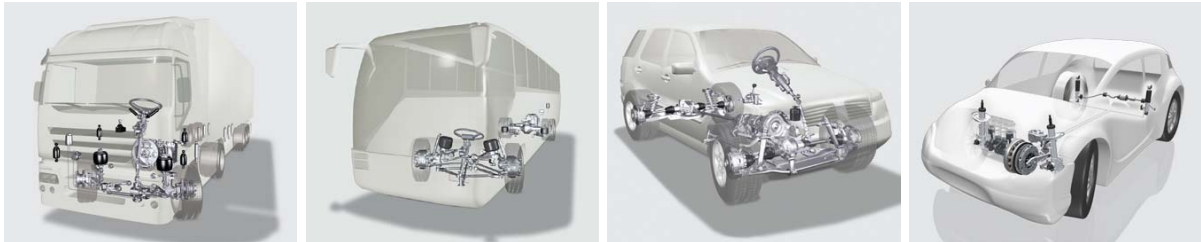




Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

Heinz-Joachim Gilsdorf / Dr. Achim Thomä, ZF Sachs AG
Martin Münster, ZF Friedrichshafen AG



Index

- Trend “by Wire“ : electro-mechanical systems to replace hydraulic systems
- Design concept and package of electro-mechanical systems
- Simulation results for electro-mechanical systems
- Impact of electro-mechanical systems on the car package
- Summary

Comparison of passive, semi-active and active suspension systems

| control system | | Amplitude Sensitive Damping | Continuous Damping Control | Active Roll Stabilization | Active Body Control |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|
| | | | | | |
| Vertical movement | $f < 3 \text{ Hz}$ | | ● | | ● |
| | $f > 3 \text{ Hz}$ | ● | ● | | ● |
| Rolling Feel / Harshness | | ● | ● | ● | |
| Roll | | | ● | ● | ● |
| Pitch | | | ● | | ● |
| Wheel load variations | | | ● | ● | ● |

● Complete compensation

● Reduction (limiting, delay)

3 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

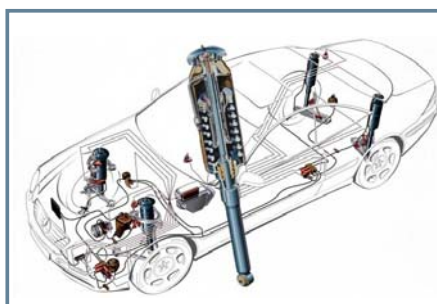
S-DDA

Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

Current, active suspension systems

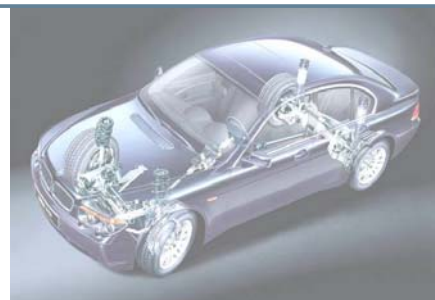


DaimlerChrysler "ABC" (Active Body Control):

- active control of the upper spring seats

BMW "Dynamic Drive":

