UNITED

Engineering Knowledge Transfer Units to Increase Student´s Employability and Regional Development

Module 3: การออกแบบยานพาหนะ + พลศาสตร์

PhD, Assoc. prof., Sanjarbek Ruzimov

sanjarbek.ruzimov@polito.it

สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น*

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.598710-EPP-1-2018-1-AT-EPPKA2-CBHE-JP

กำหนดการ

- Slot 3: การจำลองพลวัตของยานพาหนะ
  - ไดนามิกตามยาวและการจำลองการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงใน Matlab/Simulink
  - การจำลองไดนามิกของเบรก
- Slot 4 and 5: ไดนามิกแนวตั้ง
  - ไดนามิกแนวตั้งของยานพาหนะ
  - รัฐของศิลปะของระบบลดแรงสั่นสะเทือนแบบพาสซีฟกึ่งแอคทีฟและแอคทีฟ
  - Roll motion
- Slot 6: ระบบควบคุม
  - ระบบควบคุมการปรับความสูง
  - ระบบควบคุมช่วงล่างแบบหมุนเวียน
  - Active roll control

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

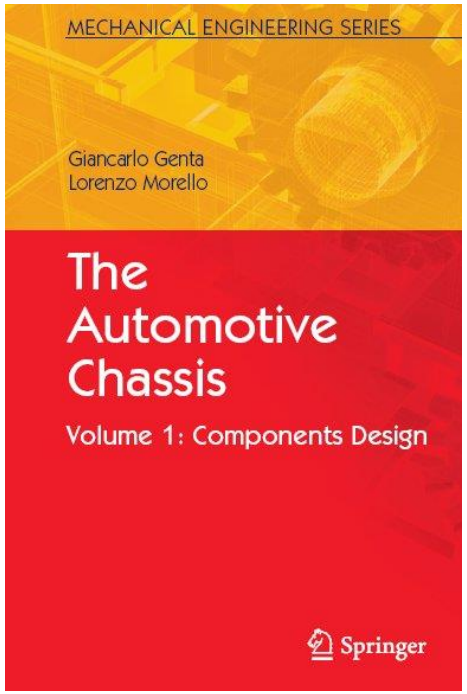
การจำลองพลวัตของยานพาหนะ

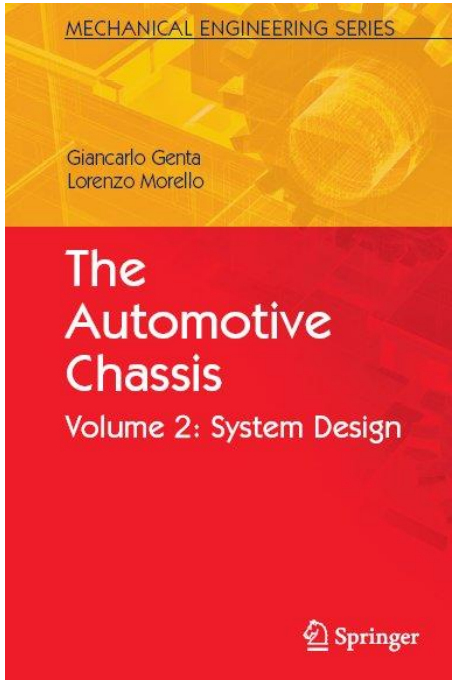
- ไดนามิกตามยาวและการจำลองการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงใน Matlab/Simulink
- การจำลองไดนามิกของเบรก

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

การออกแบบยานยนต์

- 8 ECST (การบรรยาย + การปฏิบัติ + โครงการ)
  - Part 1 : แรงและโมเมนต์ที่สัมผัสยางถนน
  - Part 2: ไดนามิกตามยาวของรถ
  - Part 3: Suspensions
  - Part 4: พลวัตด้านข้างของยานพาหนะ
  - Part 5: ระบบเบรก
  - Part 6: ระบบส่งกำลัง
- ข้อกำหนดเบื้องต้น
  - Physics: ความสมดุลของร่างกายที่เข้มงวด การวิเคราะห์เวกเตอร์.
  - Applied mechanics: จลนศาสตร์ การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน
  - การเขียนแบบวิศวกรรม.





Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

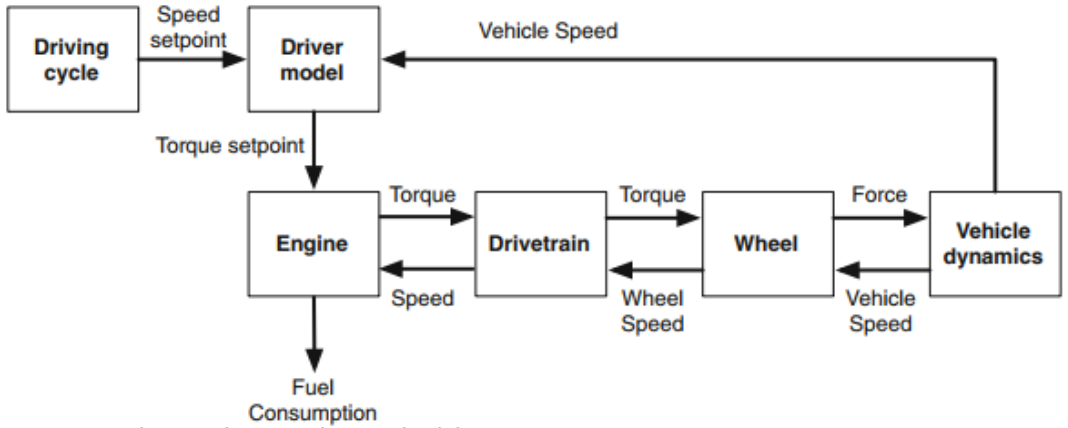
ไดนามิกตามยาวและการจำลองการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

ใน **Matlab/Simulink**

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

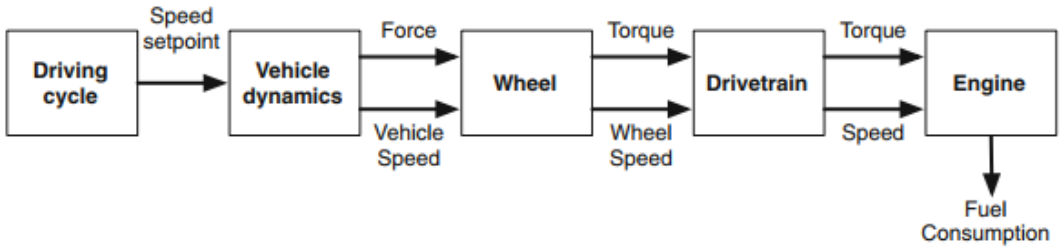
แนวทางการสร้างแบบจำลอง

Forward model



- Physical causality is held;
- ความเร็วรอบการขับขี่เทียบกับความเร็วรถจริง;
- รุ่นไดรเวอร์ (เช่น ตัวควบคุม PID) สร้างคำสั่งเบรกและคันเร่ง;
- คำสั่งจะถูกส่งไปยังบล็อกผู้ควบคุมที่รับผิดชอบในการสร้างจุดตั้งค่าแอคทูเอเตอร์.
- ความเบี่ยงเบนจากจุดกำหนดความเร็ว;
- ข้อ จำกัด ของระบบส่งกำลังถูกนำมาพิจารณา;
- มีประโยชน์ในการพัฒนากลยุทธ์การควบคุมออนไลน์;
- รวมโมเดลการขับขี่ได้.

