

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Současné trendy vývoje moderních aplikací s elektrickými pohony

Učební texty k semináři

Autoři:

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

Datum:

15. 12. 2010

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 v automobilovém průmyslu.....	2
1.1. EPS - Electric Power Steering (posilovač řízení)	2
1.1.1. EPS - Základní typy EPS systémů	3
1.1.2. Typy elektrických motorů vhodných pro EPS systémy	4
1.1.3. EPS - principiální schema	6
1.1.4. EPS - měření polohy a rychlosti - Resolver	7
1.2. Brzdový systém - Wedge Brake (eBrake®).....	10
1.2.1. Porovnání brzdné dráhy.....	10
1.2.2. Wedge Brake - princip	11
2. Aplikace ve spotřebním průmyslu	13
2.1. Pračka	13
2.1.1. Horizontální pračky.....	13
2.1.2. Vertikální pračky	16
Seznam použité literatury	18

1. APLIKACE V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Mikropočítače hrají významnou roli v rychle se rozvíjejícím automobilovém průmyslu. Velmi rychle dochází k nasazování nových moderních prvků, které usnadňují řízení automobilů, zvyšují jejich bezpečnost, ovladatelnost a celkově přispívají k většímu pohodlí při cestování. 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. Některé aplikace budou zmíněny v tomto textu

1.1. EPS - Electric Power Steering (posilovač řízení)

EPS je elektromechanický systém, který je mechanicky připojen do soustavy řízení automobilu a usnadňuje jeho ovládání. Jedná se o komplexní systém skládající se z elektrického pohonu, výkonové elektroniky, snímačů a mikropočítačového systému, který celou soustavu řídí.

Toto řešení má celou řadu výhod v porovnání s předcházejícími typy posilovačů řízení:

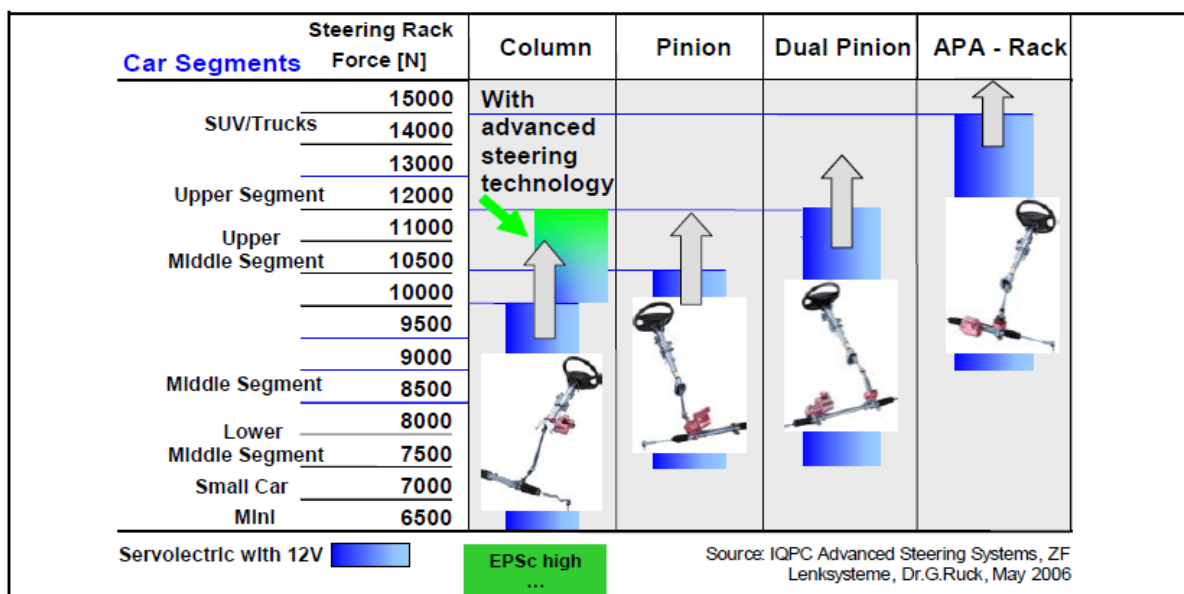
- Spotřeba moderního EPS systému je typicky méně než 7% v porovnání se standardním řešením na bázi hydraulického systému
- To vede k celkovému snížení spotřeby až o 4%
- Dochází ke snížení ztrát celého systému - EPS se používá jen v případě, že řidič vykonává akční zásah
- Snížení nákladů na údržbu a recyklaci
- Výrazná redukce času při montáži na výrobní lince
- Zvýšená bezpečnost celého systému - funguje i v případě, že spalovací motor nepracuje, další bezpečnostní prvky zabudované v řídicí elektronice
- Snadná implementace užitečných funkcí zvyšujících bezpečnost a pohodlnost jako např.: parking assist (podpora parkování),

programovatelná závislost stupně posilování na okamžité rychlosti, kompenzace bočního větru, atd.

