11: (a) Dvojfázový spínaný reluktanční motor typu 4/2 [10]
 (b) Čtyřfázový spínaný reluktanční motor typu 8/6 [10]



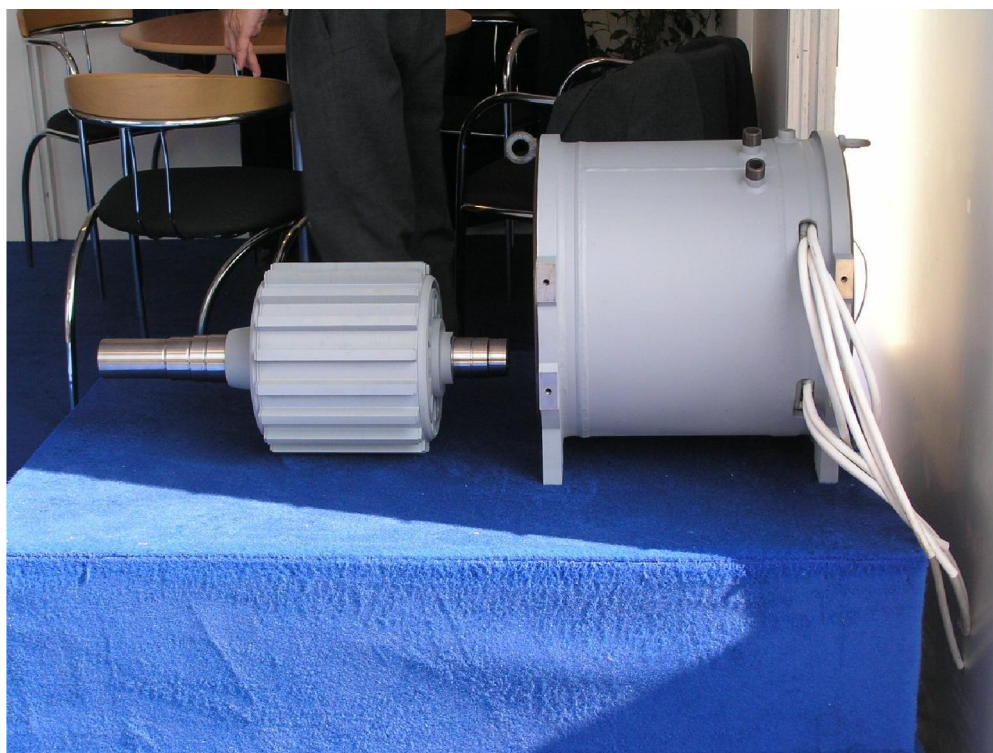
Obr. 12: (a) Trojfázový spínaný reluktanční motor typu 6/4 [10]
 (b) Pětifázový spínaný reluktanční motor typu 10/8 [10]



Obr. 13: Konstrukční uspořádání trojfázového spínaného reluktančního motoru typu 6/4 [5]



Obr. 14: Stator a rotor reluktančního motoru [11]



Obr. 15: Stator a rotor reluktančního motoru [11]

2.3 Krokový reluktanční motor

Krokové motory dělíme:

- **Dle pohybu:**
 1. **Rotační** - vykonává se rotační pohyb (obr. 16, 17, 18)
 2. **Lineární** - vykonává se posuvný pohyb (obr. 19, 20, 21)
 - Motory s kmitavým pohybem
 - Motory s postupným pohybem
- **Dle počtu fází:**
 1. Jednofázové krokové motory
 2. Dvoufázové krokové motory
 3. Několikafázové
- **Dle konstrukce:**
 1. Krokové reluktanční motory
 2. Krokové motory s aktivním rotorem
 3. Krokové hybridní motory
- **Dle polarity napájení vinutí:**
 1. Bipolární
 2. Unipolární

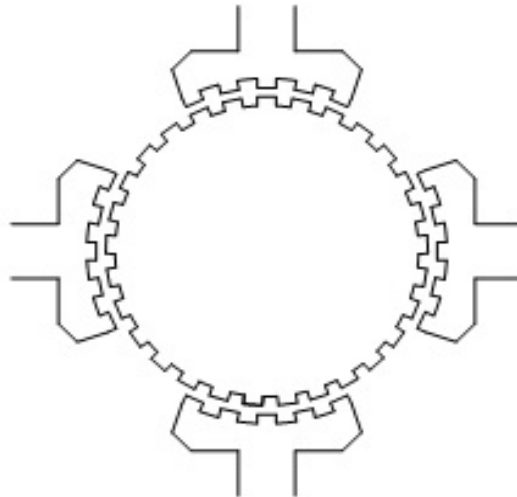
2.3.1 Rotační krokový motor

Krokové motory s proměnnou reluktancí, v anglicky psané literatuře jsou uvedeny pod zkratkou VR nebo VRM – Variable reluctance Motors. [2] [4]

