

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Moderní mikropočítače a jejich nasazení v aplikacích s elektrickými pohony a spínanými zdroji

Učební texty k semináři

Autoři:

Ing. Jaroslav Lepka (Freescale Semiconductor, Rožnov p. R.)

Datum:

16. 12. 2011

Centrum pro rozvoj výzkumu pokročilých řídicích a senzorických technologií CZ.1.07/2.3.00/09.0031

TENTO STUDIJNÍ MATERIÁL JE SPOLUFINANCOVÁN EVROPSKÝM SOCIÁLNÍM
FONDEM A STÁTNÍM ROZPOČTEM ČESKÉ REPUBLIKY

OBSAH

Obsah	1
1. Aplikace mikropočítačů v elektrických pohonech	3
2. Elektrické motory - moderní konstrukce	4
2.1. BLDC motor.....	4
2.1.1. BLDC motor - konstrukce	4
2.1.2. BLDC motor - řízení.....	5
2.1.3. BLDC motor - výhody a nevýhody	6
2.2. SR motor	7
2.2.1. SR motor - konstrukce	7
2.2.2. SR motor - řízení	8
2.2.3. SR motor - výhody a nevýhody	9
2.3. PMS motor.....	10
2.3.1. PMS motor - konstrukce	10
2.3.2. PMS motor - řízení	11
2.3.3. PMS motor - výhody a nevýhody	12
2.4. ACI motor.....	12
2.4.1. ACI motor (asynchronní) - konstrukce.....	12
2.4.2. ACI motor - řízení.....	14
2.4.3. ACI motor - výhody a nevýhody	15
3. Brzdový systém - Wedge Brake (eBrake [®])	16
3.1. Porovnání brzdné dráhy.....	16
3.2. Wedge Brake - princip.....	17
4. Pračka.....	19
4.1. Horizontální pračky	19
4.2. Vertikální pračky	22

5. Embedded mikropočítač optimalizovaný pro řízení elektrických pohonů a spínaných zdrojů - MC56F824x/MC56F825x	24
5.1. MC56F824x/MC56F825x - parametry	24
Seznam použité literatury	27

1. APLIKACE MIKROPOČÍTAČŮ V ELEKTRICKÝCH POHONECH

Mikropočítače hrají významnou roli v oblasti elektrických pohonů, které se v současné době nacházejí ve všech oblastech lidské činnosti. Nasazování elektrických pohonů v masovém měřítku v průmyslových aplikacích, spotřební elektronice, automobilovém průmyslu a dalších oblastech vede k dynamickému rozvoji v řízení elektrických pohonů. Stále zvyšující se požadavky na cenu pohonu, jeho účinnost, velikost motoru a jiné specifické požadavky závislé na konkrétní aplikaci způsobují, že dochází k výrazným změnám v konstrukci motoru, což následně vede ke složitějším řídicím algoritmům a následně k požadavku stále výkonnějšího mikropočítače optimalizovaného pro řízení takových pohonů.

Jako příklad využití elektrických pohonů lze uvést automobilový průmysl, kde moderní automobily obsahují více než 100 mikropočítačů, které můžeme najít prakticky všude, od řízení zrcátek, přes nastavování sedadel, řízení motoru, převodovky, brzdového systému, ABS, ESP, EPS atd. Tyto moderní technologie usnadňují řízení automobilů, zvyšují jejich bezpečnost, ovladatelnost a celkově přispívají k většímu pohodlí při cestování.

Dalším příkladem může být bíla technika (pračky, sušičky, myčky, ledničky), kde v posledních letech došlo v výrazném posunu ve smyslu úspor elektrické energie a vylepšení funkčnosti spotřebičů. V těchto aplikacích se pomalu upouští od zastaralých pohonů na bázi jednofázových motorů a jednofázových komutátorových motorů a přechází se na moderní 3-fázové pohony s asynchronními motory, synchronními motory s permanentním magnetem, synchronními motory s permanentním magnetem a výrazným podílem reluktanční složky a reluktančními motory. Moderní pračka dnes obsahuje 2 a více elektrických pohonů a není výjimkou, že k řízení takového komplexního zařízení je zapotřebí 2 výkonných mikropočítačů.

2. ELEKTRICKÉ MOTORY - MODERNÍ KONSTRUKCE

2.1. BLDC motor

2.1.1. *BLDC motor - konstrukce*

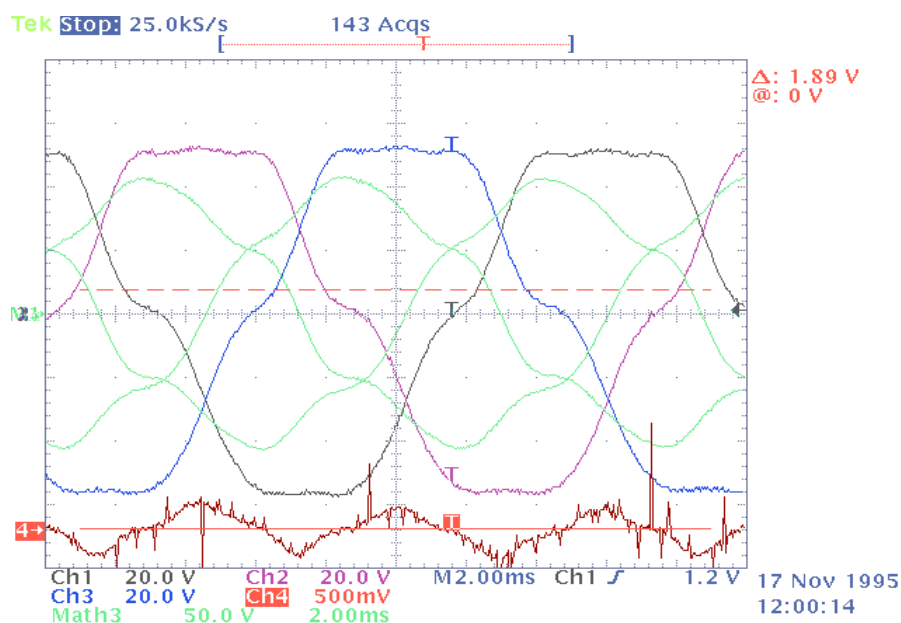
Tento typ motoru nazývaný jako elektronicky komutovaný stejnosměrný motor nebo v anglické terminologii BLDC (Brushless DC) motor má zpravidla 3-fázové vinutí na statoru a rotor konstruovaný z permanentních magnetů. Konstrukce statoru je poměrně jednoduchá, obvykle s vyniklými póly, takže i technologie výroby je relativně jednoduchá. Tento typ motoru nemá mechanický komutátor, jako tomu bylo u klasických stejnosměrných motorů.

Konstrukce motoru je obrázku 1.