- EPS pracuje velmi tiše, dosažená úroveň hluku je menší než 35 dB

1.1.1. EPS - Základní typy EPS systémů

Z obrázku Obr. 1.1 je zřejmé, že v současné době jsou na trhu 4 různé typy EPS systémů podle umístění pohonu a mechaniky EPS jednotky.



Obr. 1.1.: EPS - jednotlivé typy a jejich použití

Typ Column - jedná se o ekonomické řešení pro malé automobily. Malé síly generované tímto typem EPS jednotky omezují její použití pro větší typ automobilů. Tento typ EPS je poměrně populární a dochází k jeho rychlému rozšiřování.

Typ Pinion - tento typ je vhodný pro střední třídu automobilů. Tato topologie lépe odpovídá zvyšujícím se nárokům spotřebitelů na kvalitu EPS systému. Kombinuje v sobě technické výhody typu Column s vysokou tuhostí mechanického spojení.

Typ Rack - je řešení vhodné pro vyšší a nejvyšší třídu automobilů. Moment generovaný elektrickým motorem je přenášen přímo prostřednictvím planetární převodovky, čímž se dosahuje maximální tuhosti v převodu síly a rovněž k maximálnímu přenosu síly. Toto řešení je vhodné pro luxusní automobily.

Typ Double-Pinion - toto řešení je kompromisem mezi ekonomickým "Pinion" řešením a drahým "Rack" řešením.

1.1.2. *Typy elektrických motorů vhodných pro EPS systémy*

Asynchronní motor:

- Výhody:
 - Vysoká spolehlivost
 - Může pracovat při vysoké teplotě (nemá permanentní magnety)
 - Není zapotřebí znát počáteční polohu rotoru k tomu, aby se motor rozběhl
 - V odpojeném stavu negeneruje magnetické pole ve vzduchové mezeře
 - Velmi malé zvlnění momentu
- Nevýhody:
 - Skluz - rychlost rotoru je odlišná od rychlosti magnetického pole
 - Relativně malá účinnost
 - Komplexní a poměrně složitý řídicí algoritmus pro generování momentu při nulové rychlosti

Synchronní motor s permanentním magnetem (PMSM):

- Výhody:
 - Velký startovací moment
 - Velká účinnost
 - Při stejném výkonu je menší než asynchronní motor
 - Velmi malé zvlnění momentu
- 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

Stejnoseměrný bezkartáčový motor s permanentním magnetem (BLDC):

- Výhody:
 - Velký startovací moment
 - Velká účinnost
 - Při stejném výkonu je menší než asynchronní motor
- 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
 - Velké zvlnění momentu

Spínaný reluktanční motor (SR):

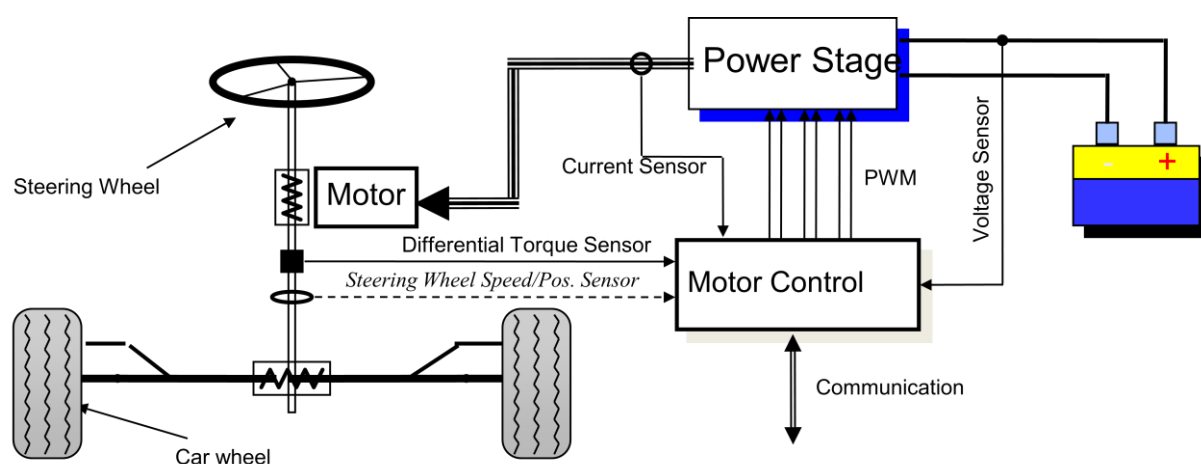
- Výhody:
 - Může pracovat při vysokých teplotách (bez permanentního magnetu)
 - Velký startovací moment
 - Vysoká účinnost motoru
 - Topologie měniče umožňuje realizovat tzv. fault-tolerant systém
- Nevýhody:
 - Informace o pozici rotoru je nezbytná pro řídicí algoritmus