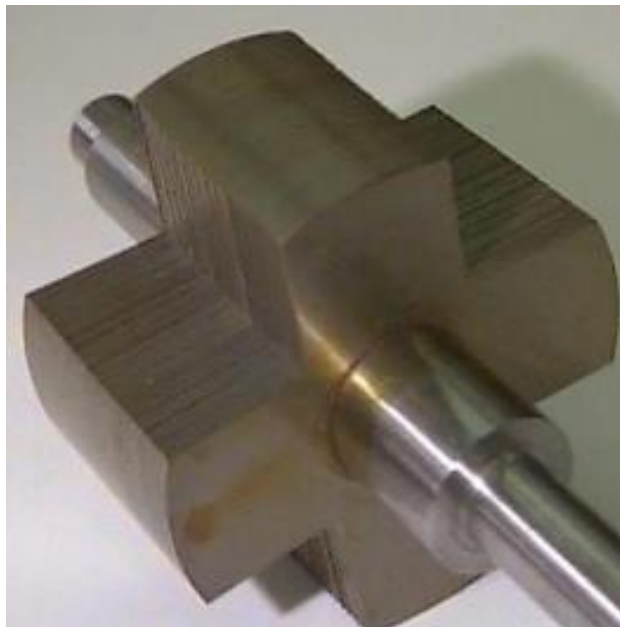
Krokové motory s proměnou reluktancí patří k první generaci krokových motorů, tím je také dáno, že jejich konstrukce je již částečně překonaná a v dnešní době používaná velmi zřídka. Rotor tohoto typu krokového motoru je tvořen vyniklými póly z magneticky měkkého materiálu. Princip tohoto motoru je stejný jako u spínaného reluktančního motoru. [12]

Tento typ krokového motoru vyniká schopností dosáhnout vysokých otáček rotoru, avšak točivý moment je relativně nízký. Dosahuje hodnot mNm až jednotek Nm. Obvykle je možné se setkat s velmi malým úhlem kroku $1^\circ - 5^\circ$, výjimečně s větším. [14] [15]

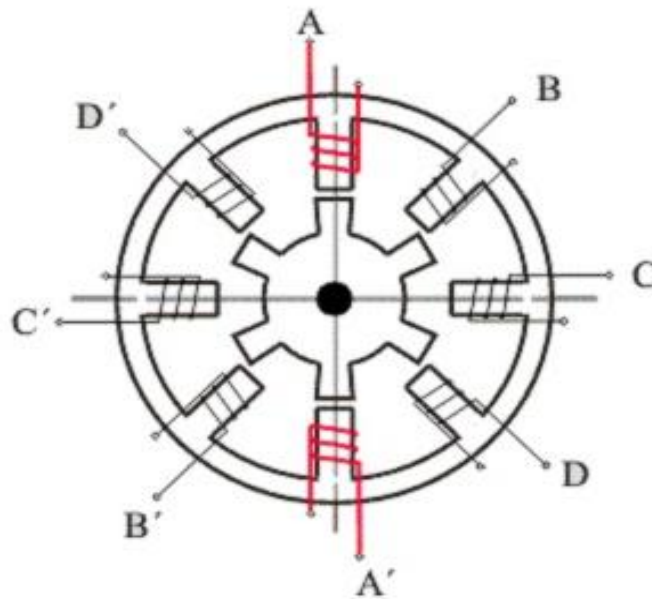
Krok je přesně definovaný úhel natočení, úměrný počtu statorových a rotorových zubů. Na jednu celou otáčku rotoru připadá poměrně velké množství kroků, např. 50, 100 nebo 200 kroků. Další vlastnost reluktančního krokového motoru můžeme označit nulový přídržný moment za vypnutého stavu. Absence permanentního magnetu zapříčiňuje neměnnou funkčnost motoru i v prostředí o vysoké teplotě. Vlivem malého točivého momentu dochází k menší přesnosti kroku. [2] [4] [12] [13] [14] [15] [16]