Backward model



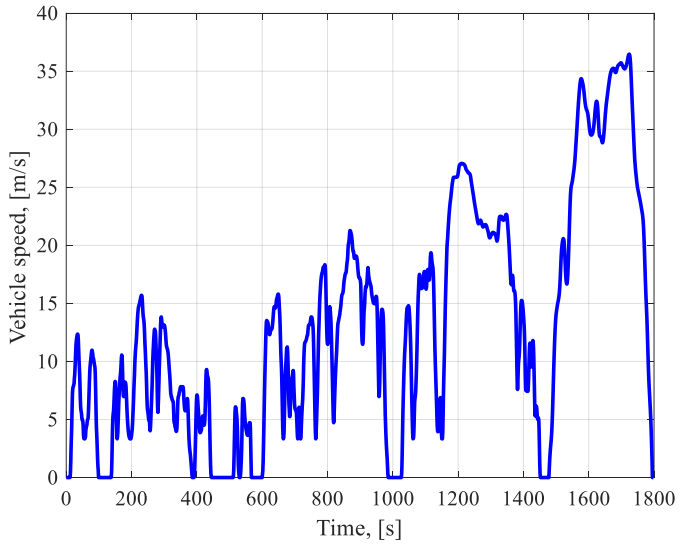
- ความเร็วที่ต้องการใช้ในการคำนวณอัตราเร่ง กำลังที่ระดับพื้น แรงและแรงบิด;
- ไม่จำเป็นต้องมีรุ่นไดรเวอร์;
- พิจารณาลักษณะแรงบิด/ความเร็วของส่วนประกอบระบบส่งกำลังต่างๆ เพื่อกำหนดสภาพการทำงานของเครื่องยนต์และการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง;
- ไม่พิจารณาข้อจำกัดของระบบส่งกำลัง;
- ความเร็วจริงจะเท่ากันทุกประการกับความเร็วที่ตั้งไว้;
- การวิเคราะห์เบื้องต้นของ EMS ที่แตกต่างกัน.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

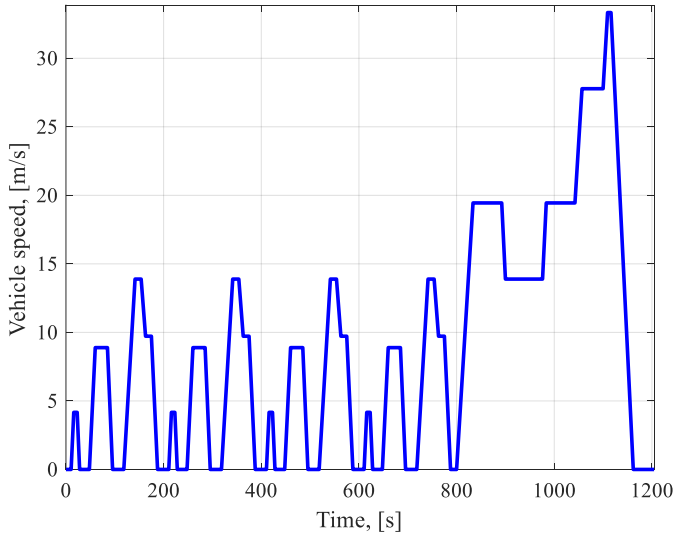
Source: Onori

Homologation Drive Cycle

ขั้นตอนการทดสอบยานพาหนะขนาดเล็กที่กลมกลืนกันทั่วโลก (WLTP)