- controlled shocks
- active roll stabilization



4 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

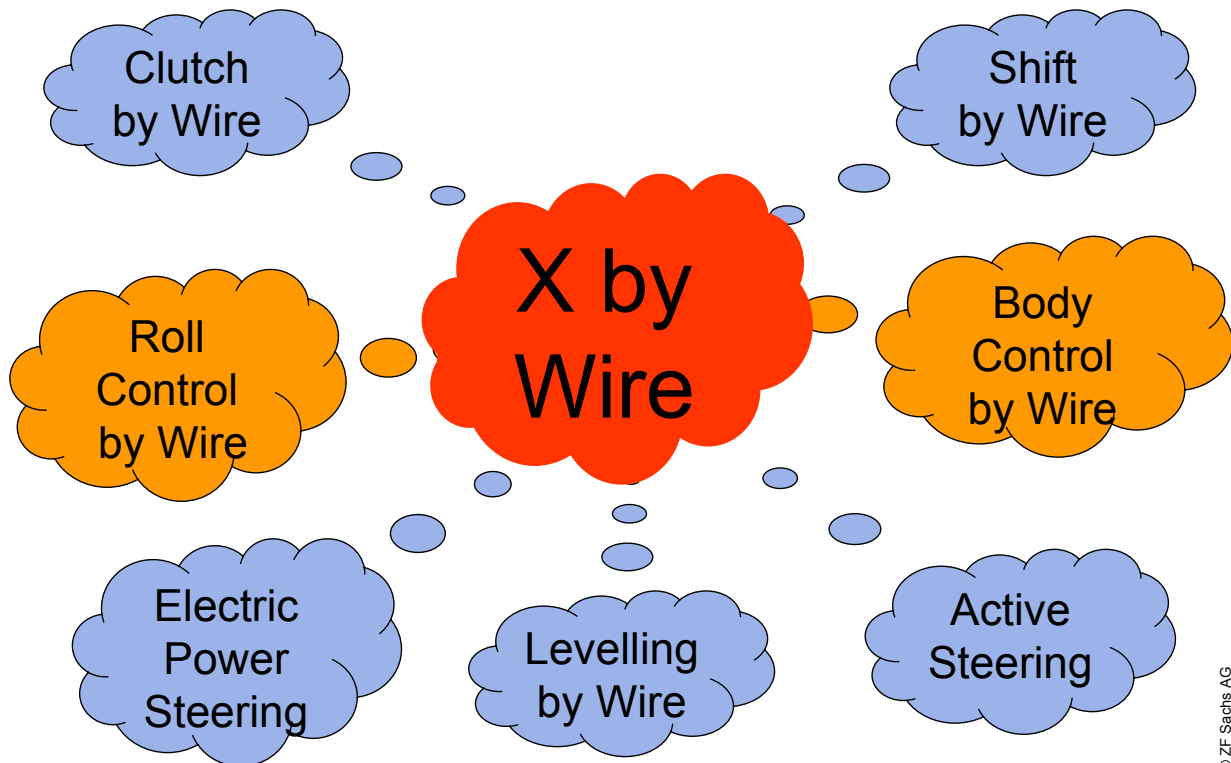
S-DDA

Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

Electro-mechanical systems for driveline and chassis applications



5 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

S-DDA

Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

Comparison of hydraulic and electro-mechanical systems

| | hydraulic system | electromechanical system |
|-------------------|---|--|
| strengths | <ul style="list-style-type: none"> power density existing experience | <ul style="list-style-type: none"> less components lower assembly costs power on demand „dry“ system |
| weaknesses | <ul style="list-style-type: none"> dimensioning based on power at engine idle speed → therefore oversized on the average pipng costs, cooling... leakage problems ecologically harmful medium noise, vibration | <ul style="list-style-type: none"> lower power density, means higher actuator weight lower efficiency at unfavorable operating conditions → higher energy consumption at ultimate load |

6 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

S-DDA

Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

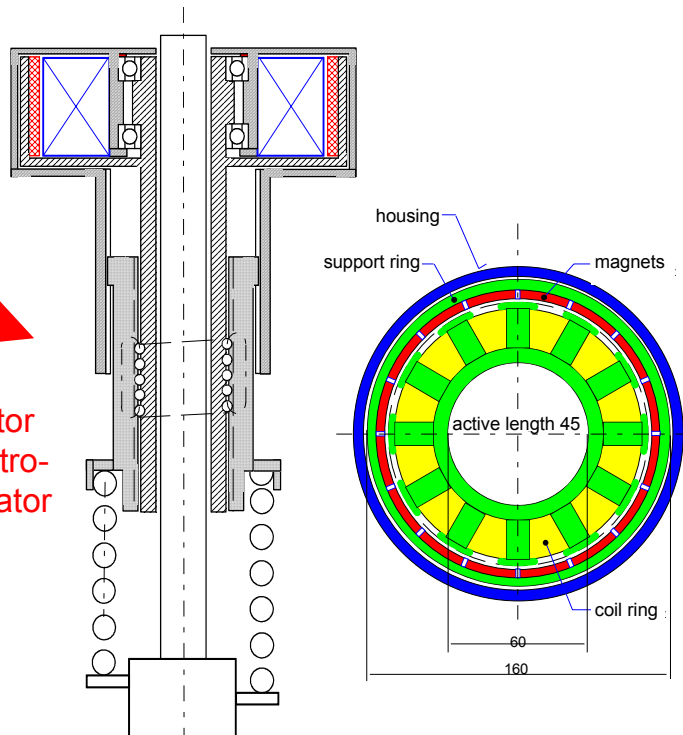
All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

Concept of an electro-mechanical body control ("eABC")