Obr. 16: Stator a rotor rotačního krokového motoru [3]



Obr. 17: Rotor rotačního krokového motoru [7]



Obr. 18: Rotační krokový motor fáze A buzena [17]

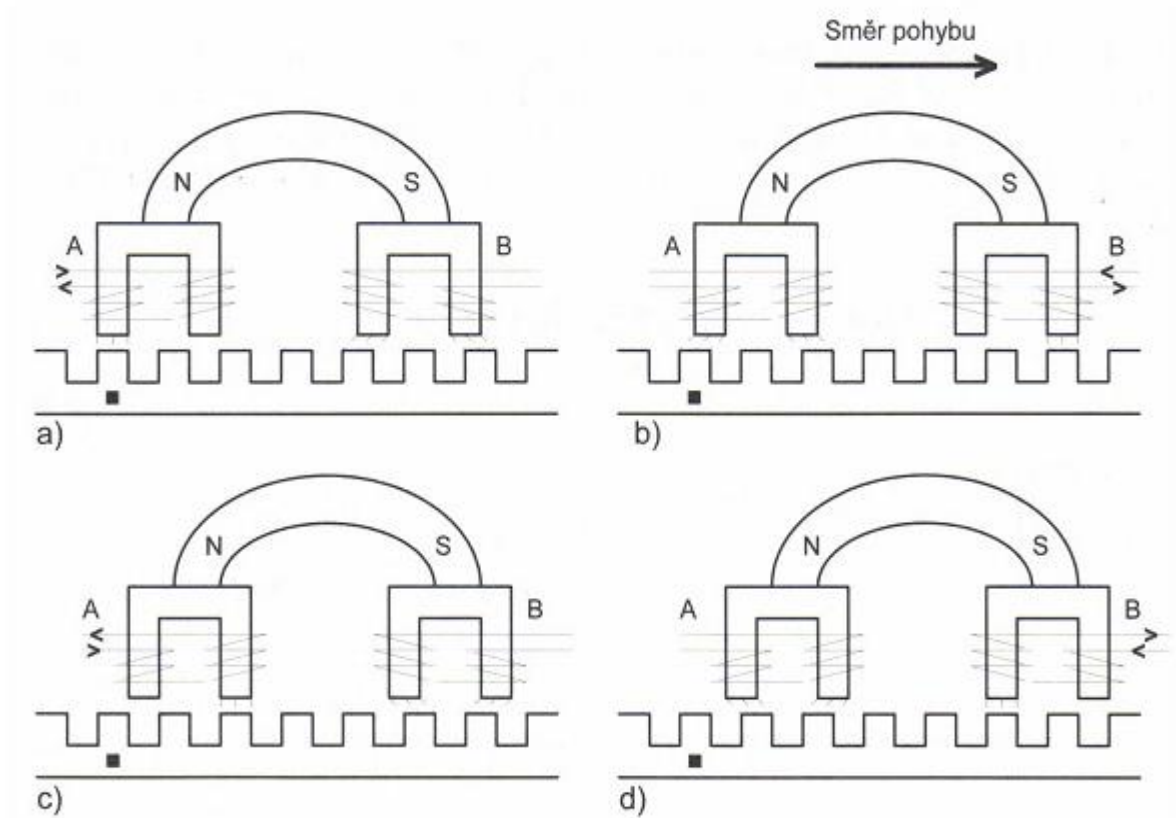
2.3.2 Lineární krokový motor

V předchozí kapitole byly popsány stroje, které vykonávají rotační pohyb. Ovšem existují také stroje vykonávající posuvný pohyb. Takové stroje jsou označovány jako lineární. Statorové vinutí je rozloženo do roviny a je uloženo v drážkách statoru. Tímto vzniká namísto otáčivého magnetického pole takzvané pole postupné. [2] [18]