- Nutná znalost počáteční polohy rotoru
- Generuje elektromagnetické rušení v případě ne zcela korektního řízení
- Zapotřebí komplexní řídicí algoritmus, abychom zminimalizovali zvlnění momentu a elmag. rušení
- **Velké zvlnění momentu**

Z daného výčtu různých typů motorů a jejich předností a nevýhod se v současné době jeví jako nejvodnější PMSM motor.

1.1.3. EPS - *principiální schema*

Principiální schema EPS systému je na Obr. 1.2.



Obr. 1.2.: EPS - principiální schema

Ze schematu plyne, že moderní EPS systém neobsahuje žádnou hydraulickou ani pneumatickou část. Celá konstrukce je postavena na principu elektromechanického systému. Je vidět, že volant stále zůstává mechanicky spojen s koly vozu a tudíž se v tomto případě nejedná o systém steer-by-wire. Klíčové komponenty celého systému jsou:

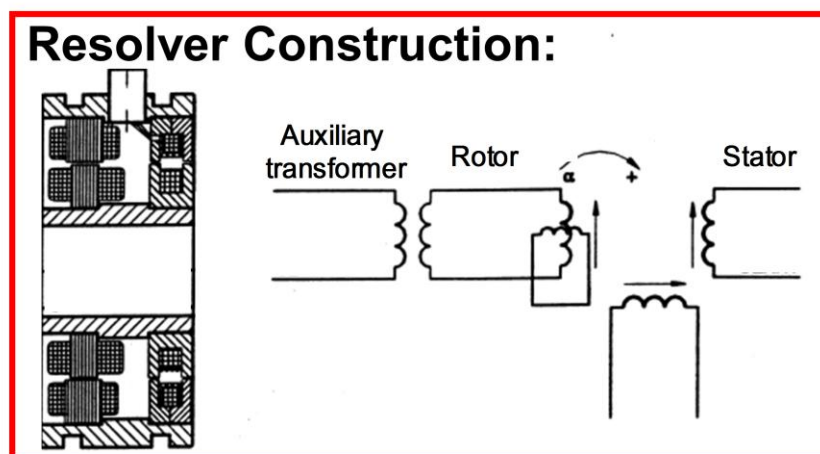
- Elektrický motor napájený obvykle z 12 V zdroje
- Výkonová elektronika generující odpovídající výkon. Skládá se ze 3-fázového střídače, elektronických obvodů pro zpracování měřených

veličin 3-fázových proudů a vstupního stejnosměrného napětí a potřebného rozhraní pro řídicí jednotku

- Řídicí jednotka na bázi mikropočítačového systému obsahuje algoritmus řízení pohonu. Pro řízení pohonu se používají struktury FOC. Tato jednotka řídící elektrický pohon obsahuje rovněž rozhraní pro komunikaci s nadřazeným systémem, který definuje nejenom charakteristiky posilování v závislosti na rychlosti případně jiných parametrech
- Snímač momentu
- Snímač pozice a rychlosti volantu
- Nadřazený řídicí systém

1.1.4. EPS - měření polohy a rychlosti - Resolver

Pro měření polohy volantu v systémech EPS se často používá robustní snímač polohy zvaný resolver. Principiálně se jedná o polohový transformátor. Resolver má dvě vinutí na statoru a jedno vinutí na rotoru. Statorová vinutí jsou vůči sobě natočená o 90° . Resolver je používán jako absolutní snímač úhlu natočení. Obr. 1.3 zobrazuje topologii snímače.