Obr.1 BLDC motor - konstrukce

Tento typ motoru generuje nesinusové indukované napětí, jeho tvar je více či méně trapezoidní. Obrázek obr.2 ukazuje typický tvar indukovaného napětí (fázová napětí) BLDC motoru.



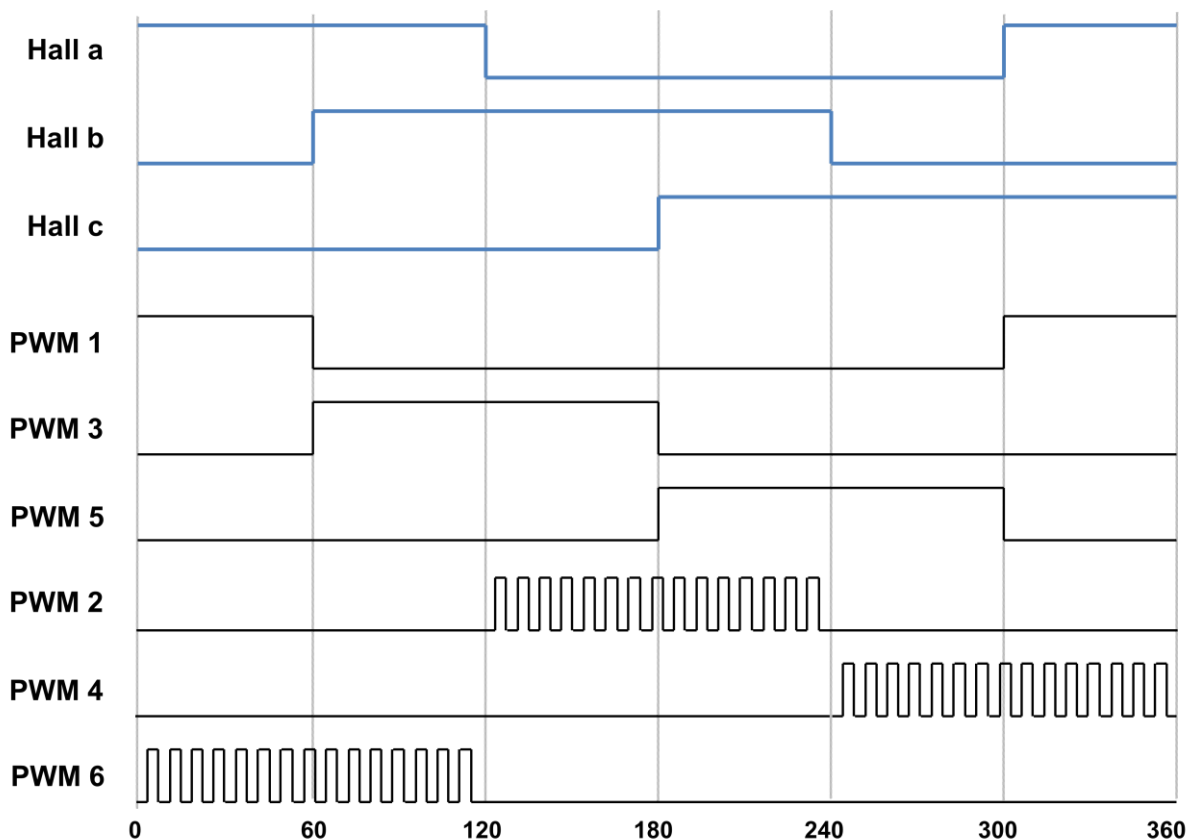
Obr.2 BLDC motor - indukovaná napětí (fázová)

2.1.2. BLDC motor - řízení

Jelikož motor nemá mechanický komutátor, pro elektronickou komutaci je zapotřebí znát polohu rotoru. Tento problém lze řešit několika způsoby a to s použitím čidla polohy nebo s použitím metod odhadujících polohu rotoru bez fyzického měření polohy. Pro měření polohy se nejčastěji používají snímače na bázi Hallových sensorů, optické encodery, resolvery, případně jiné principy. Ve většině případů se tento typ motorů používá pro levné pohony a tedy nejběžnějším způsobem měření polohy jsou Hallové snímače. Velmi populární jsou i metody bezsnímačového řízení, které jsou v drtivé většině praktických aplikací založeny na analýze měřeného indukovaného napětí.

Pro řízení tohoto typu motoru se běžně používá algoritmus 6 step komutace, kdy se generuje 6 vektorů napětí během jedné elektrické otáčky motoru ve správném pořadí a o správné amplitudě.

Průběhy signálů generované PWM modulem pro jednotlivé tranzistory v závislosti na stavu Hallových sensorů jsou zobrazeny na následujícím obrázku obr. 3.



Obr.3 BLDC motor - řídicí signály v závislosti na stavu Halloových sensorů

2.1.3. *BLDC motor - výhody a nevýhody*

- Výhody:
 - Velký startovací moment
 - Vysoká účinnost
 - Při stejném výkonu je menší než asynchronní motor
 - Spolehlivost - nemá mechanický komutátor
 - Dobré chování při vysokých otáčkách - odpadají problémy s mechanickým komutátorem
- Nevýhody:
 - Problémové provozování při vysokých teplotách (Curieova teplota)
 - Informace o pozici rotoru je nezbytná pro řídicí algoritmus

- Nutná znalost počáteční polohy rotoru
- Magnetické pole je stále přítomno i po vypnutí motoru
- Obtížné startování při použití bezsensorového řízení
- Velké zvlnění momentu

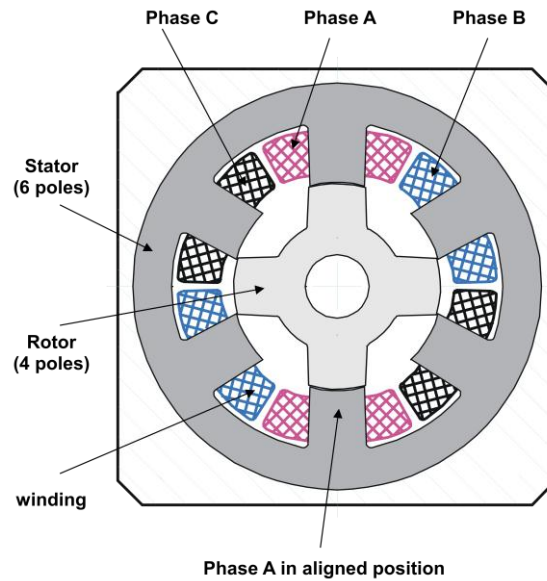
2.2. SR motor

2.2.1. SR motor - konstrukce

Spínaný reluktanční motor v anglické terminologii nazývaný SR (Switched Reluctance) motor velmi variabilní konstrukci s hlediska počtu fází a statorových a rotorových pólů. Tento typ elektrického stroje je velmi levný, protože nepotřebuje permanentní magnety, jejichž cena je vysoká a navíc se dynamicky mění. Konstrukčně má motor vyniklé póly a to jak na statoru, tak i na rotoru. Stator má vinutí, zatímco rotor je z magneticky vodivého materiálu a je bez vinutí a permanentních magnetů. Indukčnost vinutí se mění v závislosti na poloze rotoru. Tento typ motoru se vyrábí s různým počtem fází např.:

- 2-fázový 4/2 (4 póly na statoru/ 2 póly na rotoru),
- 3-fázový 3/2, 6/2, 6/4, 6/8, 12/8, 2/10, 24/32
- 4-fázový 8/6
- 5-fázový 10/8
- 7-fázový 14/12
- Atd.