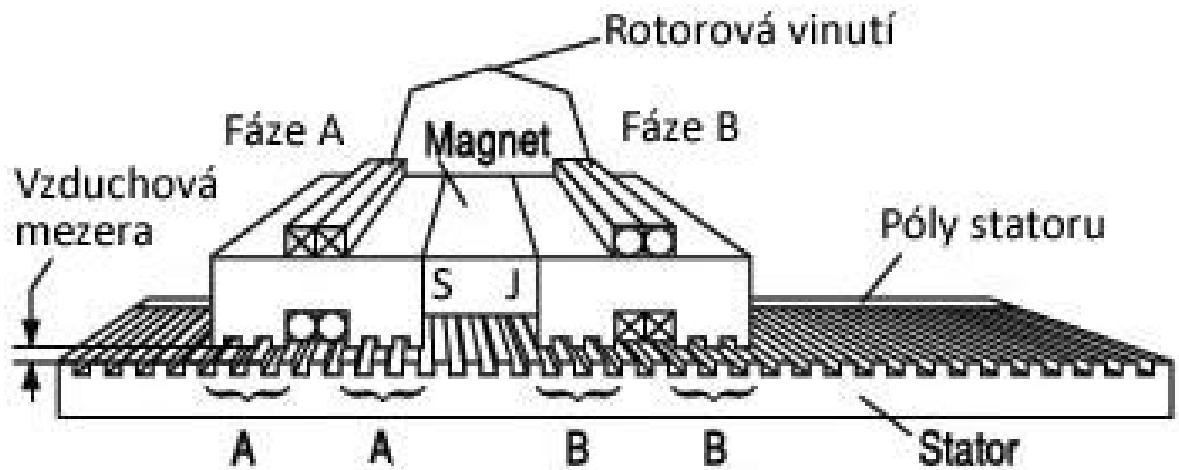
Rotor z tohoto důvodu nachází uplatnění v některých tiskárnách v robotice a polohovacích zařízeních u obráběcích strojů. Lineární krokové motory samozřejmě můžeme opět rozdělit na lineární krokové motory s proměnnou reluktancí, s permanentními magnety a hybridní. Lineární motor pracuje na principu takzvaného Sawyerova lineárního motoru viz obr. 19. [2] [18]

Obr. 19 a 20 nám znázorňuje princip lineárního motoru. Statorové pólové nástavce tvoří určitý počet stejně velikých zubů. Na čtyřech „rotorových“ pólových nástavcích o shodné šířce zubů statoru jsou navinuty dvě fáze, a to fáze A a B. Fázi A tvoří dva levé krajnější pólové nástavce a fázi B dva zbývající pravé krajnější pólové nástavce. Pro správnou funkčnost lineárního motoru musí být pólové nástavce fáze B vůči pólovým nástavcům fáze A posunuty o šířku rozteče půl zubu. [19]

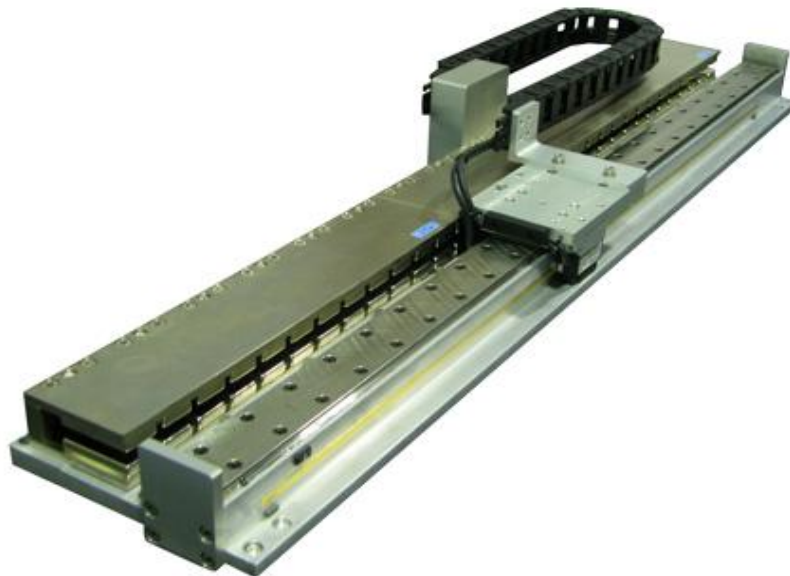
Nejprve je buzena fáze A kladným proudem $+A$, následně je buzena fáze záporným proudem $-B$. Tímto dojde k posunu pohyblivé části – lineárního „rotoru“ - o polovinu zubové rozteče vpravo. Obdobně se pokračuje dále a to tak, že do fáze A přivedeme záporní budící proud $-A$. V následujícím taktu je buzena fáze B kladným proudem $+B$. [19]



Obr. 19: Lineární krokový motor. [19]



Obr. 20: Lineární krokový motor [20]