Obr. 1.3.: Resolver

Princip měření resolveru spočívá v tom, že rotorové vinutí je napájeno harmonickým signálem s konstantní frekvencí. Při otáčení rotoru se pak indukují napětí do jednotlivých statorových vinutí, které pak nesou informaci o poloze hřídele.

Rotor je napájen harmonickým signálem definovaným rovnicí

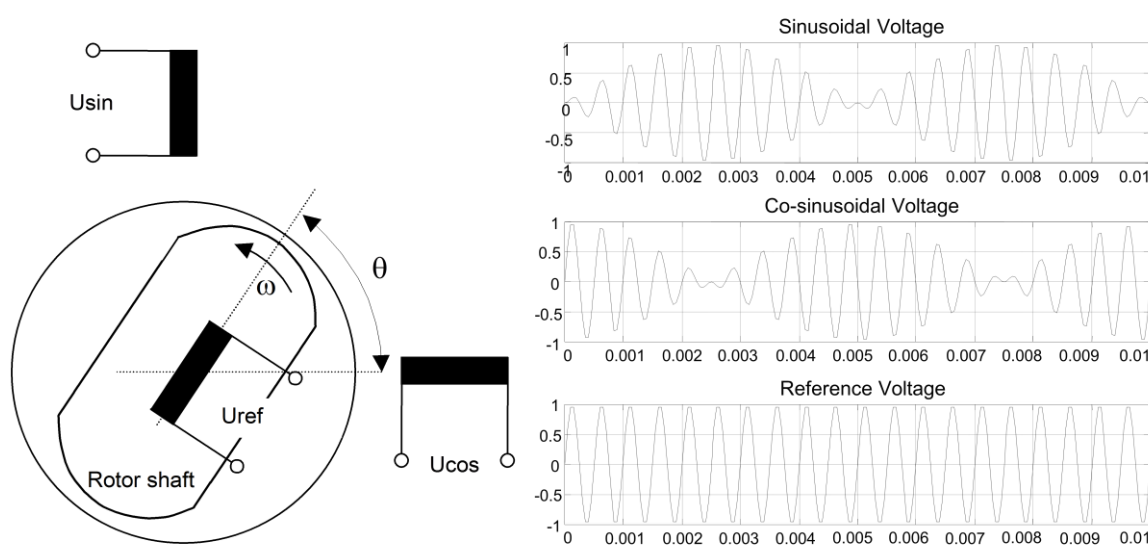
$$u(t) = U\sin(\omega t) \quad (1.1)$$

Magnetické pole rotoru pak indukuje ve statorových vinutích složky napětí s amplitudami závislými na úhlu natočení rotoru θ vůči pevnému statoru. Tento děj popisují následující rovnice:

$$u_1(t) = KU\sin(\theta)\sin(\omega t) \quad (1.2)$$

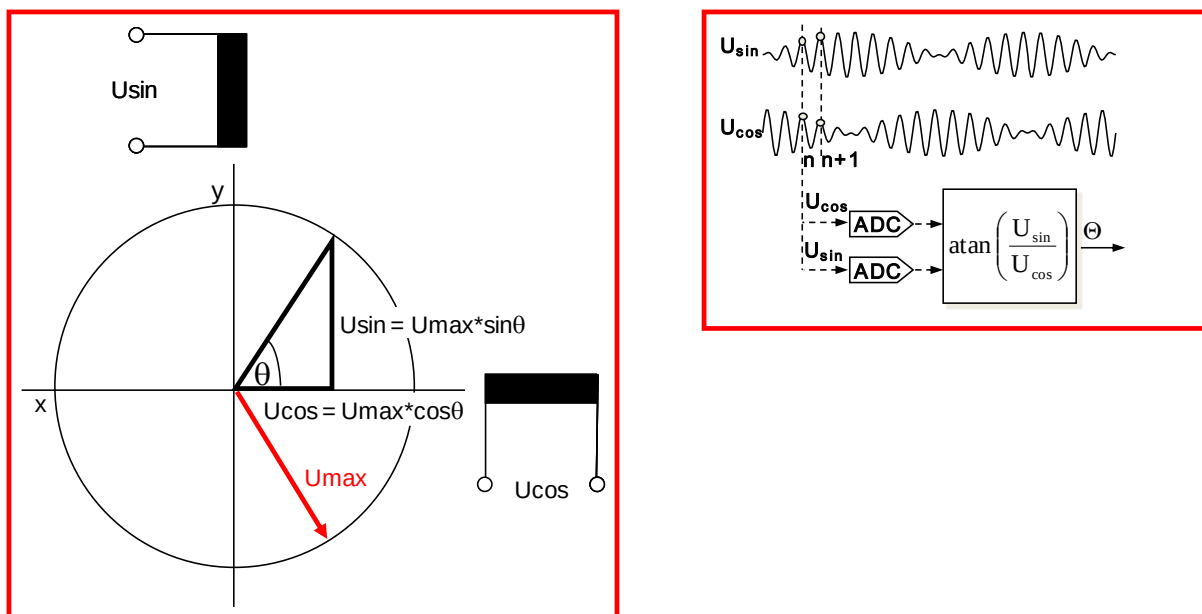
$$u_2(t) = KU\cos(\theta)\sin(\omega t)$$