hydraulic actuator replaced by electro-mechanical actuator



7 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

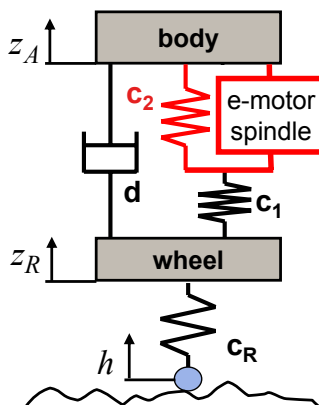
S-DDA

Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

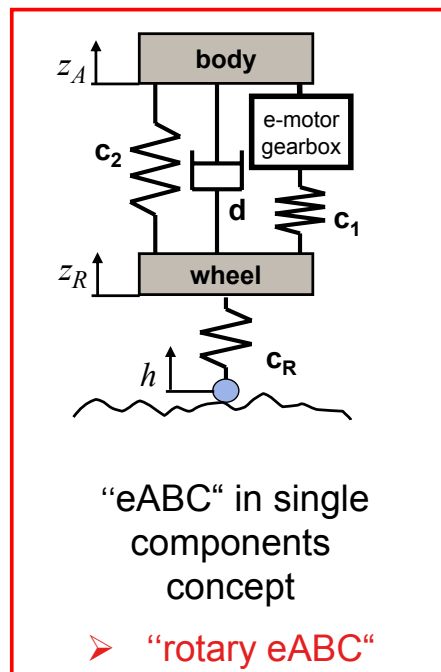
All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

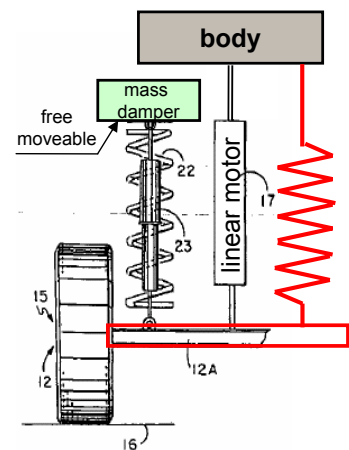
Principles for electro-mechanical body control systems



"eABC" in module concept
(to substitute the hydraulic system)



"eABC" in single components concept
➤ "rotary eABC"



BOSE concept

8 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

S-DDA

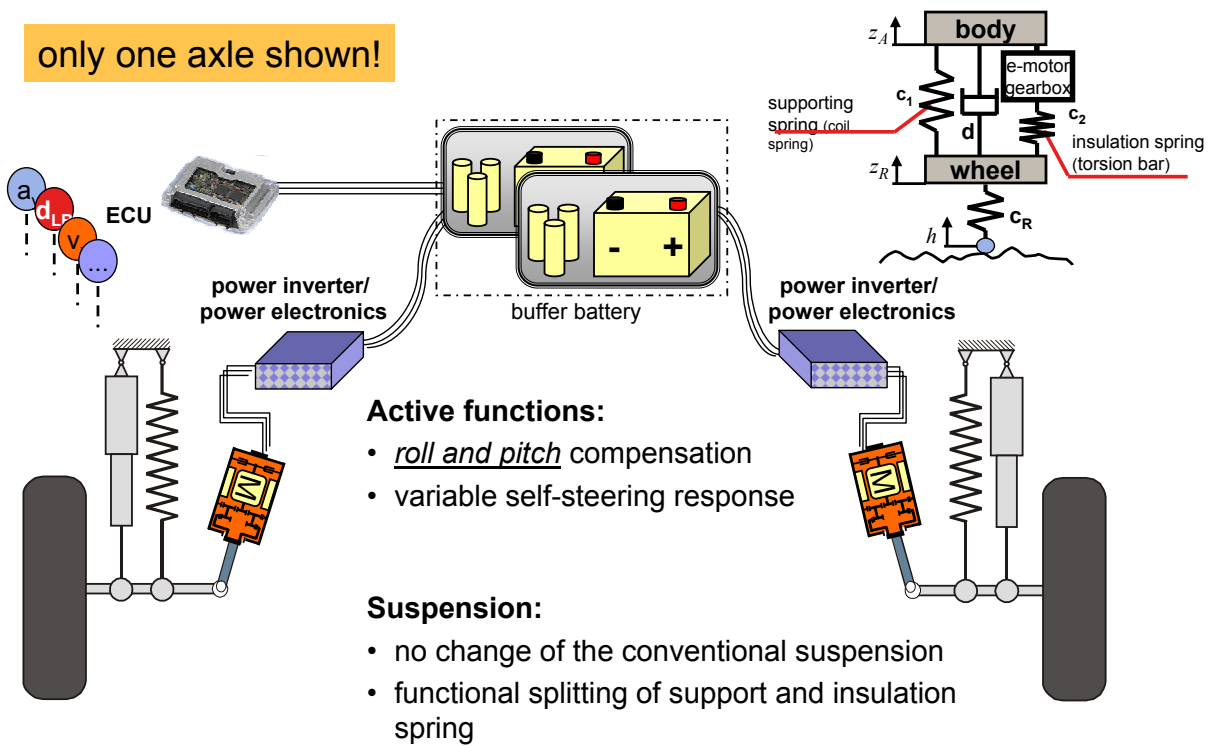
Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

Suspension concept "rotary eABC"

only one axle shown!