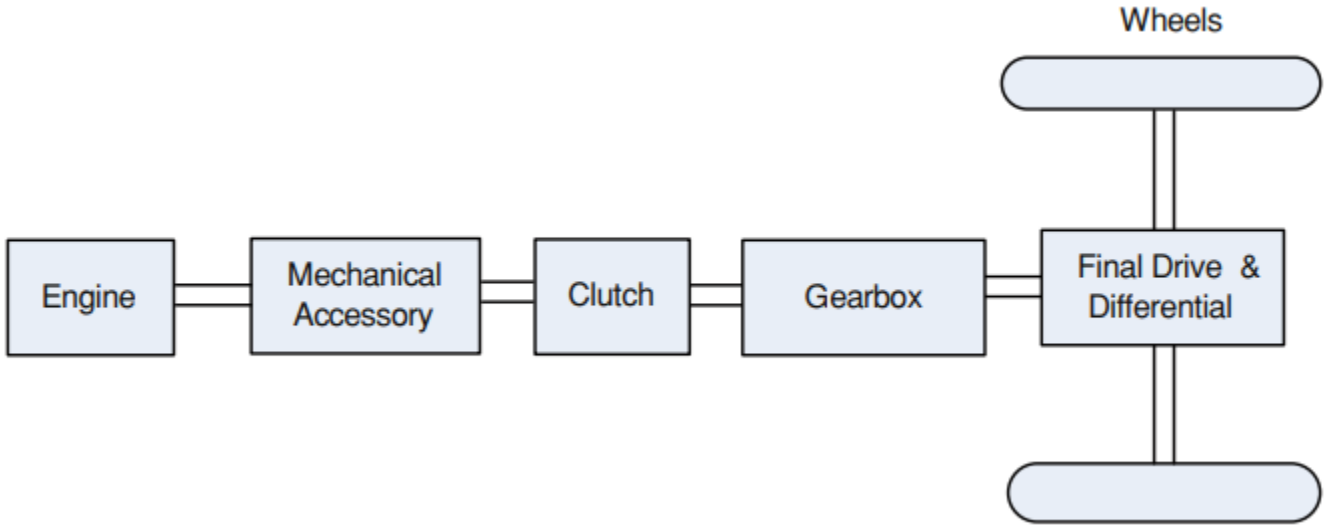


วงจรการขับขี่แบบใหม่ของยุโรป



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

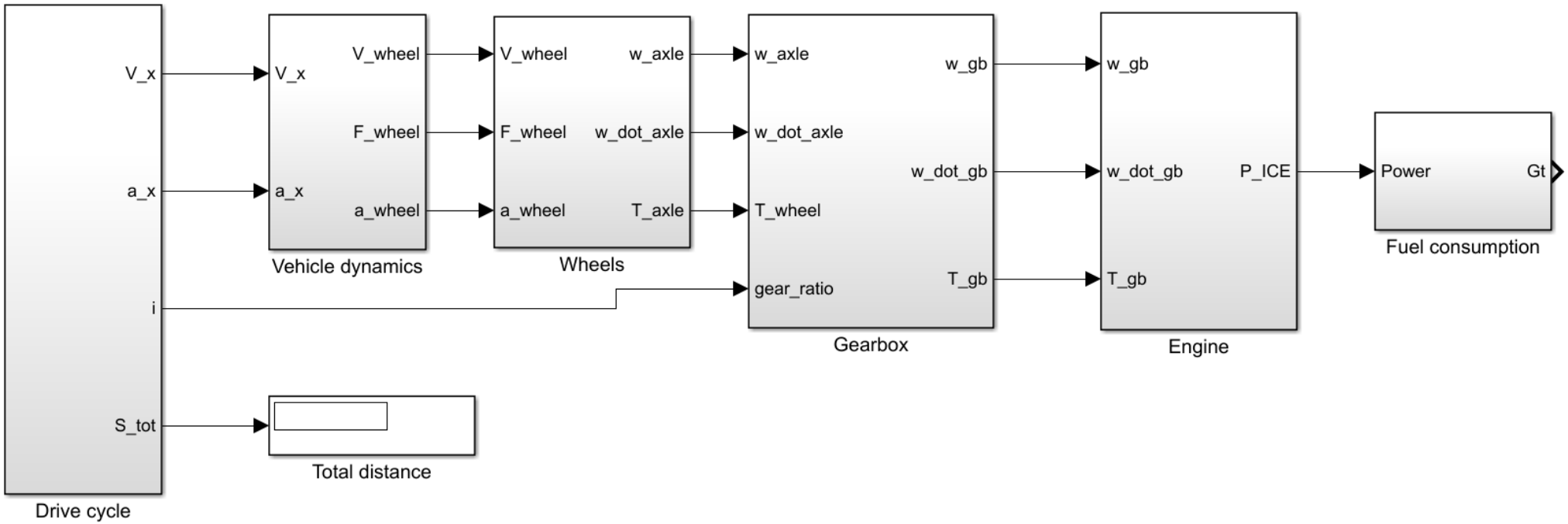
โมเดลไดนามิกตามยาวของรถยนต์



Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

รุ่น Simulink ของรถ (ถอยหลัง)

The QSS-toolbox 2.0.1 (Mozilla Public License, v. 2.0.)

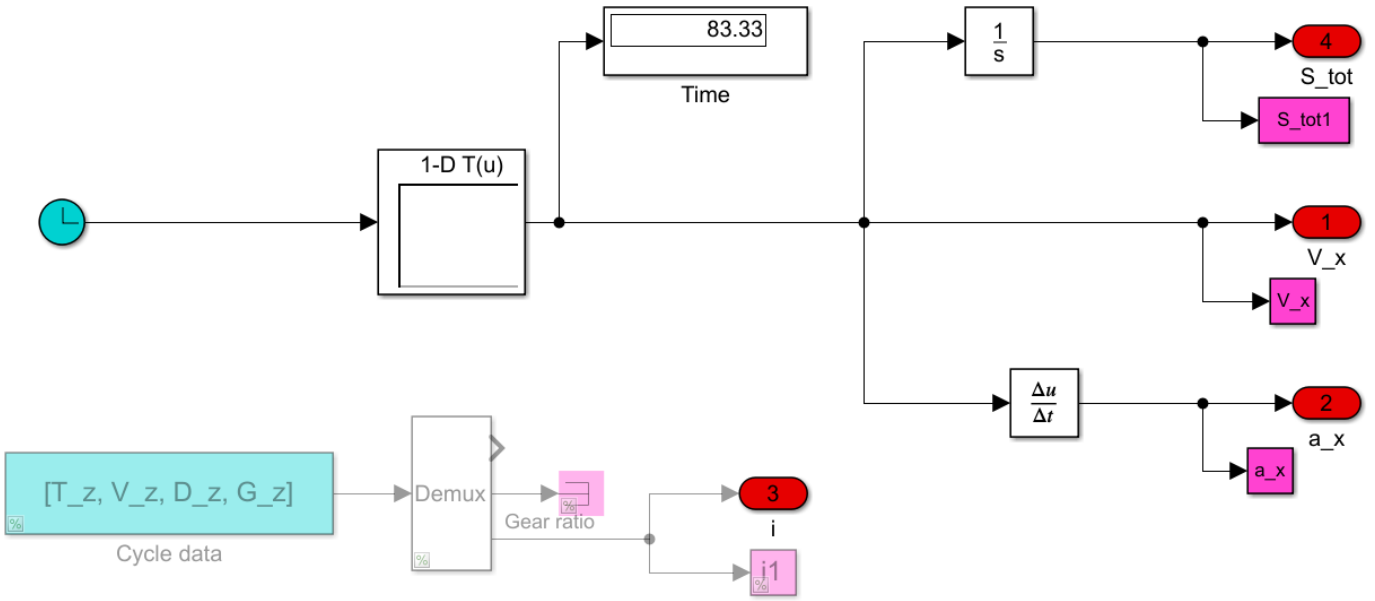


Source: https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mavt/dynamic-systems-n-control/idsc-dam/Research_Onder/Downloads/qss.zip