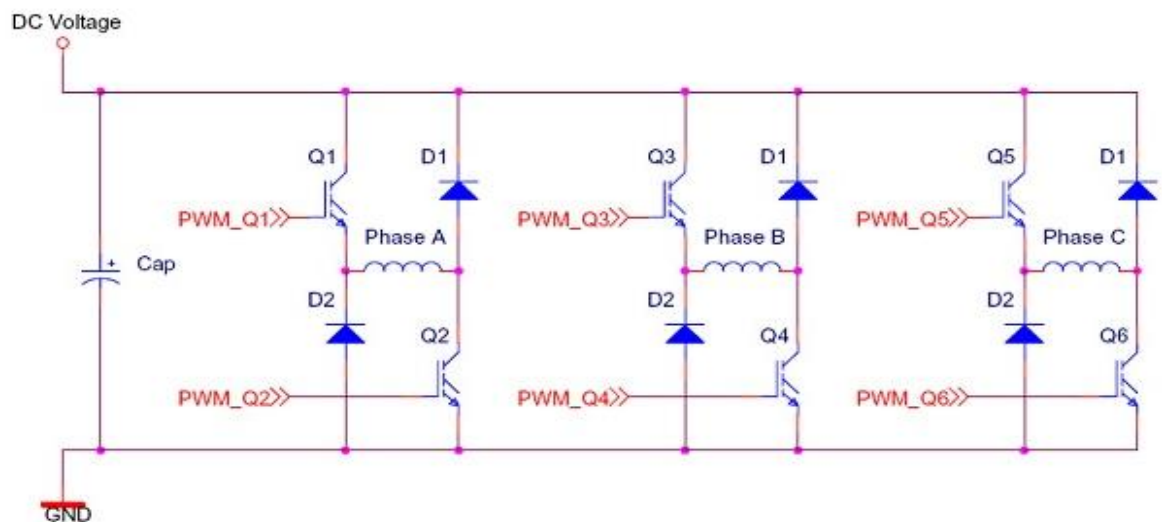
Obr.21: Lineární krokový motor [18]

3 Výkonové obvody a řízení SRM

Spínané reluktanční motory jsou charakteristické tím, že bez spolupráce s elektronickými obvody nejsou (na rozdíl od jiných typů elektrických strojů) schopny funkce. Řízení spočívá v zapínání proudu do vinutí statoru, které se nachází ve vhodné poloze k pólům rotoru. [21]

Problém ale nastává, že poloha rotoru je určena úhlem jeho otáčení a tím nabuzování a odbuzování je při dané indukčnosti dáno časovým intervalem. Znamená to, že regulátory musí vypočítávat z údajů o poloze rotoru a z údaje o rychlosti otáčení okamžiky připojování a odpojování. Výkonový měnič je tedy důležitou částí celého elektrického pohonu. Mezi nejpoužívanější lze řadit zapojení dle obr. 22. [21]

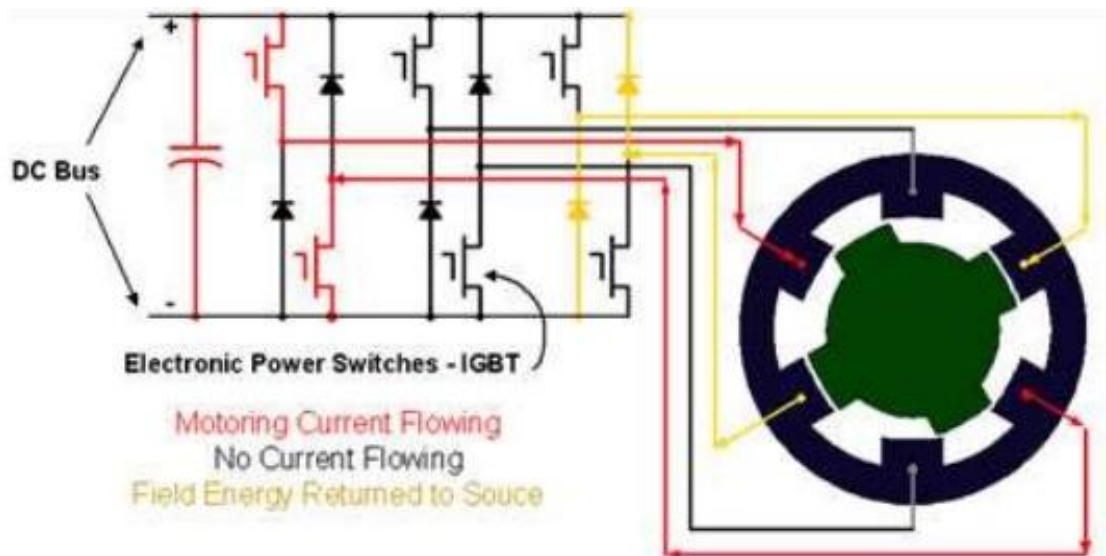
Zapojení měniče optimalizuje počet polovodičových součástek užitím pouze jednoho hlavního výkonového spínacího prvku a jedné hlavní diody. Ty jsou společné pro všechny fáze. Navíc je v každé fázi ještě jedna dvojice výkonových součástek, spínač a dioda. [21]