9 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

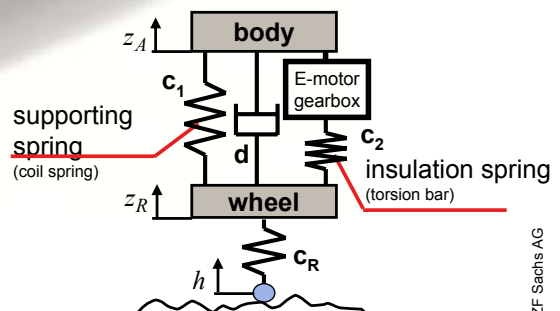
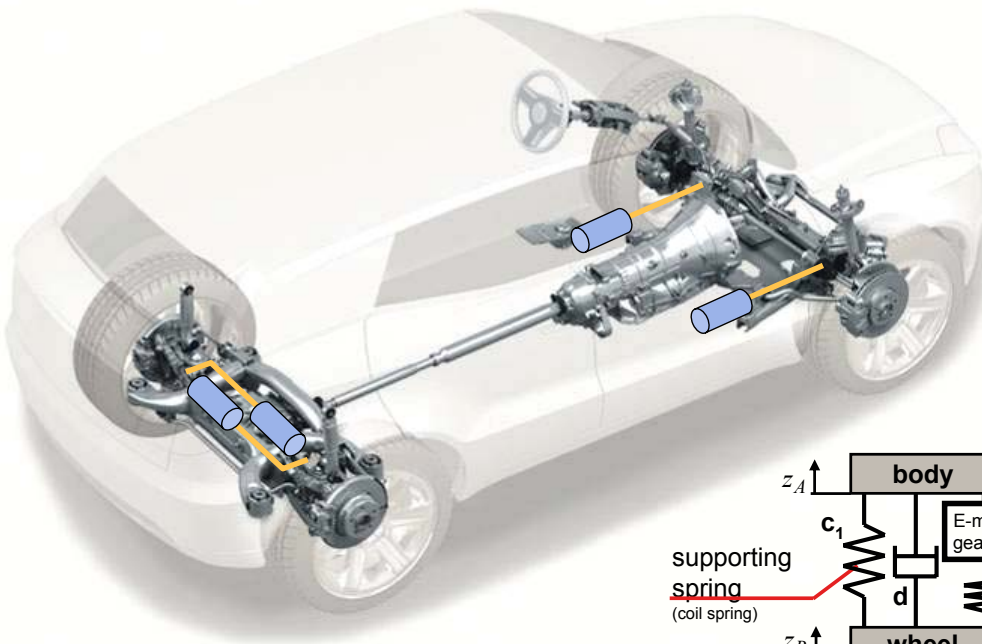
S-DDA

Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

"Rotary eABC": rotary actuator / torsion bar



10 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

S-DDA

Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

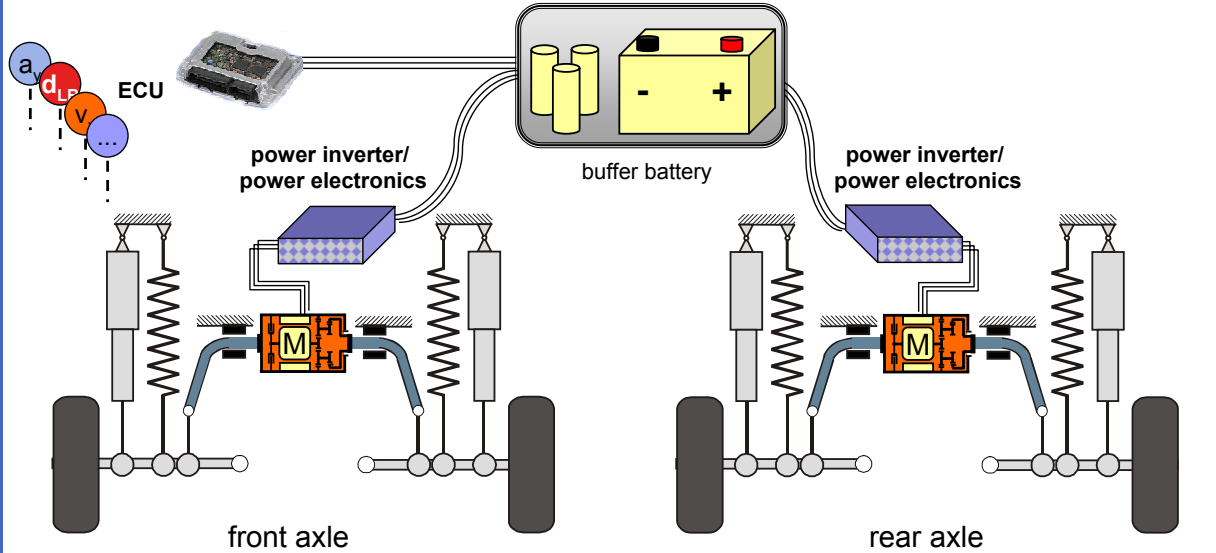
Suspension concept "ERC": Electro-mechanical Roll Control