Source: Guzella

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

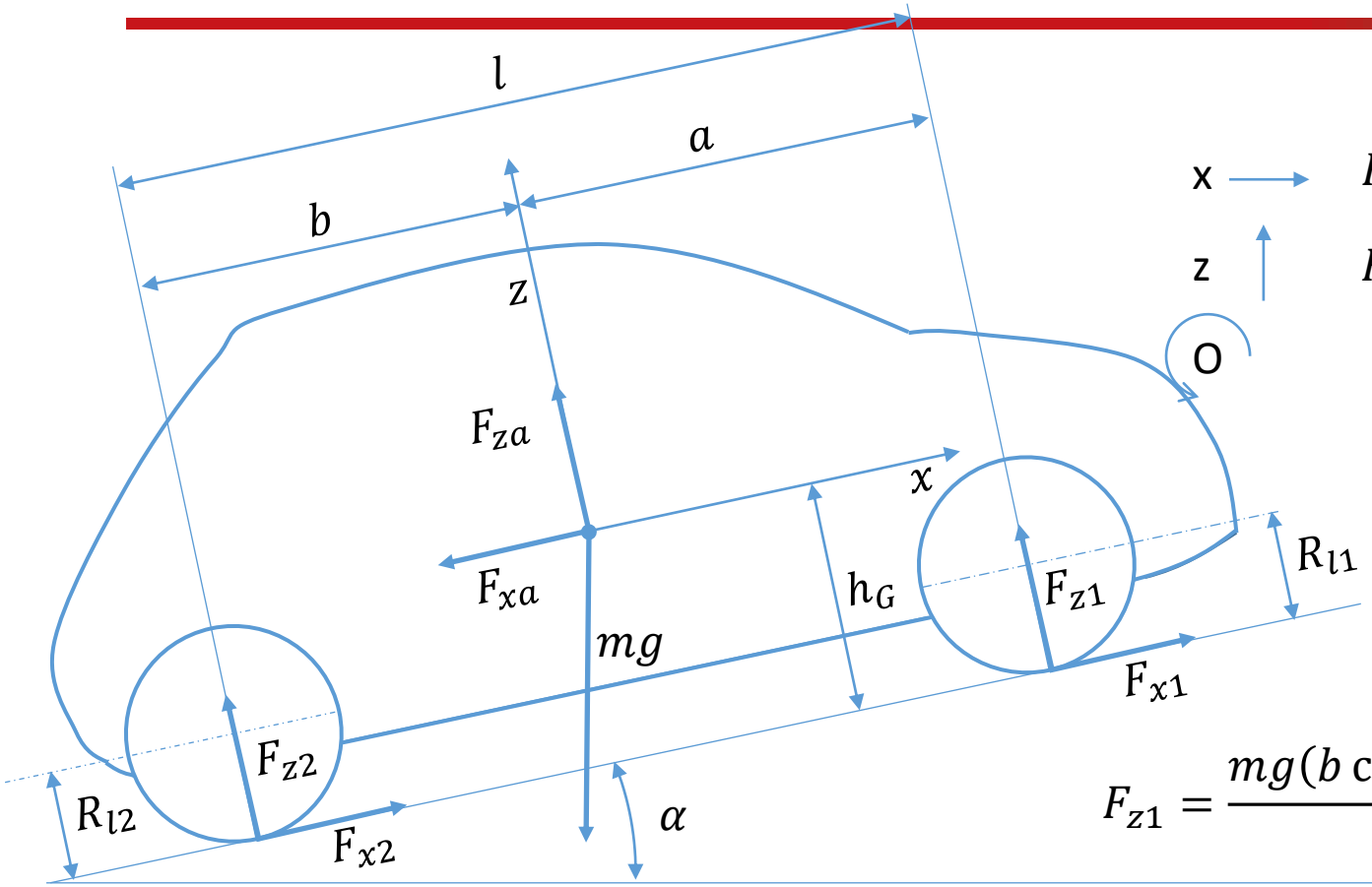
วงจรขับ



$$a_x(t) = dV_x/dt \qquad S_x(t) = \int V_x dt$$

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

ไดนามิกตามยาวของยานพาหนะ



x → $F_{x1} + F_{x2} - F_{xa} - mg\sin\alpha = m\dot{V}$

z ↑ $F_{z1} + F_{z2} + F_{za} - mg\cos\alpha = 0$

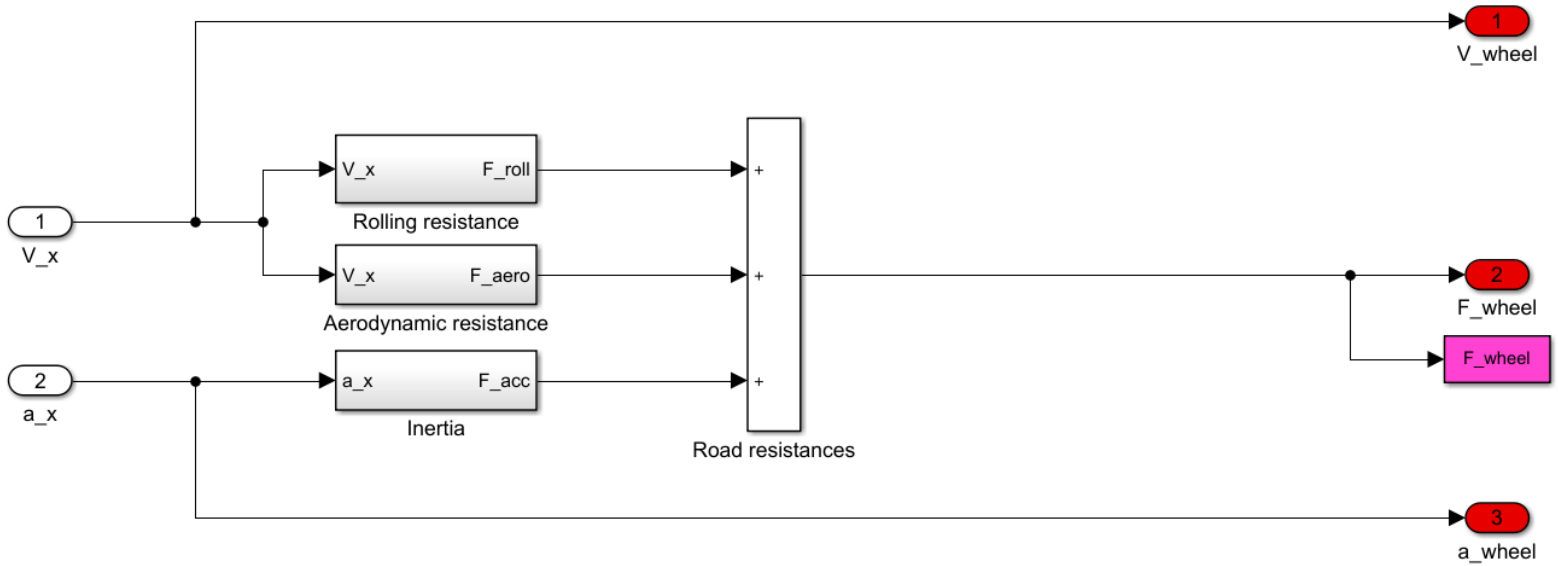
$F_{z1}a - F_{z2}b + mg\sin\alpha\, h_G + F_{xa}h_G - M_{ya} = -mh_G\dot{V}$

$$F_{z1} = \frac{mg(b\cos\alpha - h_G\sin\alpha) - bF_{za} - h_GF_{xa} + M_{ya} - mh_G\dot{V}}{l}$$

$$F_{z2} = \frac{mg(a\cos\alpha + h_G\sin\alpha) - aF_{za} + h_GF_{xa} - M_{ya} + mh_G\dot{V}}{l}$$

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

บล็อกไดนามิกของยานพาหนะ



$$F_{\text{roll}} = M \cdot g \cdot f_{\text{r}}$$

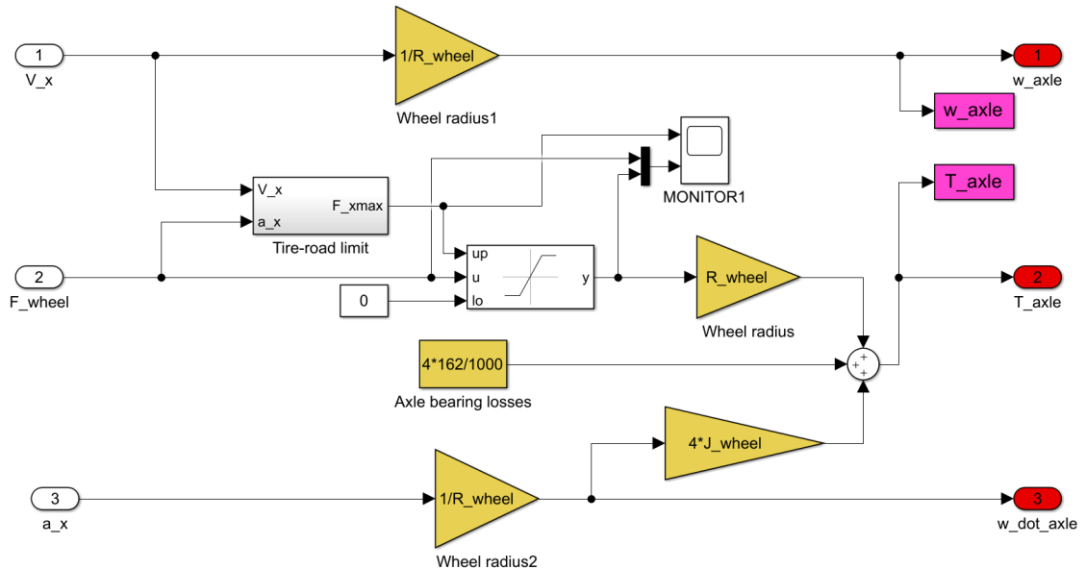
$$F_{\text{acc}} = M \cdot a_{\text{x}}$$

$$F_{\text{aero}} = 0.5 \cdot \rho \cdot C_{\text{x}} \cdot A_{\text{f}} \cdot V_{\text{x}}^2$$

$$F_{\text{res}} = F_{\text{roll}} + F_{\text{aero}} + F_{\text{acc}}$$

Co
Erasmus+ Programme
of the European Union

บล็อกล้อ (ยาง)



$$\omega_{\text{wheel}} = \frac{V_x}{R_{\text{wheel}}}$$

$$\dot{\omega}_{\text{wheel}} = \frac{a_x}{R_{\text{wheel}}}$$

$$T_{\text{wheel}} = F_{\text{wheel}} \cdot R_{\text{wheel}}$$

Wheel inertia

$$T_{\text{axle}} = 4 \cdot J_{\text{wheel}} \cdot \dot{\omega}_{\text{wheel}} + T_{\text{wheel}}$$