Signály definované rovnicemi pro jednotlivé fáze jsou zobrazeny na Obr. 1.4.



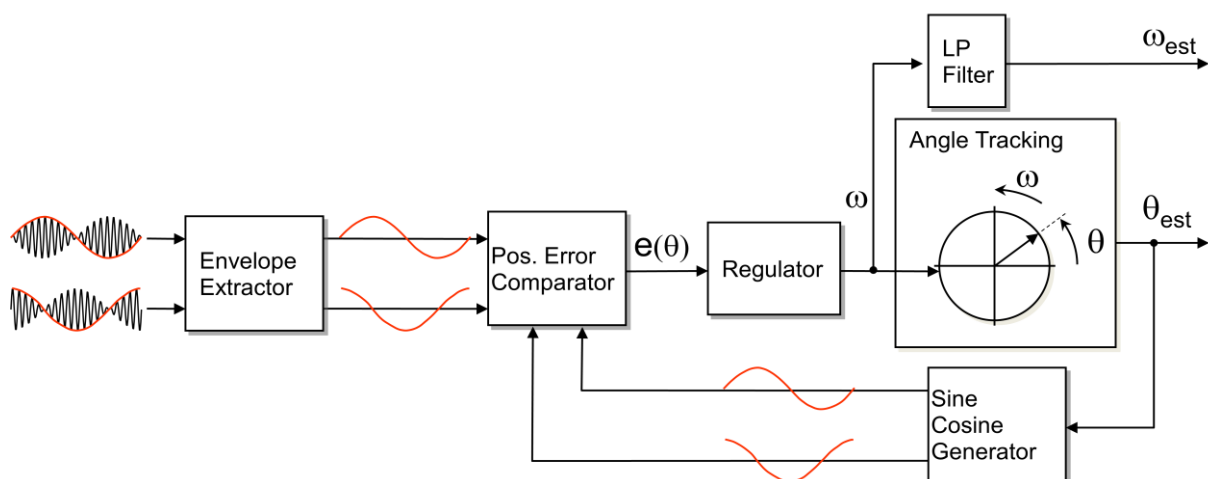
Obr. 1.4.: Signály generované resolverem

Principiální zpracování signálů z resolveru demonstruje Obr. 1.5.



Obr. 1.5.: Zpracování signálů z resolveru

Přímý výpočet polohy s použitím funkce arcus tangens není vhodný pro reálné použití. Informace o poloze je pak opatřena šumem a musí být následně zpracována filtrací. Navíc výpočet rychlosti je poměrně komplikovaný, jelikož je zapotřebí implementovat první derivaci polohy v závislosti na čase, což působí potíže z hlediska korektní implementace. Daleko výhodnější přístup je použít dynamický zpětnovazební systém, který bude estimovat korektní polohu a jako vedlejší produkt pak dostaneme i rychlost. Takový zpětnovazební systém může vypadat podobně jako na Obr. 1.6.