Active functions

- roll compensation
- variable self-steering response

Suspension

- No change of the suspension corner modules
- active stabilizer bars (such as ARS)



11 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

S-DDA

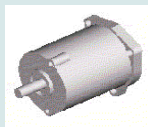
Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

Components of electro-mechanical suspension systems for ERC and eABC

modular system components for ERC and eABC



electric motor

+



gearbox

+



power electronics

+

application-specific components for ERC and eABC



housing

+



torsion bars / stabilizer bars with bearing

12 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

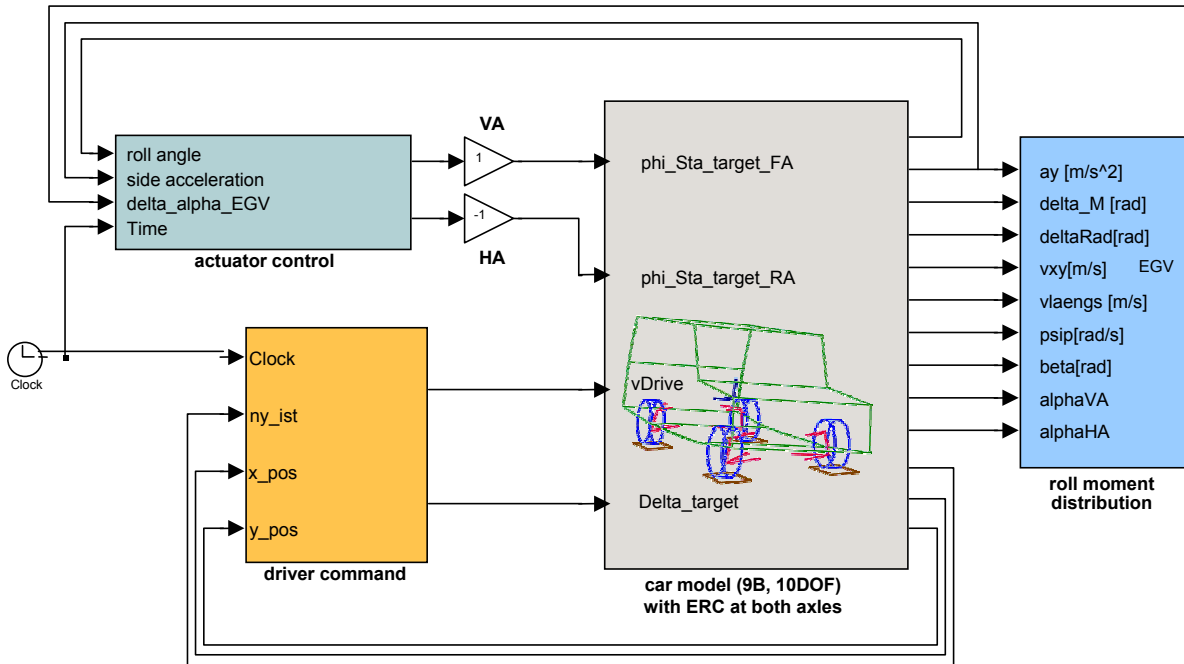