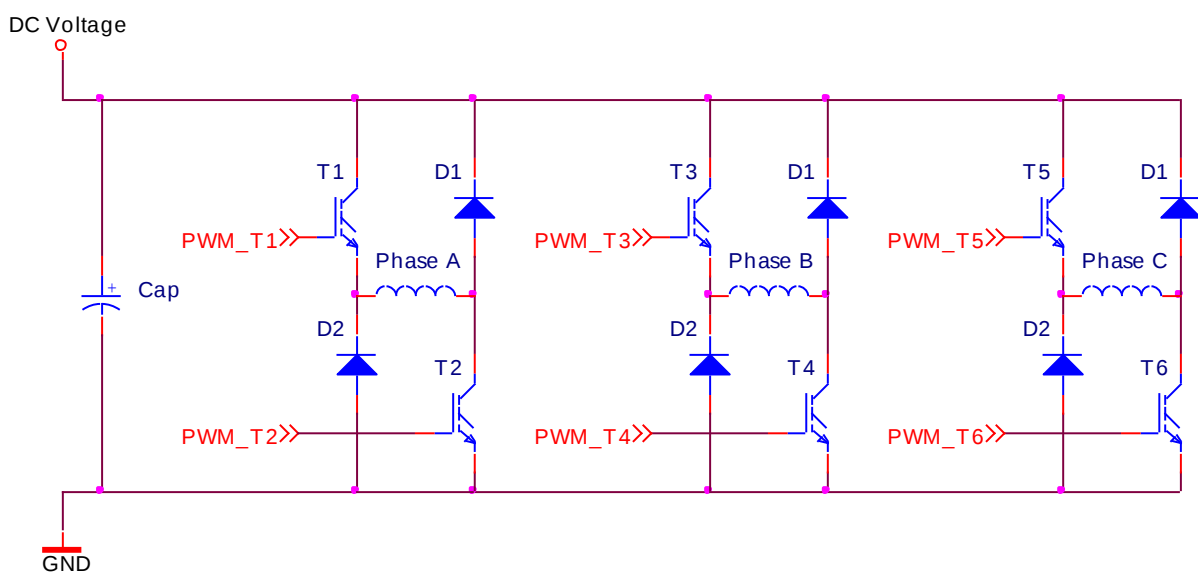
Konstrukce motoru je obrázku 4.



Obr.4 SR motor - konstrukce

2.2.2. SR motor - řízení

Pro elektronickou komutaci je zapotřebí znát polohu rotoru. Tento problém lze řešit několika způsoby a to s použitím čidla polohy nebo s použitím metod odhadujících polohu rotoru bez fyzického měření polohy. Pro měření polohy se nejčastěji používají snímače na bázi Hallových sensorů, optické encodery, resolvery, případně jiné principy. Střídač pro řízení SR motoru je odlišný od konstrukce používané pro synchronní a asynchronní motory. Topologie je zobrazena na následujícím obrázku obr.5.



Obr.5 SR motor - Topologie střídače

Z obrázku je zřejmé, že každá fáze je napájena nezávisle a vinutí nejsou nijak spojena.

Princip řízení je založený na napájení odpovídající fáze (generování magnetického toku ve vzduchové mezeře) a změně polohy rotoru tak, aby se rotor nastavil to polohy s nejmenší reluktancí.

2.2.3. *SR motor - výhody a nevýhody*

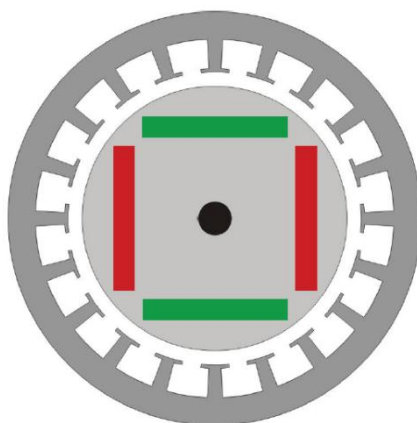
- Výhody:
 - Může pracovat při vysokých teplotách (bez permanentního magnetu)
 - Velký startovací moment
 - Vysoká účinnost motoru
 - Topologie měniče umožňuje realizovat tzv. fault-tolerant systém
 - Levné řešení
 - Vysoká spolehlivost
 - Může pracovat na vysokých rychlostech
- Nevýhody:
 - Informace o pozici rotoru je nezbytná pro řídicí algoritmus
 - Nutná znalost počáteční polohy rotoru
 - Generuje elektromagnetické rušení v případě ne zcela korektního řízení
 - Zapotřebí komplexní řídicí algoritmus, abychom zminimalizovali zvlnění momentu a elmag.
 - Generuje slyšitelný hluk
 - Velké zvlnění momentu

2.3. PMS motor

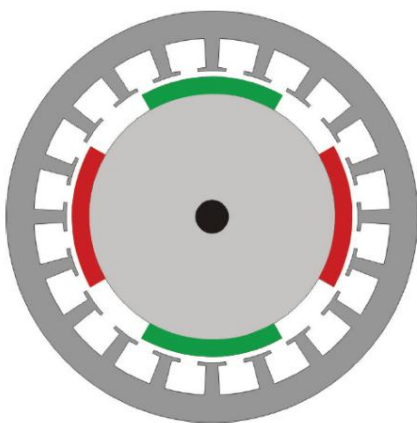
2.3.1. PMS motor - konstrukce

Elektronicky komutovaný synchronní motor s permanentním magnetem v anglické terminologii nazývaný PMS (Permanent Magnet Synchronous) motor. Konstrukčně má motor na statoru 3-fázové vinutí rozložené sinusově. Rotor je tvořen permanentním magnetem, který může být umístěn různým způsobem:

- PMS motor s vnitřními magnety - IPMS (Interior Permanent Magnet Synchronous) motor - obr 6.
- PMS motor s povrchově uspořádanými magnety - Surface Mouted PMS motor obr.7.