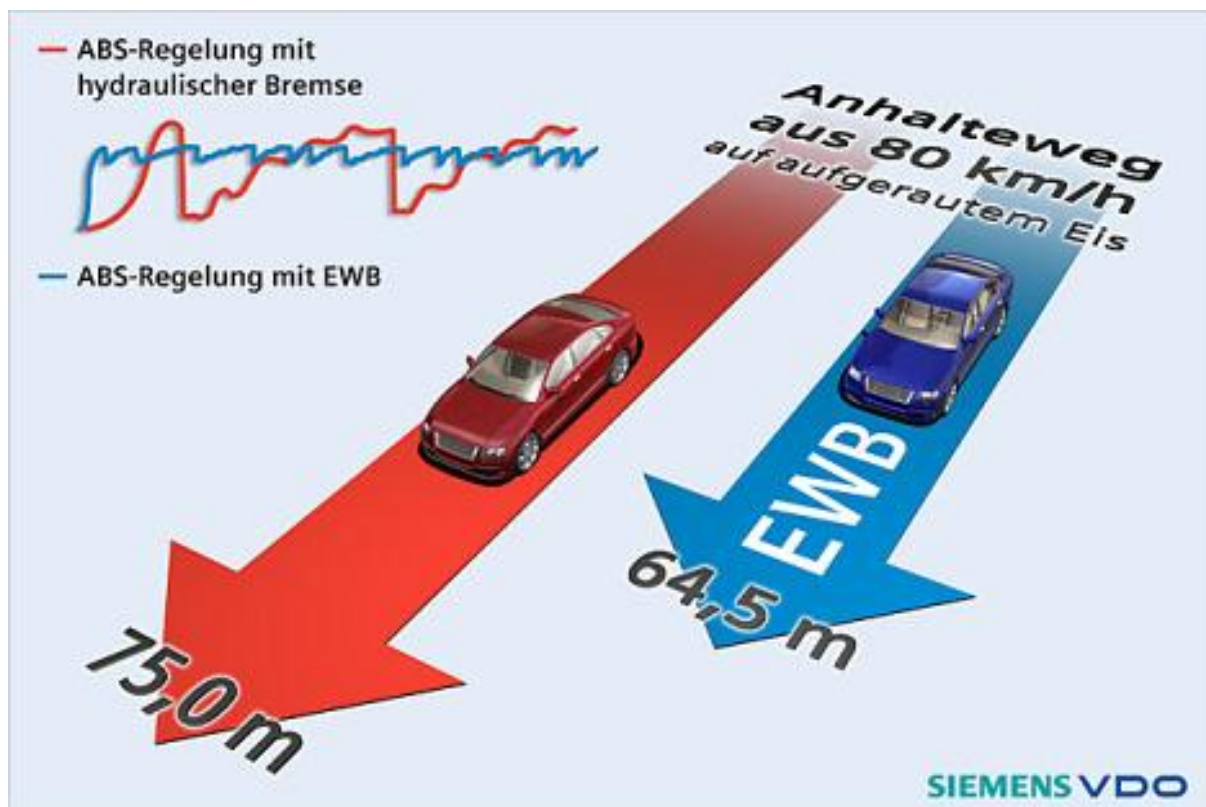


Obr. 1.6.: Zpětnovazební systém - estimace polohy a rychlosti

1.2. 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.

1.2.1. Porovnání brzdné dráhy

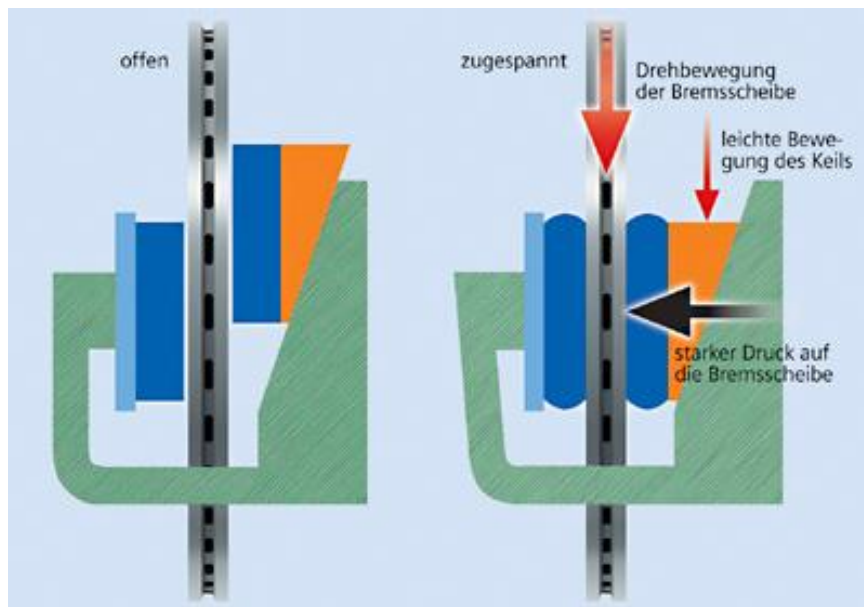


Obr. 1.7.: Porovnání brzdné dráhy

Obr. 1.7 porovnává brzdnou 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.