Obr. 22: Řízení trojfázového SRM [22]

Spínací prvky Q1 – Q6 jsou obvykle výkonové tranzistory MOSFET (pro nižší napětí) nebo IGBT (pro vyšší napětí). Jejich spínání je řízeno pomocí řídicí elektroniky v závislosti na poloze rotoru a požadovaném proudu v cívkách. Diody D1, D2 mohou sloužit pro vrácení elektrické energie zpět do zdroje (oba tranzistory vypnuty) nebo k regulaci proudu. [22]

V druhém případě je spodní tranzistor trvale sepnut a pomocí horního tranzistoru je regulován proud. Jeli Q1 vypnut, cívka se chová jako zdroj proudu, který teče přes Q2 a D2 a exponenciálně klesá. Jakmile proud klesne pod požadovanou minimální hodnotu, sepne opět Q1 a proud cívkou exponenciálně stoupá, dokud nepřekročí horní mez požadovaného proudu. Potom je Q1 opět vypnut a děj popsany výše se opakuje. Pro regulaci proudu lze s výhodou použít komparátor s hysterezí. Výkonové tranzistory často bývají galvanicky odděleny od řídicí elektroniky.[22]



Obr. 23: Příklad zapojení trojfázového SRM typu 6/4 [11]

4 Hlavní odlišnosti od konvenčních el. točivých strojů

Elektrické motory v průmyslu spotřebují kolem 2/3 z celkové spotřeby elektrické energie. Značné množství ze všech instalovaných elektrických motorů je v dnešní době instalováno s měniči frekvence. Tyto skutečnosti společně s neustále rostoucími požadavky po vyšší účinnosti těchto elektrických motorů se stalo podmínkou pro radikální přehodnocení konstrukce elektrických motorů. [9]

Když se zaměříme např. na detailní analýzu ztrát standardních asynchronních motorů s kotvou nakrátko, ztráty související s rotorem tvoří 20-35% z celkových ztrát motoru. Synchronní reluktanční motor se speciální konstrukcí rotoru a prací při synchronních otáčkách dosahuje vysoké spolehlivosti díky zanedbatelným ztrátám v rotoru, což prodlužuje životnost izolace motoru, ložisek a prodlužuje mazací intervaly. [9]

4.1 Výhody a nevýhody reluktančních motorů

4.1.1 Výhody

Hlavní výhodou reluktančních motorů je jednoduchá konstrukce rotoru, která na sobě nenese žádné vinutí. V rotoru v podstatě nevznikají Jouleovy ztráty a tím odpadá problém s jeho chlazením. Díky absenci rotorového vinutí, na které nepůsobí odstředivé síly, může stroj pracovat při velmi vysokých rychlostech. [2]

V případě spínaného reluktančního motoru je jednoduše navinutý i stator. Čela vinutí jsou krátká a fáze se vzájemně nekřížují. [2]

Reluktanční stroje mají malý moment setrvačnosti a výborné dynamické vlastnosti. [24,] Vynikající vlastností reluktančních strojů je veliký záběrný moment. [2]

Reluktanční stroje bez PM mohou pracovat při vyšší pracovní teplotě, protože většina ztrát vzniká ve statoru, který se snáze chladí. [25]

4.1.2 Nevýhody

V reluktančních strojích jsou zvýšené ztráty v železe, protože pracují při vysokém nasycení magnetického obvodu. [23] Další nevýhodou reluktančních strojů je vyšší hlučnost stroje a zvlnění momentu.