Road –tire Limitations:

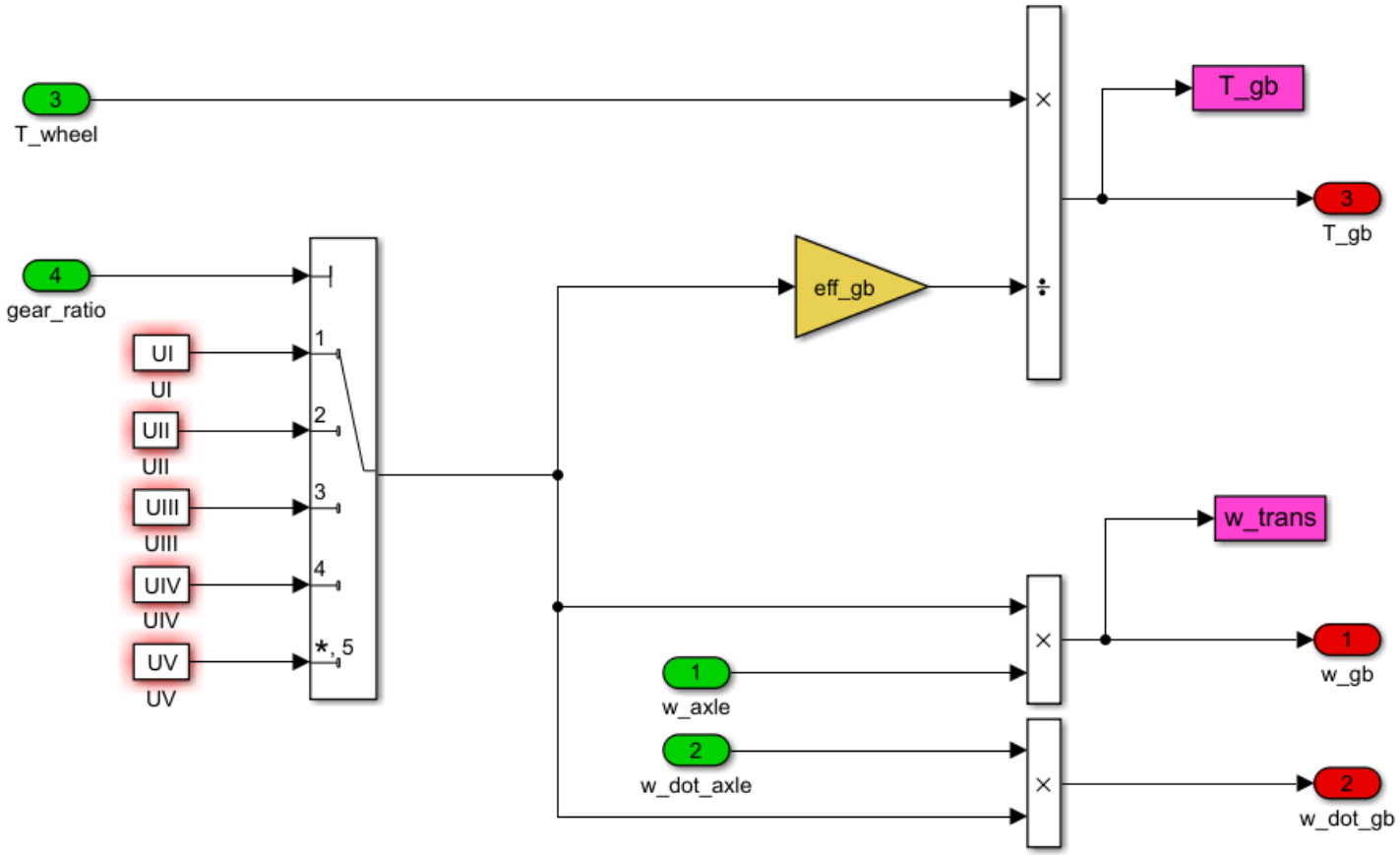
$$F_{z.\text{front}} = (M \cdot g \cdot b - M \cdot a_x \cdot h_G - 0.5 \cdot \rho \cdot A_f \cdot V_x^2 \cdot (h_G \cdot C_x - L \cdot C_{My} + b \cdot C_z))/L$$

$$F_x = F_z \cdot \mu_x$$

$$F_{z.\text{rear}} = (M \cdot g \cdot a + M \cdot a_x \cdot h_G - 0.5 \cdot \rho \cdot A_f \cdot V_x^2 \cdot (-h_G \cdot C_x + L \cdot C_{My} + a \cdot C_z))/L$$

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

กระปุกเกียร์ (เกียร์)



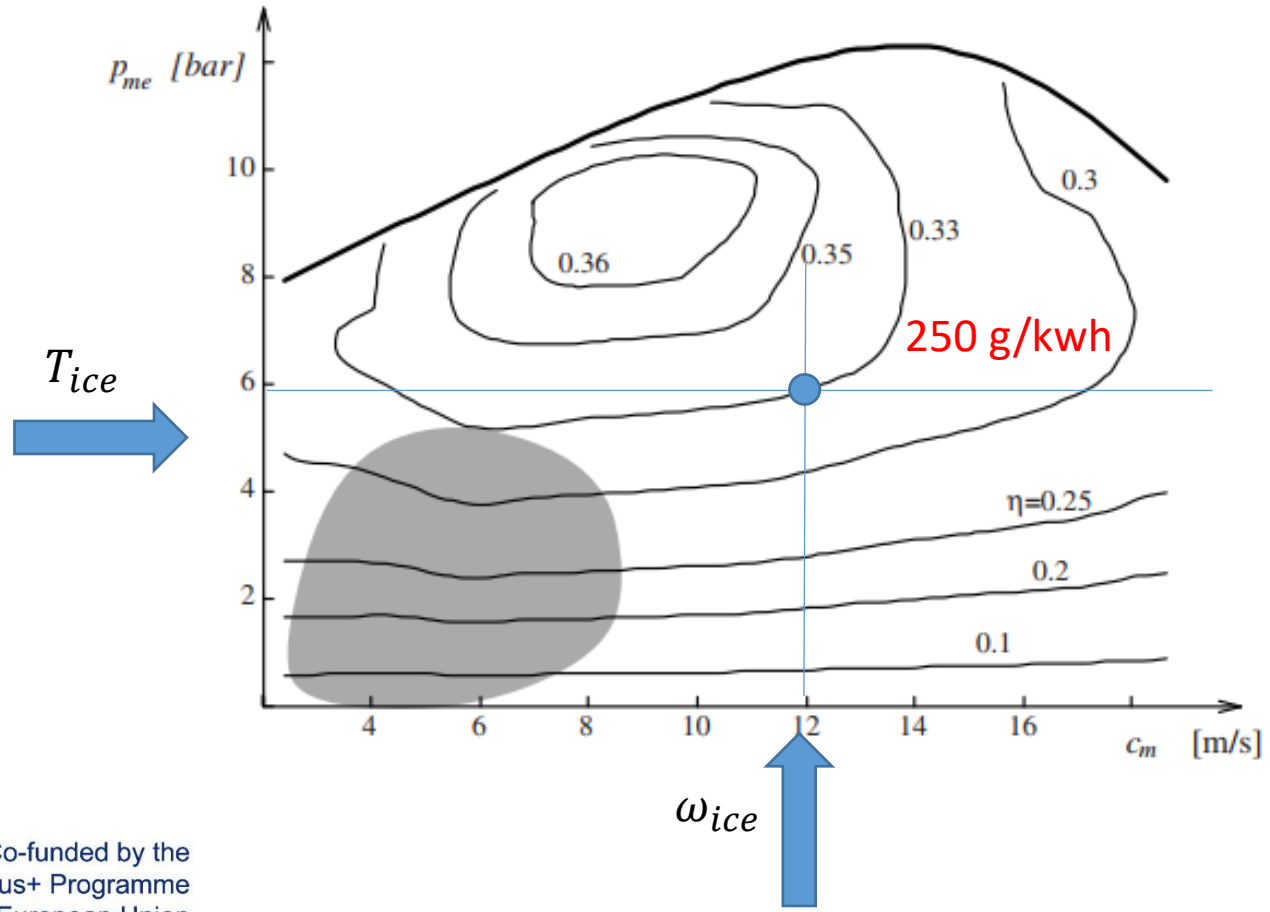
$$T_{\mathrm{gb}} = \frac{T_{\mathrm{axle}}}{i_{\mathrm{gb}} \cdot \eta_{\mathrm{gb}}}$$