S-DDA

Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

Simulation of driving dynamics and power requirements



13 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

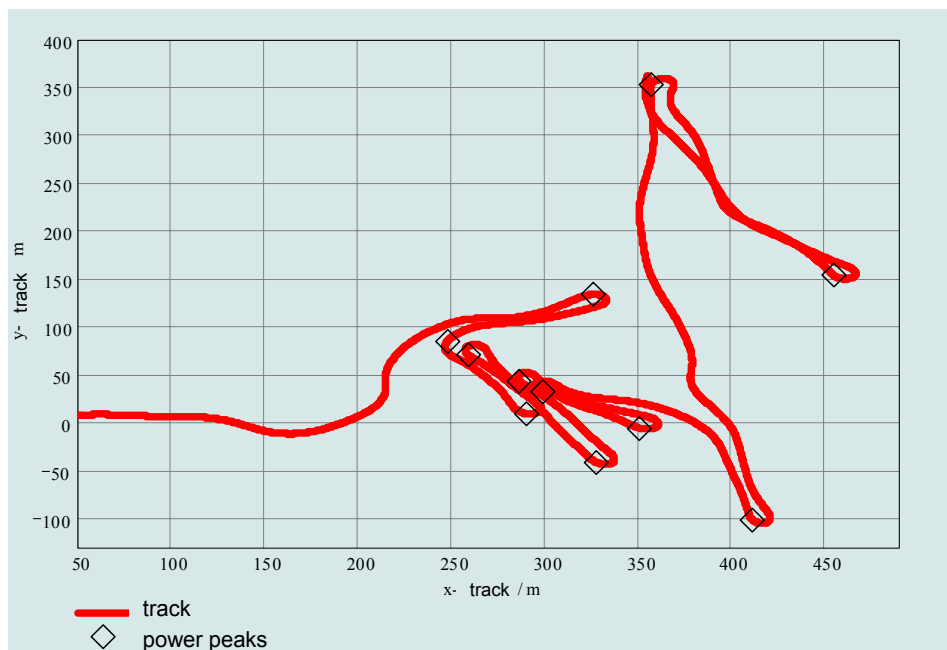
S-DDA

Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

Test drive Stilfser Joch (simulation)



14 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

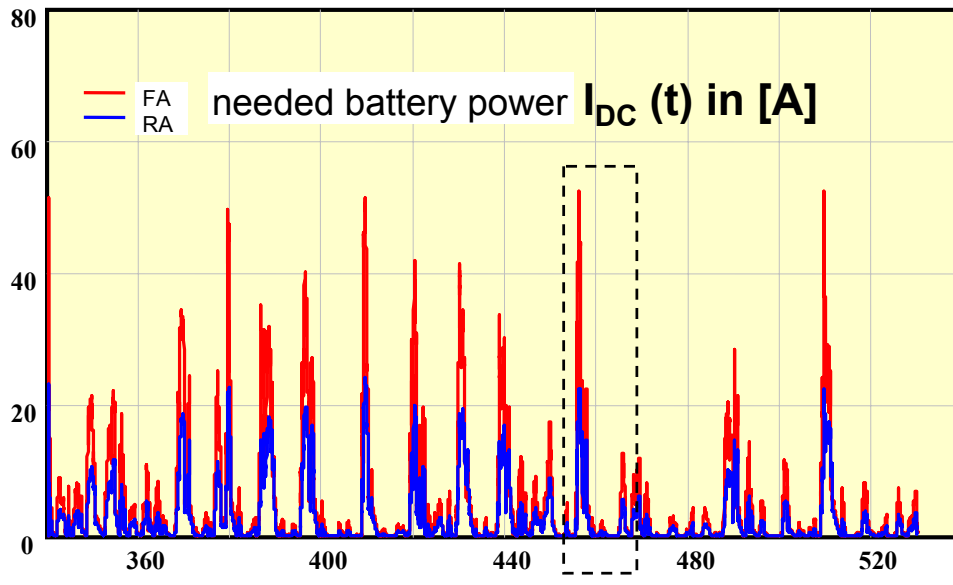
S-DDA

Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

Test drive Stilfser Joch (simulation) power requirements 12 Volts



15 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

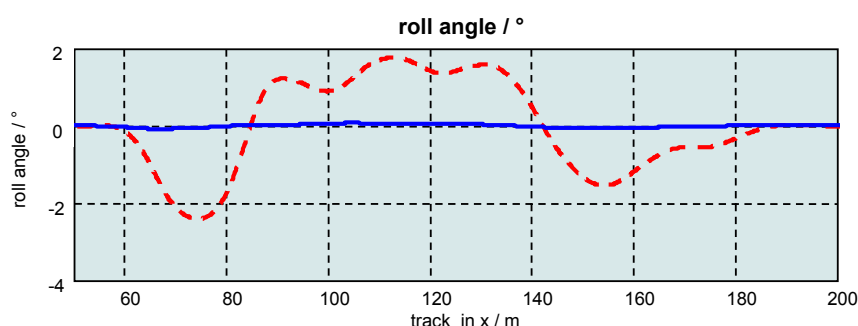
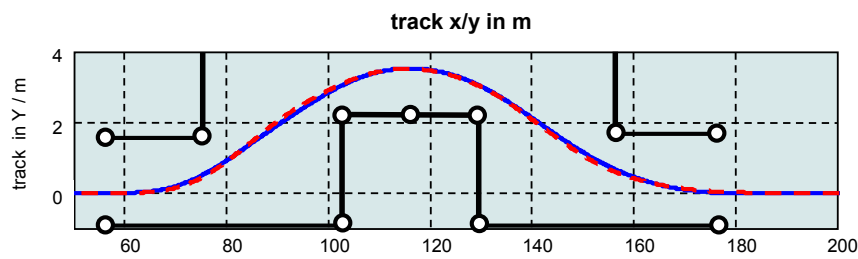
S-DDA

Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

Lane-change manoeuvres with dynamic roll moment distribution



- - - passive
- active stabilizer with dynamic roll moment distribution

16 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

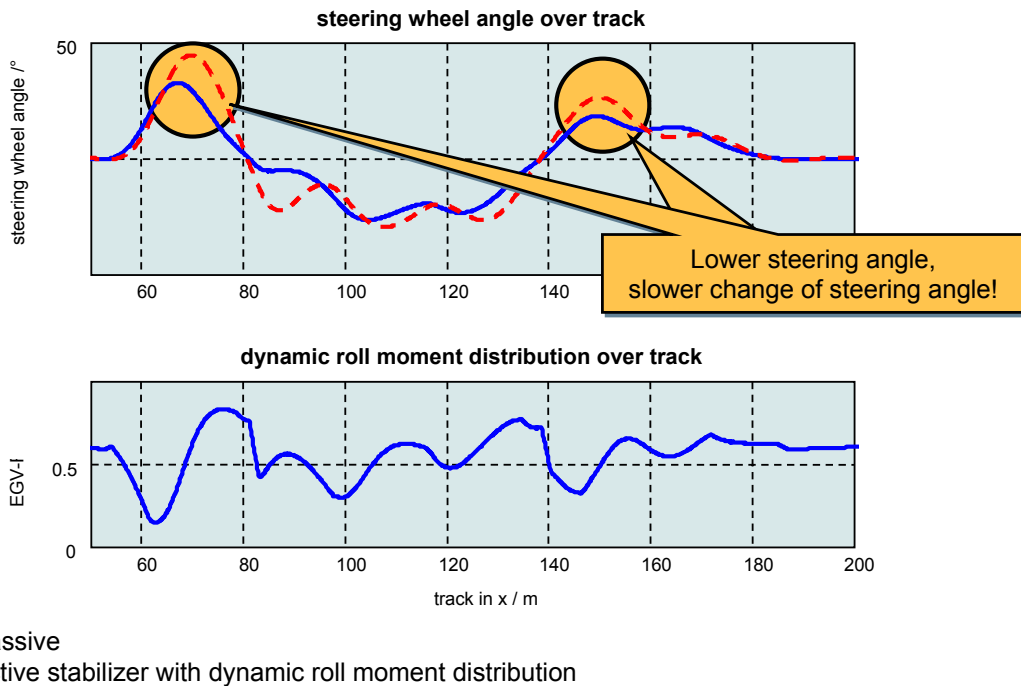
S-DDA

Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

Lane-change manoeuvres with dynamic roll moment distribution



17 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

S-DDA

Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

Technical Data ERC-Actuator

| | |
|-----------------------|---|
| Target vehicle | Sedan |
| Torque output | 800 Nm |
| Setting time | 250 ms |
| Gearbox | 3-stage planetary gearbox system efficiency $\eta > 90\%$ |
| Motor | synchronous motor permanent-magnet excitation |
| Dimensions | D = 85mm L = 260mm |
| Energy supply | 12V power requirement max. 80A needed battery power (for both actuators) |

18 / 05.2006

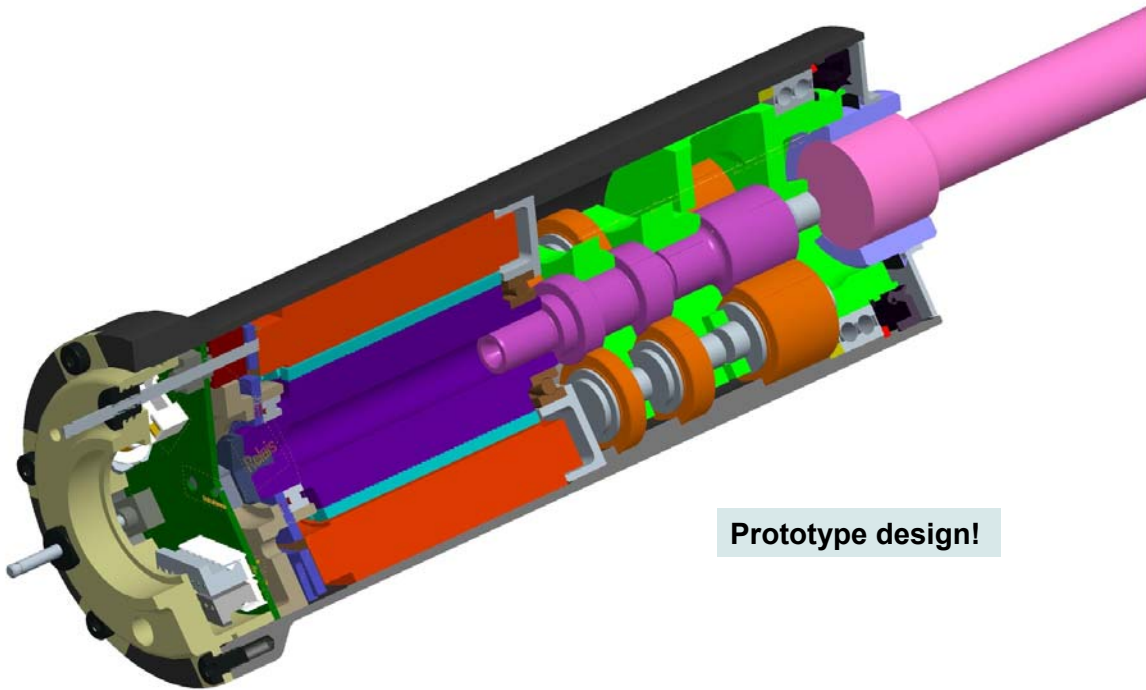
Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