Obr.6 PMS motor - (IPMSM) s vnitřními magnety



Obr.7 PMS motor - s povrchovým uspořádáním permanentních magnetů

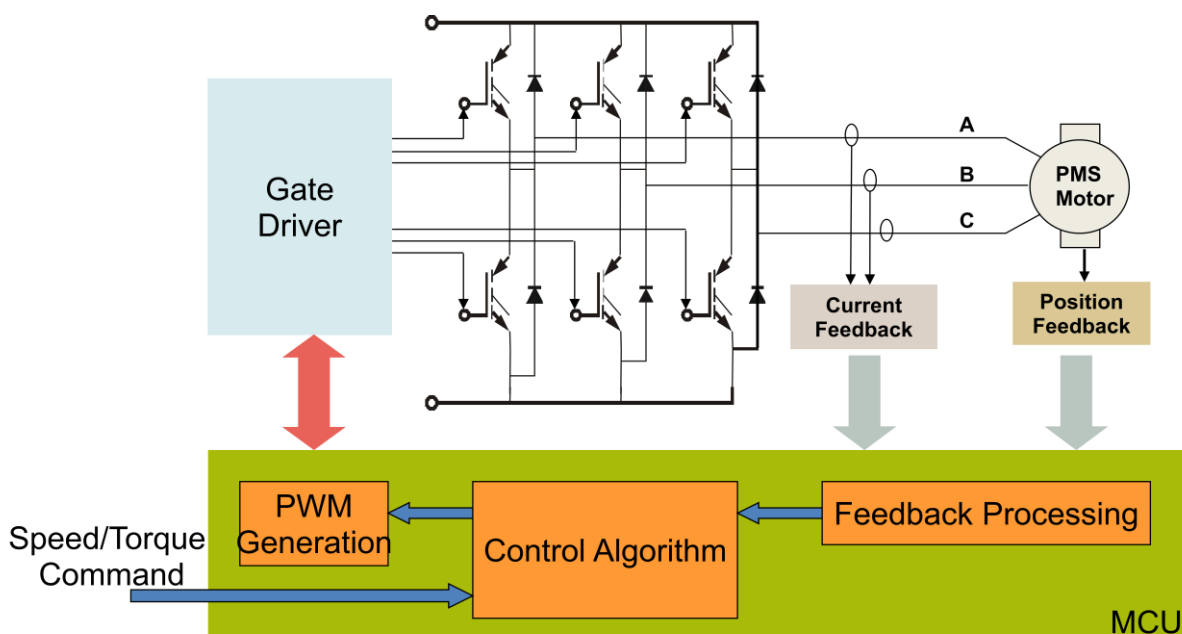
Tetnto typ motoru generuje sinusové indukované napětí a tedy sinusově rozložený tok ve vzduchové mezeře. Rotor synchronního motoru se otáčí

stejnou rychlostí jako pole ve vzduchové mezeře generované statorovým vinutím.

2.3.2. PMS motor - řízení

Z hlediska řízení tohoto typu motoru je opět zapotřebí znát polohu rotoru, abychom byli schopni generovat tok ve vzduchové mezeře. Tento problém lze řešit několika způsoby a to s použitím čidla polohy nebo s použitím metod odhadujících polohu rotoru bez fyzického měření polohy. Pro měření polohy se nejčastěji používají snímače jako optické encodery, resolvery, případně jiné principy. Střídač pro řízení PMS motoru je topologicky stejný se střídačem pro BLDC a asynchronní motor.

Topologie střídače je zobrazena na následujícím obrázku obr.8.



Obr.8 PMS motor - Topologie střídače

Z obrázku je zřejmé, že se střídač skládá ze tří větví tranzistorů, kde v každé větvi je jedna dvojice tranzistorů. Vinutí motoru jsou spojena do hvězdy nebo do trojúhelníka a tedy motor je ke střídači připojen třemi vodiči. Řídicí algoritmus pak generuje 3-fázové napětí o požadované frekvenci a amplitudě.

V současné době díky vykonným mikropočítačům se ve většině případů používá řídicí algoritmus vektorového řízení (anglické ekvivalentní názvy jsou "Vector Control" nebo "FOC(Field Oriented Control)").

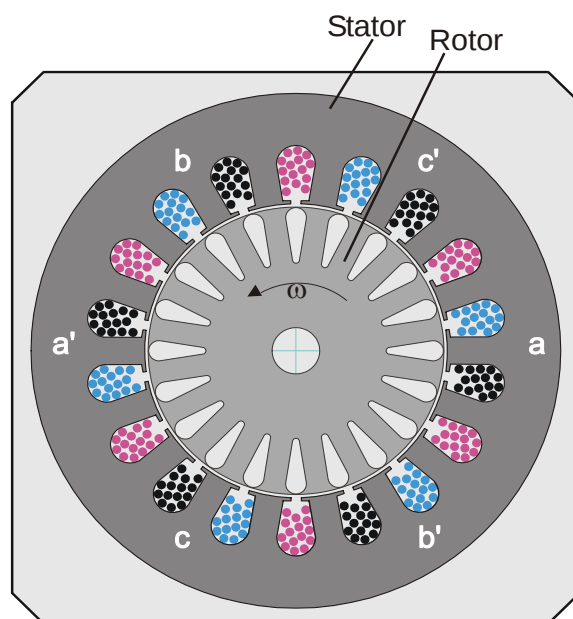
2.3.3. *PMS motor - výhody a nevýhody*

- Výhody:
 - Velký startovací moment
 - Vysoká účinnost
 - Při stejném výkonu je menší než asynchronní motor
 - Spolehlivost - nemá mechanický komutátor
 - Dobré chování při vysokých otáčkách - odpadají problémy s mechanickým komutátorem
 - Hladký moment
- Nevýhody:
 - Problémové provozování při vysokých teplotách (Curieova teplota)
 - Informace o pozici rotoru je nezbytná pro řídicí algoritmus
 - Nutná znalost počáteční polohy rotoru
 - Magnetické pole je stále přítomno i po vypnutí motoru
 - Obtížné startování při použití bezsensorového řízení