$$\omega_{\mathrm{gb}} = \omega_{\mathrm{axle}} \cdot i_{\mathrm{gb}}$$

$$\dot{\omega}_{\mathrm{gb}} = \dot{\omega}_{\mathrm{axle}} \cdot i_{\mathrm{gb}}$$

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

ลักษณะเครื่องยนต์: เส้นชั้นความสูงอย่างมีประสิทธิภาพ



$$p_{me} = \frac{T_{ice}\, 4\pi}{V_d}$$ ICE mean effective pressure

$$p_{fuel} = \frac{m_f\, H_u}{V_d}$$ Fuel mean effective pressure

$$\eta_{ice} = \frac{p_{me}}{p_{fuel}}$$

H – lower heating value of the fuel, [J/kg]

$$m_f = \frac{4\,\pi\, T_{ice}}{H_u\, \eta_{ice}}$$

fuel consumption per engine cycle

$$q = P_{ice}\, g_{ice}\ , \text{[g/s]}$$

$$Q = \int q\, dt\ , \text{[g]}$$

$$g_{ice} = f(T_{ice}, \omega_{ice}), \text{[g/kwh]}$$

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

การจำลองไดนามิกของเบรก

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

การเบรก – กรณีในอุดมคติ

$$\frac{dV}{dt} = \frac{F_{x1} + F_{x2} - F_{xa} - mg\sin\alpha}{m}$$

$$\mu_{x1} = \mu_{x2} = \mu_{xmax}$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\mu_x\left(mg - \frac{1}{2}\rho C_z S V^2\right) - \frac{1}{2}\rho C_x S V^2}{m} - g\sin\alpha$$

If $V \cong 0$ and $\alpha = 0$ $\quad \boxed{\dot{V} = -|\mu_x|g}$ (พบแล้วในการศึกษาพลวัตตามยาว)

$$t_{V1\to V2} = \frac{V_1 - V_2}{|\mu_x|g} \qquad s_{V1\to V2} = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2|\mu_x|g}$$

$$t_{stop} = \frac{V_1}{|\mu_x|g} \qquad s_{stop} = \frac{V_1^2}{2|\mu_x|g}$$

เวลาและระยะทางในการลดความเร็วจาก V_1 เป็น V_2 หรือเพื่อหยุดรถจาก V_1. ($V_1 > V_2$)

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Source: Genta

การเบรกในอุดมคติ - แรงตามยาวของยาง

If $V \cong 0$ and $\boxed{\dot{V} = \mu_x \mathrm{g}}$

$$F_{z1} = \frac{mg(b\cos\alpha - h_G \sin\alpha) - mh_G\dot{V}}{l}$$

$$F_{z2} = \frac{mg(a\cos\alpha + h_G \sin\alpha) + mh_G\dot{V}}{l}$$

$$F_{x1} = \mu_x F_{z1} = \mu_x \frac{mg}{l}[b\cos\alpha - h_G\mu_x]$$

$$F_{x2} = \mu_x F_{z2} = \mu_x \frac{mg}{l}[a\cos\alpha + h_G\mu_x]$$

$$F_{z1} = \frac{mg}{l}[(b\cos\alpha - h_G \sin\alpha) - h_G\mu_x]$$

$$F_{z2} = \frac{mg}{l}[(a\cos\alpha + h_G \sin\alpha) + h_G\mu_x]$$

เล็กเมื่อเทียบกับคำอื่นๆ

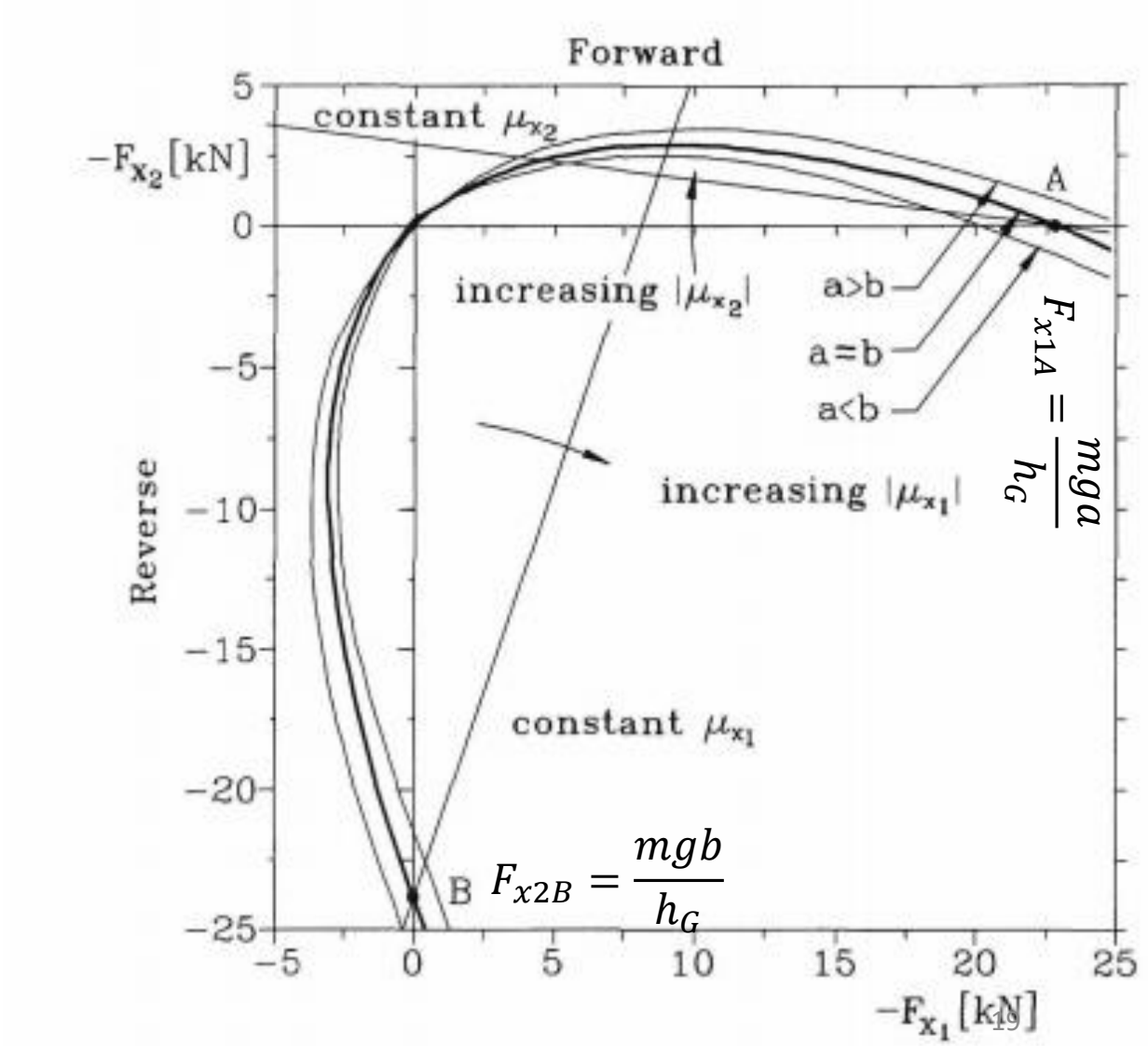
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