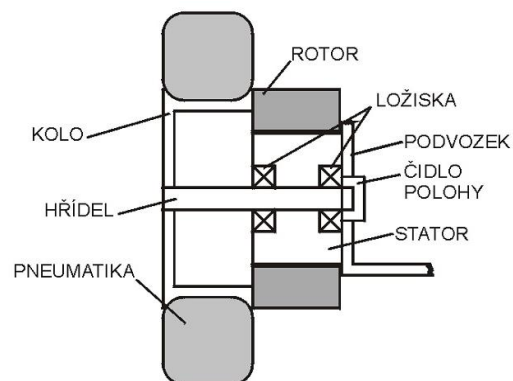
5 Použití reluktančního motoru

Reluktančního motor můžeme nalézt v mnoha technických odvětvích, například:

- pohony pásků, disků a tiskařských hlav [23]
- pohony pro výrobu syntetických vláken [23]
- pohony strojních vřeten [3]
- pohon turbodmychadla pro odstranění turboefektu [3]
- pohon pro startování tryskových motorů [3]

Na obr. 24 je znázorněna konstrukce motoru, zabudovaného v kole vozidla. Stator s cívkami je připevněn k podvozku. Rotor je pevně spojen s kolem a obíhá kolem statoru. Uvnitř statoru je na ložiscích uložen hřídel, jehož levý konec je spojen s kolem, zatímco pravý nese clonku snímače polohy. [5]

Konstrukce nebrání tomu, aby motor byl vícefázový, nejlépe trojfázový. V tom případě jsou jednotlivé statory umístěny vedle sebe a vyniklé póly rotoru mohou být po obou stranách a na vnitřní straně rotoru. U našeho motoru, který je osmipólový, je v případě trojfázového motoru fázový posun mezi póly jednotlivých fází rotoru 15 stupňů. [5]



Obr. 24: Elektromotor v kole vozidla [5]

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vysvětlit a seznámit se s problematikou reluktančních motorů, a nastínit možné využití této technologie v praxi. Práce může dále sloužit jako zdroj informací pro další porozumění a seznámení s touto technologií o reluktančních motorech jako takových, protože v České republice je na toto téma k dostání velmi málo informačních zdrojů ať v knihovnách, odborných časopisech nebo internetových zdrojích.

V úvodní části mé práce jsem teoreticky rozebral reluktanční motor z hlediska jeho historie, vznik točivého momentu, konstrukci a možnosti jejich řízení a využití v praxi. V další části jsou motory rozděleny do skupin podle konstrukčních odlišností a principů pracování těchto motorů. Dále jsem je rozdělil do kategorií v závislosti na jejich odlišnosti od konvenčních elektrických točivých strojů. Poslední část se zaměřuje na výhody a nevýhody využití těchto motorů v praxi.

Myslím si, že každý kdo se s touto bakalářskou prací seznámí, ať již při studiu nebo při jakékoliv práci v oboru, by neměl zůstat pouze u informací, které jsem zde uvedl, ale měl by pokračovat i nadále ve studiu odborné literatury a v rozvoji informačních zdrojů v této problematice v českém jazyce.