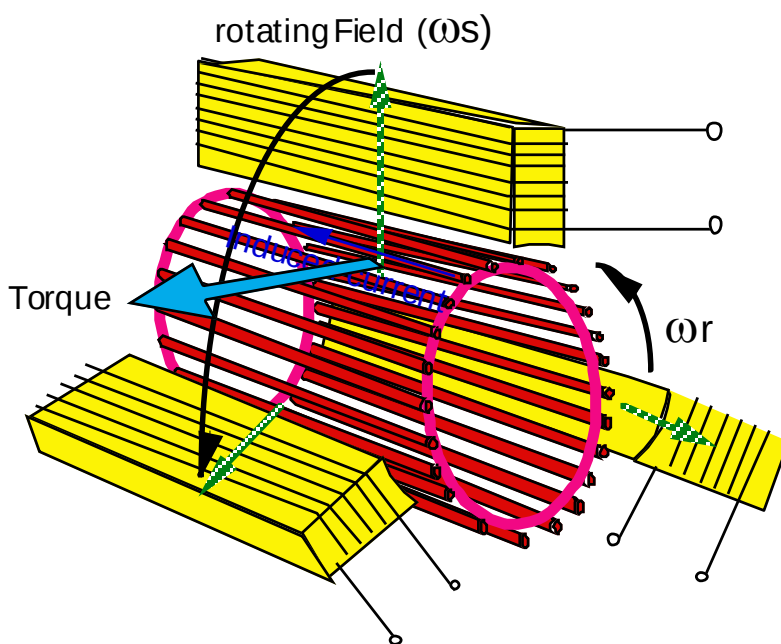
2.4. ACI motor

2.4.1. *ACI motor (asynchronní) - konstrukce*

Tento motor je konstrukčně jeden z nejspolehlivějších motorů (nemá permanentní magnety). Anglická zkratka ACI motor znamená "AC Induction" motor, nebo-li střídavý induční motor. Stator asynchronního motoru se skládá ze svazku statorových plechů a 3-fázového vinutí rozloženého sinusově a uloženého do drážek statoru. Rotor je tvořen kotvou nakrátko (klecová kotva), která se skládá z tyčí spojených po obou stranách vodivými zkratovacími kruhy. Tyče a kruhy mohou být z různého materiálu jako např. hliník, měď, mosaz, a jiné.

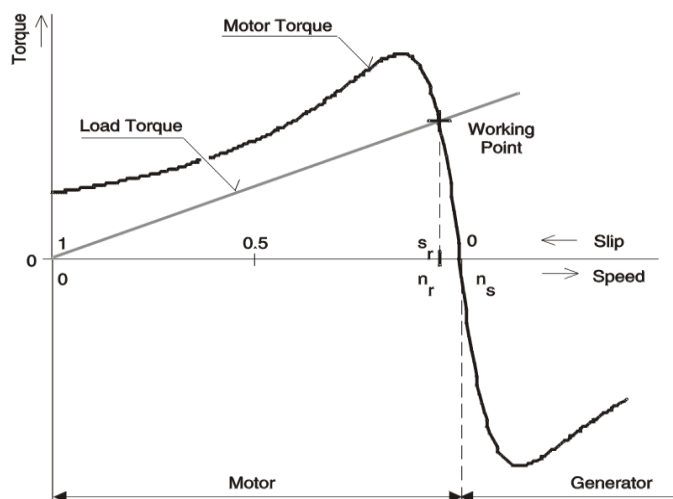


Obr.9 ACI motor - konstrukce statoru a rotoru



Obr.10 ACI motor - princip funkce, kotva nakrátko

Motor odpojený od zdroje negeneruje při otáčení rotorem vnějším zařízením žádné indukované napětí. Pro správnou funkci je třeba ve vzduchové mezeře vytvořit magnetický tok pomocí statorového vinutí. Tento typ motoru pracuje s tzv. skluzem, což znamená, že rotor se otáčí pomaleji než magnetické pole ve vzduchové mezeře generované statorovým vinutím. Momentová charakteristika motoru je zobrazena na obr 11.



Obr.11 ACI motor - momentová charakteristika

2.4.2. ACI motor - řízení

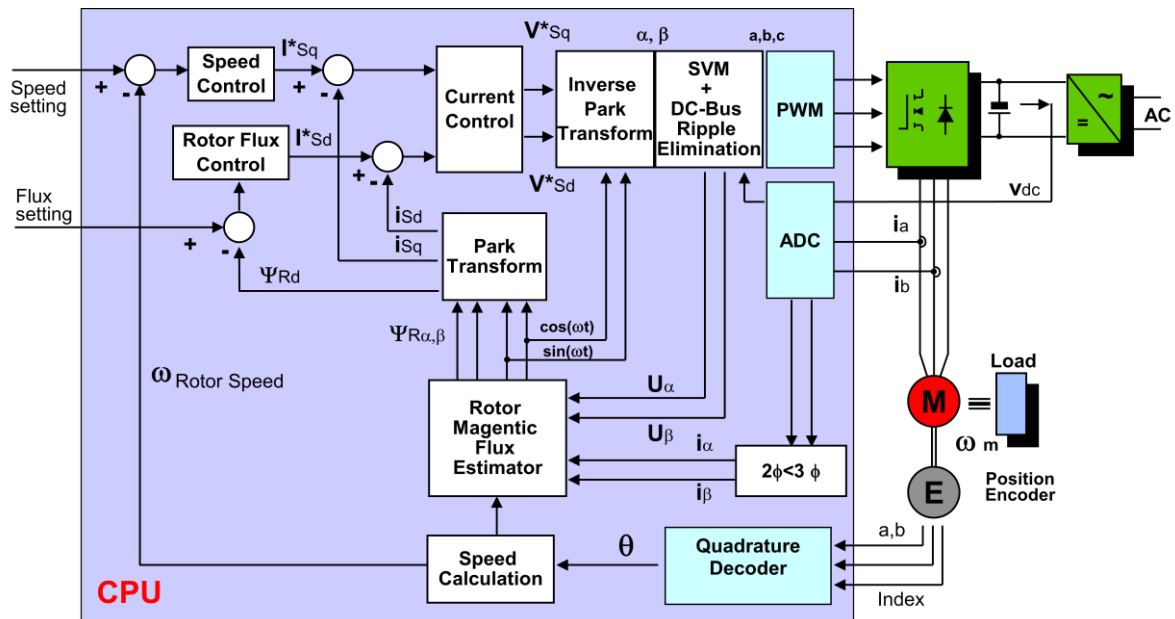
Tento typ motoru ke svému řízení nepotřebuje znát polohu rotoru jako motory BLDC, PMS a SR. V případě otáčkového řízení je dobré měřit skutečnou rychlost motoru, protože odhad rychlosti rotoru pomocí sensorless technik na základě matematického modelu motoru je zatížen celou řadou chyb způsobených proměnlivými parametry matematického modelu.

Pro měření rychlosti se nejběžněji používají snímače: tachogenerátor a encoder.

Základem řízení asynchronního motoru je proměnná frekvence a napětí. Existuje celá řada algoritmů, které splňují tento požadavek:

- Skalární řízení (V/Hz) v otevřené smyčce (bez otáčkové smyčky)
- Skalární řízení (V/Hz) s otáčkovou smyčkou
- Řízení skluzu
- Vektorové řízení
- DTC (Direct Torque Control)

Velmi oblíbenou technikou je vektorové řízení. Topologie tohoto řízení je zobrazena na obr.12.