S-DDA

Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG



Prototype design!

19 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

S-DDA

Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

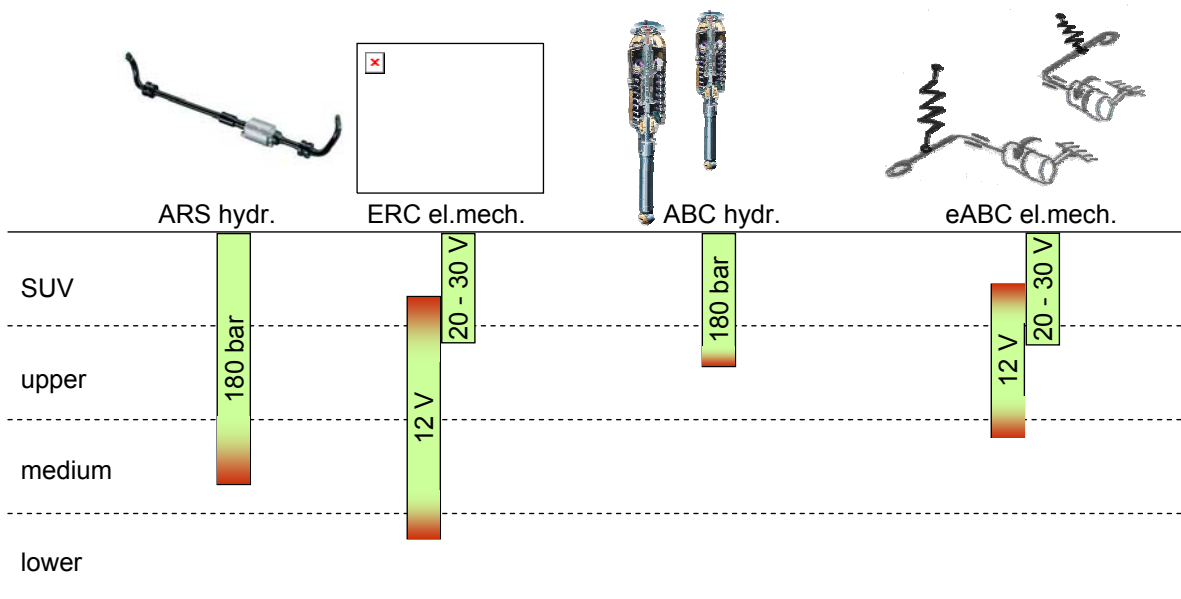
All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

Active suspension systems: mode of operation and vehicle segments

wheel control: 4C-levelling, roll and pitch control

axle control : roll control, variable self-steering response



20 / 05.2006

Electro-mechanically Actuated Systems for Roll and Body Control

S-DDA

Die in dieser Folie enthaltenen Informationen sind vertraulich und Eigentum der ZF Sachs AG (ZF Sachs). Jegliche Vervielfältigung, Offenbarung oder Benutzung dieser Informationen ist ohne schriftliche Zustimmung von ZF Sachs verboten. ZF Sachs behält sich weltweit alle Rechte vor. Dies gilt für anlässlich der Präsentation von ZF Sachs mündlich mitgeteilte Informationen entsprechend.*

All information contained in this chart is confidential and property of ZF Sachs AG (ZF Sachs). Any reproduction, disclosure or use is prohibited without the prior written consent of ZF Sachs. ZF Sachs reserves worldwide all rights. This applies also to information disclosed by ZF Sachs orally on the occasion of the presentation.*

© ZF Sachs AG

Summary

- Electro-mechanical roll and body control systems are an alternative to hydraulic systems.
- Suspension package and power requirements are the keys to cut costs for electro-mechanical systems. This means:
 - Use a modular system for active roll and body control
 - Use higher voltage power supply (e.g. 20 - 30 volts)
- With respect to an efficient cost / benefit ratio for electro-mechanical systems - and only under these conditions - higher volumes of such systems appear to be reasonable, allowing application down to medium-sized cars.
- With intelligent software algorithms and parameters electro-mechanical roll control systems can also be used in SUV.