Při zpracování a seznamování se s reluktančními motory a celou problematikou okolo nich jsem pochopil, jak moc je tato technologie obsáhlá. Ač se může zdát jako utopie, že reluktanční motory jsou známy již mnoho let, osobně si myslím, že tato technologie se bude i nadále rozvíjet.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Synchronní reluktanční motor – cesta k úsporám . *enviweb*. [online]. 1.5.2016 [cit. 2016-05-1]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/energie/102280/synchronni-reluktančni-motor-cesta-k-úsporám>
- [2] HRABOVCOVÁ, Valéria, Ladislav JANOUŠEK, Pavol RAFAJDUS a Miroslav LIČKO. Moderné elektrické stroje. Žilina: Žilinská univerzita, 2001. ISBN 80-7100-809-5.
- [3] BARTOŠ, Václav, Josef ČERVENÝ, Josef HRUŠKA, Anna KOTLANOVÁ a Bohumil SKALA. Elektrické stroje. 1. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2006. ISBN 80-7043-444-9.
- [4] PAVELKA, Jiří a Jiří ZDĚNEK. Elektrické pohony a jejich řízení. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2010, 241 s. ISBN 978-80-01-04642-5.
- [5] Ing. Ladislav Kopecký. Reluktanční motor a elektromobil. *elektromobily*. [online]. [2008] [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: www.elektromobily.org
- [6] KROUPA, Martin. Výpočet a optimalizace reluktančního momentu synchronního servomotoru. Brno, 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
- [7] KIKUCHI, Tatsuya, KENJO, Takashi. A Unique Desk-top Electrical Machinery Laboratory for the Mechatronics Age [online]. [cit. 1.4.2016]. Dostupné z www.ewh.ieee.org/soc/es/Nov1997/09/INDEX.HTM.
- [8] R.R.Moghaddam, F.Magnussen, Ch.Sadarangani, H.Lendenmann, New Theoretical Approach to the Synchronous Reluctance Machine Behavior and Performance, 978-1-4244-1736-0/08/\$25.00 ©2008 IEEE.
- [9] BERNAT, František, 2012. Motory, které vás posunou vpřed. Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku. Praha: FCC PUBLIC s. r. o., 2012, 2, ISSN 1210-0889.
- [10] DIRENZO, Michael T. Switched Reluctance Motor Control: Basic Operation and Example Using the TMS320F240. In: [online]. 2000 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: www.ti.com/lit/an/spra420a/spra420a.pdf.
- [11] synchronní motor. <http://motor.feld.cvut.cz>. [online]. 1.5.2016 [cit. 2016-05-1]. Dostupné:http://motor.feld.cvut.cz/sites/default/files/predmety/A0B14AMS/7%20_%20synchronn%C3%AD%20motor%20_%20SM.pdf

- [12] Princip – Krokový motor. [online]. Portál o pohonné technice v průmyslu, [cit. 15.1.2016]. Dostupné z www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/krokovymotor.
- [13] UHLÍŘ, Ivan et al. Elektrické stroje a pohony. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. 120 s. ISBN 80-01-02482-2.
- [14] Krokové motory 1 – typy motorů. [online]. Robodoupě. Web o robotice. [cit. 20.2.2016]. Dostupné z www.robodoupe.cz/2013/krokovye-motory-1-typymotoru.
- [15] Curieho teplota aneb jak zrušit magnet., [online]. Fyzmatik píše [cit. 22.3.2016]. Dostupné z www.fyzmatik.pise.cz/868-curieho-teplota-aneb-jak-zrusitmagnet.
- [16] ŠKOFIC, J., KOBLAR, D., BOLTEŽAR, M.: Permetric Study of Permanent -Magne Stepper Motor's Stepping Accuracy Potential . Strojníški vestník – Journal of Mechanical Engineering 60(2014), pp. 255-264. DOI:10.5545/sv-jme.2013.1526.
- [17] Elektické pohony. [online]. Informační portál z oblasti automatizace. [cit. 14.3.2016]. Dostupné z www.eautomatizace.cz/ebooks/ridici_systemy_akcni_cleny/Akc_el.html.
- [18] NOVOTNÝ, Jan, HNÍZDIL, Jiří. Rotační a lineární krokové motory. [online]. Elektorevue - Internetový časopis. Dostupné z [www: <http://www.elektorevue.cz>](http://www.elektorevue.cz) 43/2005, ISSN 1213-1539.
- [19] NOVÁK, Petr. Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení. 1. vyd. Praha : Ben - technické literatury, 2005. ISBN 80-7300-141-1. Krokový motor, s. 41-69.
- [20] [pohonnatechnika.pohonnatechnika](http://www.pohonnatechnika.cz). [online]. [2007] [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/linearni-motor>.
- [21] prof. Ing. Václav Kůs, CSc.. *Elektrické pohony a výkonová elektronika*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2006. ISBN 80-7043-422
- [22] Ing. Ladislav Kopecký. Řízení reluktančního motoru. *elektromobily*. [online]. [2007] [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: www.elektromobily.org
- [23] Přehledová studie reluktančních motorů. Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku. Praha: FCC PUBLIC s. r. o., 2006, č. 3, s. 4-9. ISSN 1210-0889. Dostupné z: www.odbornecasopisy.cz/download/el030604.pdf.
- [24] FLAJTINGR, Jiří a Lumír KULE. Elektrické pohony se střídavými motory a polovodičovými měniči. 2., upr. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005, 142 s. ISBN 80-704-3354-X.
- [25] SKVARENINA, Timothy L. The power electronics handbook. Boca Raton, Fla.: CRC Press, c2002, 1 v. (various pagings). ISBN 08-493-7336-0.