Obr.12 ACI motor - topologie vektorového řízení

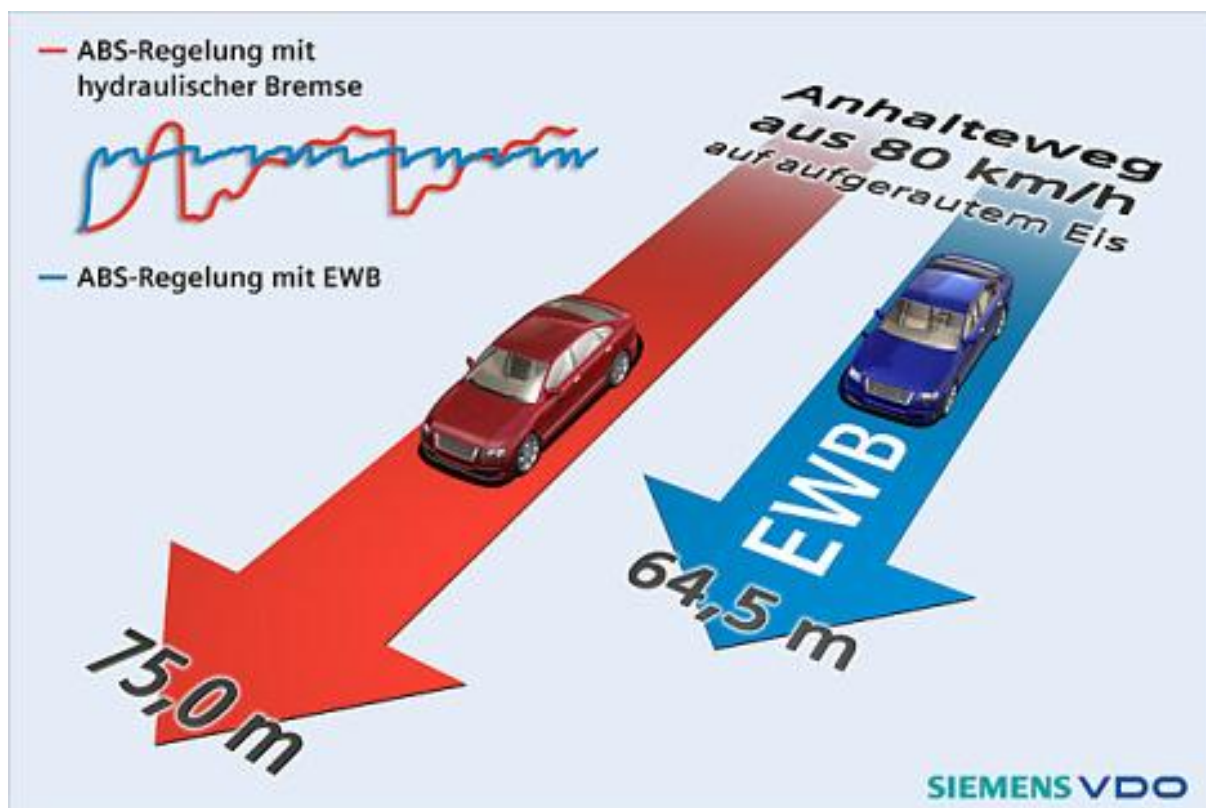
2.4.3. ACI motor - výhody a nevýhody

- Výhody:
 - Velký startovací moment
 - Nízká cena
 - Spolehlivost - nemá mechanický komutátor
 - Lze provozovat bez měniče - přímé připojení na síť
 - Téměř bezúdržbový stroj
 - Hladký moment
- Nevýhody:
 - Relativně malá účinnost obzvláště při malém zatížení
 - Otáčkové / momentové řízení vyžaduje měnič frekvence

3. BRZDOVÝ SYSTÉM - WEDGE BRAKE (EBRAKE[®])

eBrake systém byl vyvinutý německou technologickou firmou eStop Engineering GmbH & Co. KG. V roce 2005 firma Siemens VDO Automotive AG koupila firmu eStop i s patentem na wedge brake systém.

3.1. Porovnání brzdné dráhy

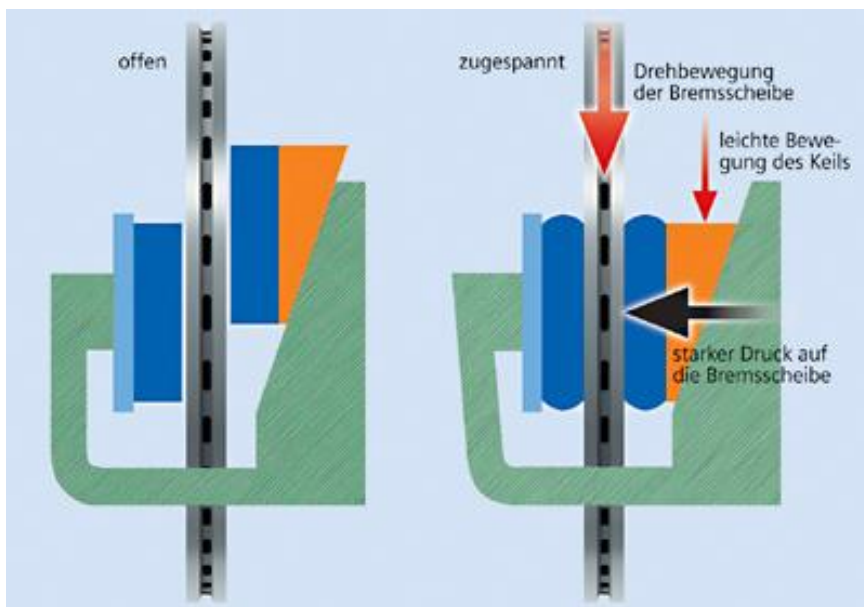


Obr.13 Porovnání brzdné dráhy

Obr.13 porovnává brzdnu dráhu dvou různých brzdových systémů a spolupráci se systémem ABS. Červená brzdná dráha ukazuje výsledky brzdění z rychlosti 80 km/h pro hydraulický systém a jeho spolupráci se systémem ABS. Zatímco modrá brzdná dráha ukazuje výsledky wedge brake systému ve spolupráci se systémem ABS. Rozdíl je markantní a činí více než 10 m ve prospěch nového wedge brake systému. V levém horním rohu si můžete povšimnout průběhů brzdění pro oba systémy.

3.2. Wedge Brake - princip

Klíčovým prvkem tohoto druhu brzdového systému je princip klínu, převodu sil klínem a princip tření. Stabilita systému klínových brzd závisí na koeficientu tření mezi brzdovými destičkami a diskem.