1.2.2. 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. 1.8.: Principiální schema klínových brzd

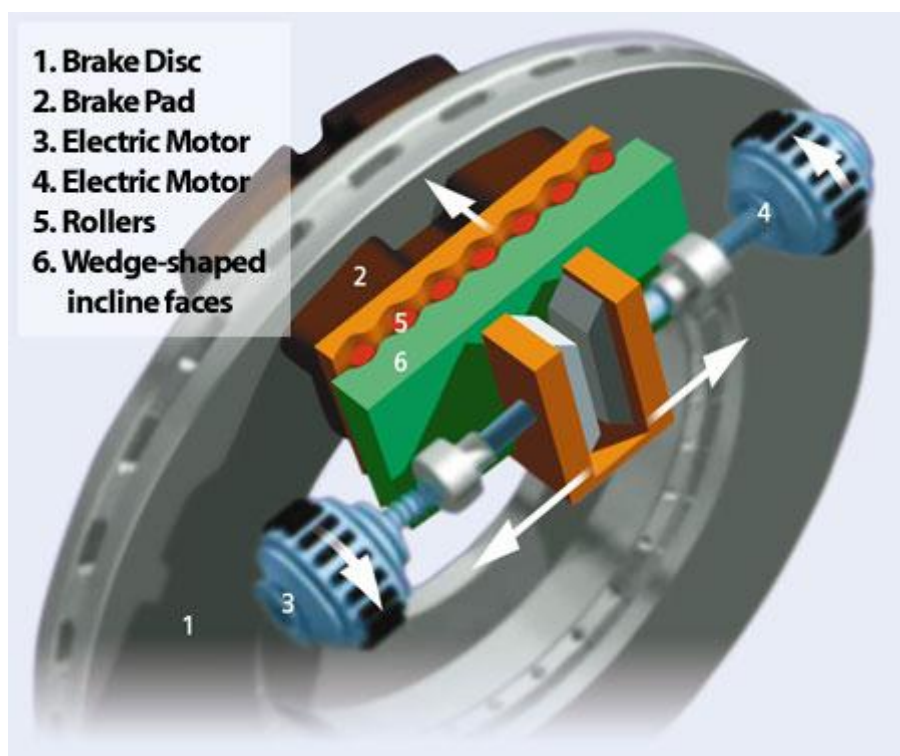
Chování brzdového systému klínových brzd závisí na splnění podmínek podle následující rovnice:

$$C^* = \frac{\text{Pad Braking Force}}{\text{Brake Actuation Force}} = \frac{2\mu_B}{\tan \alpha - \mu_B} \quad (1.3)$$

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. 1.9.



Obr. 1.9.: Realizace klínových brz - prototyp 1

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

2. APLIKACE VE SPOTŘEBNÍM PRŮMYSLU

2.1. 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.

2.1.1. 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. 2.1.



Obr. 2.1.: Horizontální pračka s předním plněním

Zatímco typ s horním plněním vidíme na Obr. 2.2.



Obr. 2.2.: 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 odstřeďování
 - Od zhruba 1000 ot/min do 1600 ot/min
- Materiál vany
 - Nerez

- Plast
- Hodnocení kvality pračky se skládá ze tří parametrů
 - 1. parametr - účinnost praní
 - 2. parametr - energetická účinnost
 - 3. parametr - účinnost odstředování
 - 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 výkonové 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

2.1.2. Vertikální pračky

Tento typ praček je velmi populární v Americe a Asii. Pračka má pouze horní plnění jak ukazuje Obr. 2.3.



Obr. 2.3.: 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. 2.4.



Obr. 2.4.: Pancake Motor

Jedná se o 3-fázový motor s permanentním magnetem, typicky bývá mnohopólový. Na Obr. 2.4 je zobrazen zástupce motorů typu "Pancake" s 20 póly, který dosahuje momentů kolem 25 Nm.

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