การเบรกในอุดมคติ – กำลังของยาง

$$F_{x1} = \mu_x F_{z1} = \mu_x \frac{mg}{l}[b\cos\alpha - h_G\mu_x]$$

$$F_{x2} = \mu_x F_{z2} = \mu_x \frac{mg}{l}[a\cos\alpha + h_G\mu_x]$$

$$(F_{x1} + F_{x2})^2 + mg\cos^2\alpha\left(F_{x1}\frac{a}{h_G} - F_{x2}\frac{b}{h_G}\right) = 0$$



เบรกในอุดมคติ

$$\alpha = 0 \qquad \frac{dV}{dt} = \frac{F_{x1} + F_{x2}}{m} \qquad \frac{dV}{dt} = \frac{F_{x1} + F_{x2} - F_{xa} - mg\sin\alpha}{m}$$

$$F_{x1} = \mu_{x1}\frac{mg(b\cos\alpha - h_G\sin\alpha) - h_G(F_{x1} + F_{x2})}{l}$$

$$F_{x1} = \mu_{x1}\frac{mgb - h_G(F_{x1} + F_{x2})}{l}$$

$$F_{x1} = \mu_{x1}\frac{mgb - h_G F_{x2}}{\left(1 + \mu_{x1}\frac{h_G}{l}\right)l}$$

$F_{x1} = 0$ if $F_{x2} = \frac{mgb}{h_G}$ ขีด จำกัด ของการพลิกคว่ำ ระหว่างการเบรกแบบถอยหลัง

$$F_{x2} = \mu_{x2}\frac{mg(a\cos\alpha + h_G\sin\alpha) + h_G(F_{x1} + F_{x2})}{l}$$

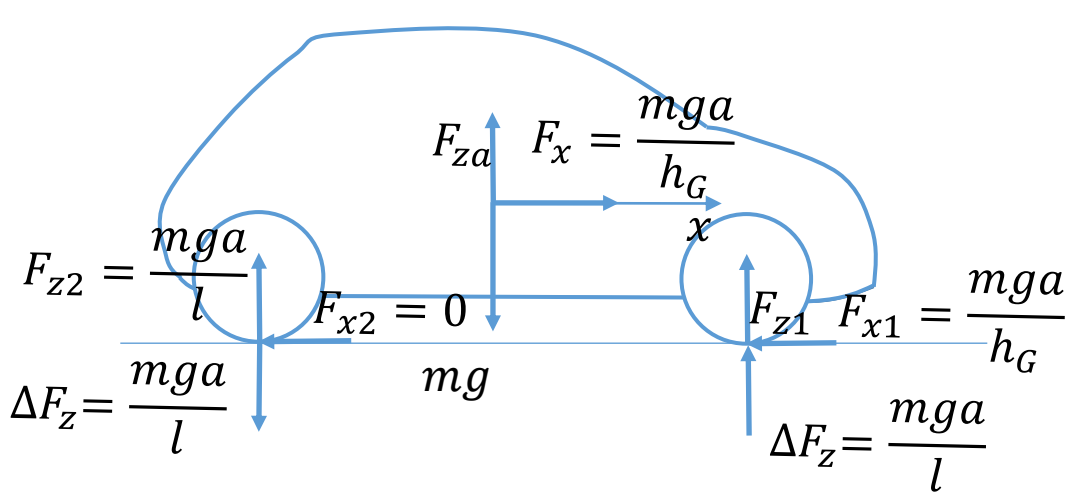
$$F_{x2} = \mu_{x2}\frac{mga - h_G(F_{x1} + F_{x2})}{l}$$

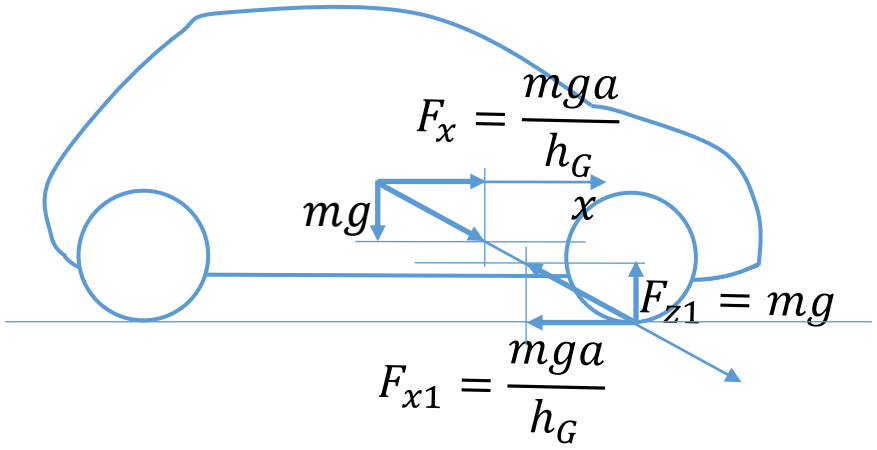
$$F_{x2} = \mu_{x2}\frac{mga - h_G F_{x1}}{\left(1 + \mu_{x2}\frac{h_G}{l}\right)l}$$