Obr.14 Principiální schema klínových brzd

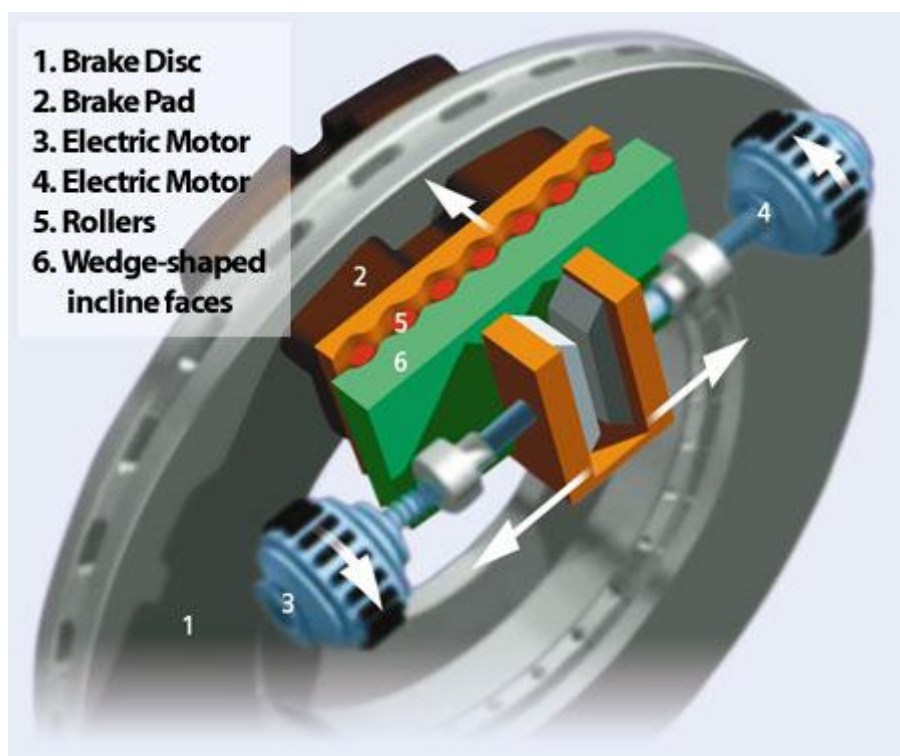
Chování brzdového systému klínových brzd závisí na splnění podmínek podle následující rovnice:

$$C^* = \frac{\text{Pad Braking Force}}{\text{Brake Actuation Force}} = \frac{2\mu_B}{\tan \alpha - \mu_B}$$

Kde C^* je brzdňý faktor, α značí úhel klínu a μ_B značí koeficient tření mezi brzdovými destičkami a diskem.

Za předpokladu, že $\tan \alpha = \mu_B$, je síla v ustáleném stavu potřebná na vygenerování jakékoliv brzdné síly rovna nule. Je to tedy ideální pracovní bod, který v reálném provozu prakticky nenastane. Za předpokladu, že $C^* > 0$, je zapotřebí vygenerovat sílu k tomu aby vznikla brzdná síla. Poslední případ, kdy $C^* < 0$ znamená, že je třeba vygenerovat sílu k tomu, aby se zastavilo automatické vtahování klínu.

Aby bylo možno přesně definovat brzdou sílu, je zapotřebí přesně řídit polohu klínu. K tomuto účelu se v prvních prototypu používal řídicí systém se dvěma pohony s permanentním magnetem pracujícím v tandemu, viz obr. 15



Obr.15 Realizace klínových brz - prototyp 1

Výhodou tohoto principu je redukce síly generované elektrickým pohonem a to díky převodu sil na klínu.

4. PRAČKA

Současné moderní pračky jsou komplexní elektromechanické systémy, které kladnou vysoké nároky na řídicí elektroniku a použitý algoritmus řízení. Celosvětově existuje několik typů praček různě populárních v různých oblastech zeměkoule. Nejtypičtější zástupce, nám velmi dobře známý, je tzv. horizontální typ a to ať s horním nebo předním plněním. Méně známý typ v našich zeměpisných šířkách je tzv. vertikální typ.

4.1. Horizontální pračky

Tento typ dominuje obzvláště v Evropě a dělí se na dva typy z pohledu plnění prádla a to na horní plnění a přední plnění. Pračka s předním plněním je zobrazena na obr.16.



Obr.16 Horizontální pračka s předním plněním

Zatímco typ s horním plněním vidíme na obr. 17.



Obr.17 Horizontální pračka s horním plněním

Typický druh pohonu pro tyto pračky je založen na dvou typech motorů:

- 3-fázový asynchronní motor
- 3-fázový synchronní motor s permanentním magnetem

Kromě typu motoru hraje významnou roli také konstrukční uspořádání motoru a bubnu. Rozeznáváme dva základní typy:

- Pračky s pohonem s řemenovou převodovkou
- Tzv. "direct drive" - s přímým propojením bez pomocné převodovky

Typické parametry těchto typů praček jsou:

- Typ motoru
 - 3-fázový ACIM - 2-pólový
 - 3-fázový PMSM - 4-pólový až 8-pólový
- Velikost z hlediska množství náplně prádla pro běžný domácí typ praček o rozměrech 60 cm x 60 cm
 - V rozmezí 5 kg až 11 kg
 - Přičemž typicky se množství prádla pohybuje v rozmezí 7 kg až 8 kg
- Rychlost odstředování
 - Od zhruba 1000 ot/min do 1600 ot/min
- Materiál vany
 - Nerez

- Plast
- Hodnocení kvality pračky se skládá ze tří parametrů
 - 1. parametr - energetická účinnost
 - 2. parametr - účinnost praní
 - 3. parametr - účinnost odstřeďování
 - Příklad: AAB, AA+A
- Maximální požadované otáčky pohonů
 - 20000 ot/min - 3-fázový ACIM - 2-pólový
 - 17000 ot/min - 3-fázový PMSM (4-pólový až 8-pólový)
- Převodový poměr mezi bubnem a motorem
 - Od 1:6 až po 1:16
- Výkon motoru
 - Pohybuje se někde kolem 1 kW
- Požadovaný moment motoru
 - Typicky 2 Nm
 - Ve specifických případech i 4 Nm
- Základní komponenty aplikace pro řízení pračky
 - Řízení motoru
 - FOC
 - Otačková smyčka
 - Momentová smyčka
 - Smyčka řídicí magnetický tok
 - Měření fázových proudů
 - Měření napětí na stejnosměrném mezilehlém obvodu (DC-bus)
 - Algoritmus inteligentního odbuzování
 - MTPA algoritmus
 - Rozběh motoru z nulových otáček
 - Brzdění
 - Fault logika a ochrana vykonové části
 - Safety/bezpečnost z hlediska pračky
 - Safety/bezpečnostní požadavky třída B (safety class B)
 - Aplikační stavový automat - velmi komplexní záležitost
 - Prací algoritmy - obvykle uložené v nadřazeném řídicím systému
 - Komunikace s nadřazeným komunikačním systémem

- Ukládání poruch a možnost on-line debuggovaní

4.2. Vertikální pračky

Tento typ praček je velmi populární v Americe a Asii. Pračka má pouze horní plnění jak ukazuje obr.18.



Obr.18 Vertikální typ pračky

Způsob řízení takového druhu pračky se výrazně liší od klasického typu. Současným trendem v řízení těchto druhů praček je tzv. technologie "direct drive". Konstrukce motoru pro "direct drive" se rovněž výrazně liší od běžného typu motoru, jak ho známe.

Tento druh motorů je známý pod názvem "Pancake Motor" a je znázorněn na obr.19.



Obr.19 Pancake Motor

Jedná se o 3-fázový motor s permanentním magnetem, typicky bývá mnohopólový. Na obr.19 je zobrazen zástupce motorů typu "Pancake" s 20 póly, který dosahuje momentů kolem 25 Nm.

5. EMBEDDED MIKROPOČÍTAČ OPTIMALIZOVANÝ PRO ŘÍZENÍ ELEKTRICKÝCH POHONŮ A SPÍNANÝCH ZDROJŮ - MC56F824x/MC56F825x

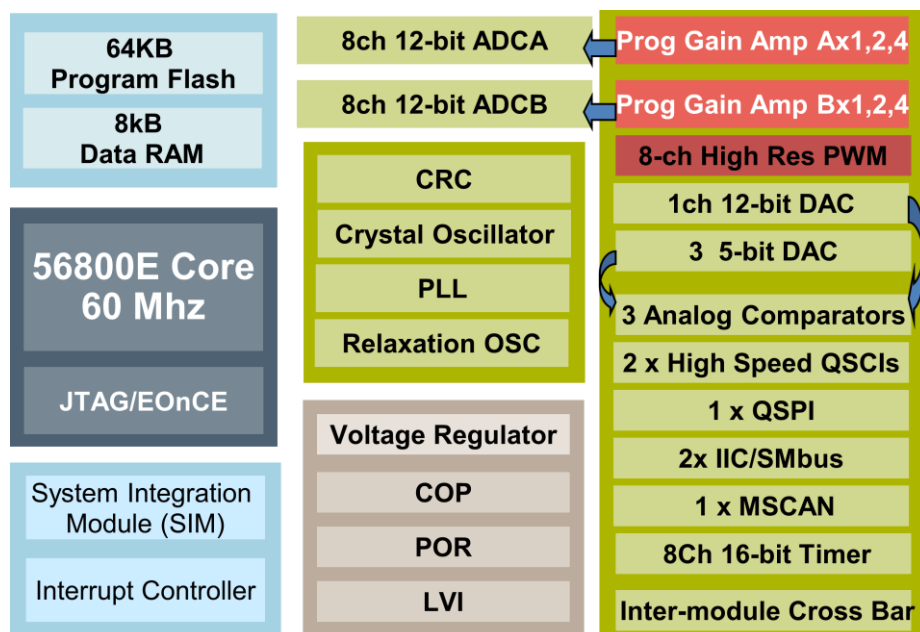
Mikropočítač optimalizovaný pro aplikace v elektrických pohonech a spínaných zdrojích musí splňovat celou řadu kritérií, které jsou kladeny na mikropočítač jako celek. Základem je výkonné jádro s efektivním řízením přerušovacího systému. Dalším podstatným rysem je propracovaná aplikační podpora ze strany periférií mikropočítače, které jsou zásadní při volbě mikropočítače pro danou aplikaci. Aby bylo dosaženo optimálního využití jádra mikropočítače a periférií, je nutné mít jistou úroveň autonomie na straně periférií, která umožní vzájemnou spolupráci periférií bez zásahu jádra. Mikropočítač Freescale MC56F824x/5x splňuje většinu požadavků ze širokého spectra aplikací elektrických pohonů a spínaných zdrojů

5.1. MC56F824x/MC56F825x - parametry

- *60 MHz/60 MIPS - jádro 56800E*
- *Napájení - 2.7 V-3.6 V*
- *Programová paměť FLASH - 64K Bytes*
- *Programová/datová paměť RAM - 8K Bytes*
- *Zabezpečení FLASH paměti*
- *Vnitřní nastavitelné oscilátory - 8MHz/100KHz (relaxation oscillator)*
- *Softwarově programovatelný fázový závěs - PLL*
- *Periferie - Časovače/čítače a PWM modul - 60MHz vstupní hodiny*
 - **8 PWM výstupů**
 - **Rozlišení PWM - 520ps s využitím NanoEdge techniky**
- *Dva 12-bitové AD převodníky s 16 vstupy*
 - **600ns conversion rate**

- **Vestavěný PGA se zesílením 1x, 2x a 4x**
- *Jeden 12-bitový DA převodník digital to analog converter*
- *Tři 5-bitové DA převodníky*
- *Tři analogové komparátory*
- Osm 16-bitových enhanced multifunkčních programovatelných časovačů/čítačů
- CRC - Cyclic Redundancy Check generátor
- Watchdog
- Dvě vysokorychlostní SCI rozhraní
- Jedno rozhraní QSPI (Queued Serial Peripheral Interface)
- Jeden modul - MS-CAN bus
- Dvě rozhraní - I²C/SMBus
- Až 54 GPIO pinů
- Inter module cross-bar
- JTAG/EOnCE™ debug port
- Teplotní rozsah industrial: -40°C až 105°C při 60 MHz

Blokové schema mikropočítače je na obr.20



Obr.20 Mikropočítač - MC56F824x/5x

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] eStop - internal documentation, general business information
- [2] Heidenhain - 349_529-2A.pdf, rotary encoders documentation
- [3] Richard Roberts, Martin Schautt, Henry Hartmann & Bernd Gombert - Modelling and Validation of the Mechatronic Wedge Brake, eStop GmbH, An der Hartmühle 10, 82229 Seefeld, Germany
- [4] J. Fox, R. Roberts, C. Baier-Welt, L. M. Ho, L. Lacraru, B. Gombert - Modeling and Control of a Single Motor Electronic Wedge Brake, Siemens AG Siemens VDO Automotive
- [5] Siemens VDO - internal documentation, general business information
- [6] Freescale - internal documentation, general business information

Centrum pro rozvoj výzkumu pokročilých řídicích a senzorických technologií
CZ.1.07/2.3.00/09.0031

Ústav automatizace a měřicí techniky
VUT v Brně
Kolejní 2906/4
612 00 Brno
Česká Republika

<http://www.crr.vutbr.cz>

info@crr.vutbr.cz