$F_{x2} = 0$ if $F_{x1} = \frac{mga}{h_G}$ ขีด จำกัด ของการพลิกขณะเบรกไปข้างหน้า

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

การเบรกในอุดมคติ – ขีดจำกัดการพลิกคว่ำ



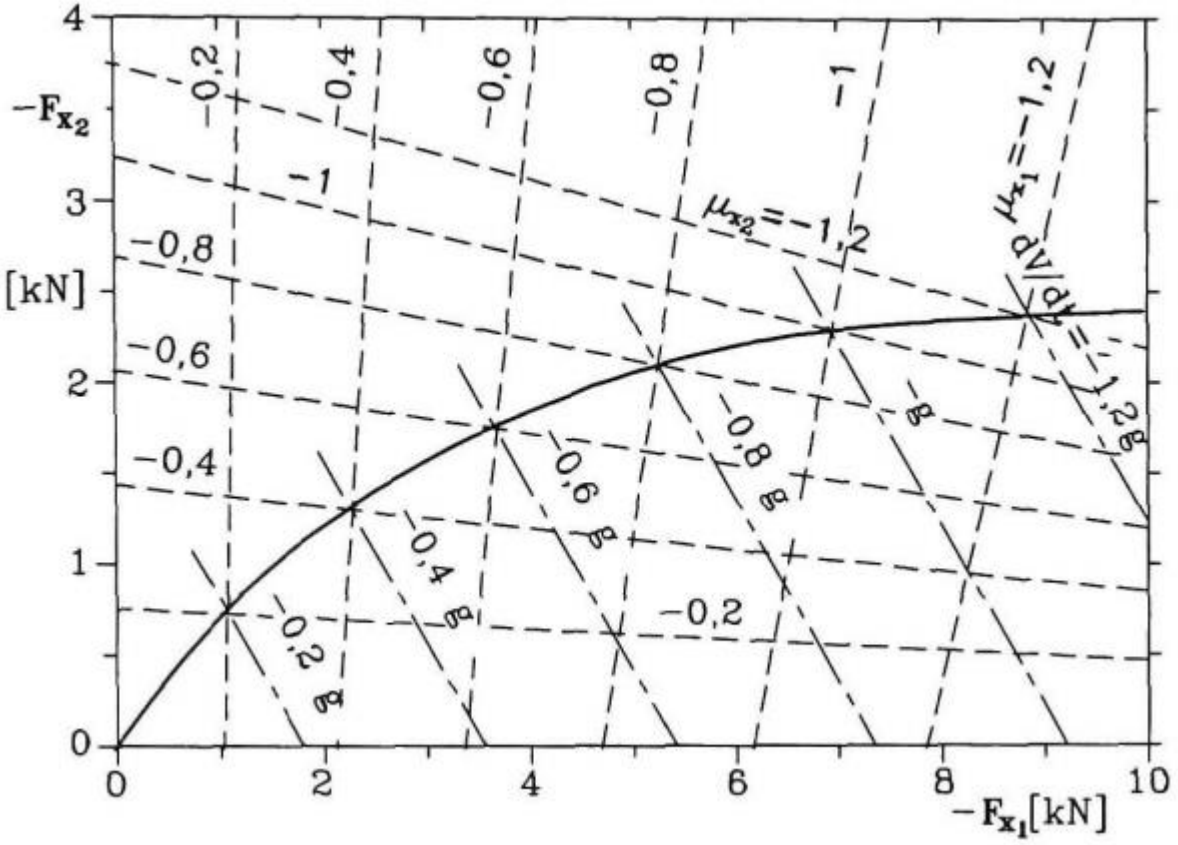


$F_{x1} = 0$ if $F_{x2} = \frac{mgb}{h_G}$ ขีด จำกัด ของการพลิกคว่ำ ระหว่างการเบรกแบบถอยหลัง

$F_{x2} = 0$ if $F_{x1} = \frac{mga}{h_G}$ ขีด จำกัด ของการพลิกขณะเบรกไปข้างหน้า

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

เบรกในอุดมคติ



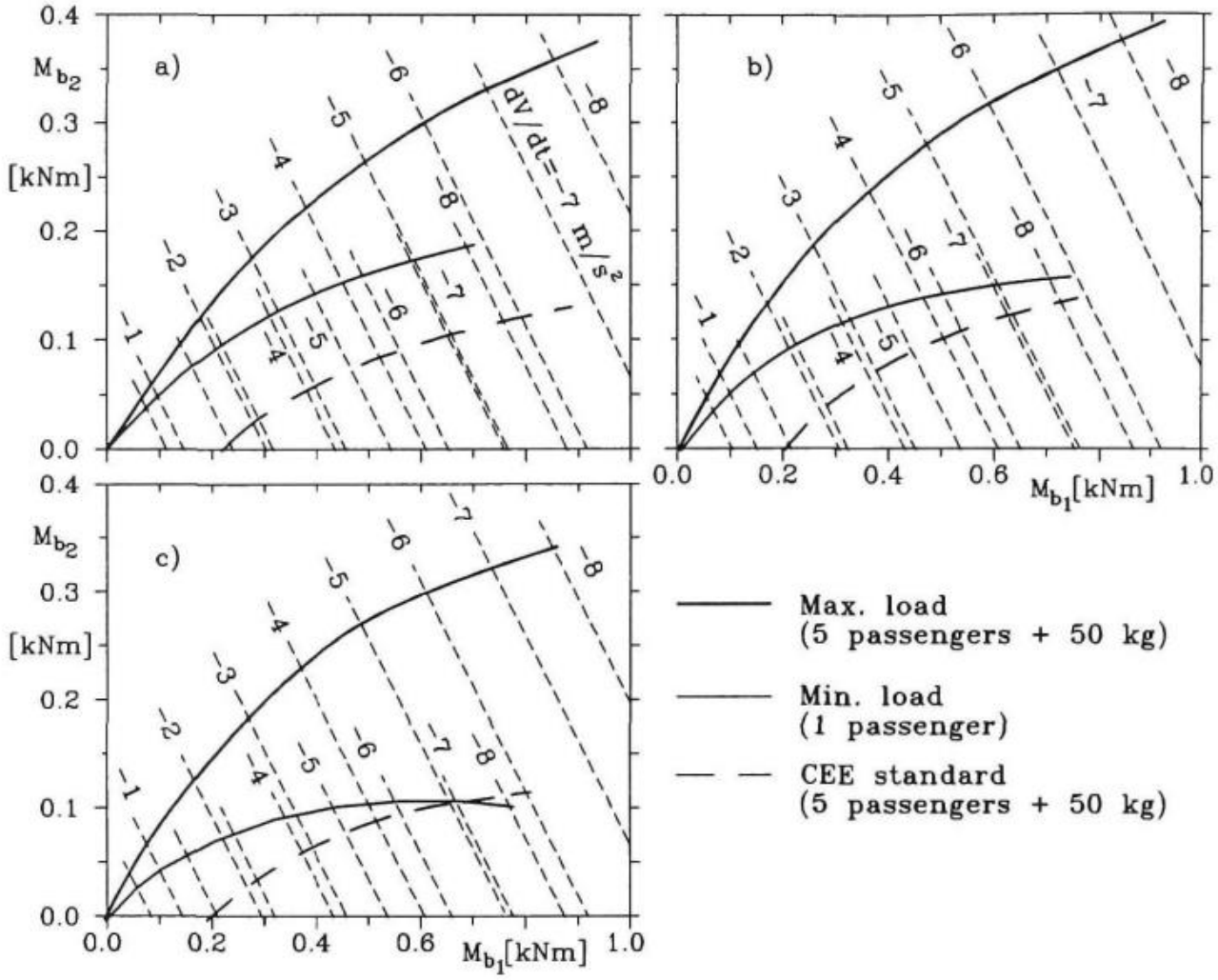
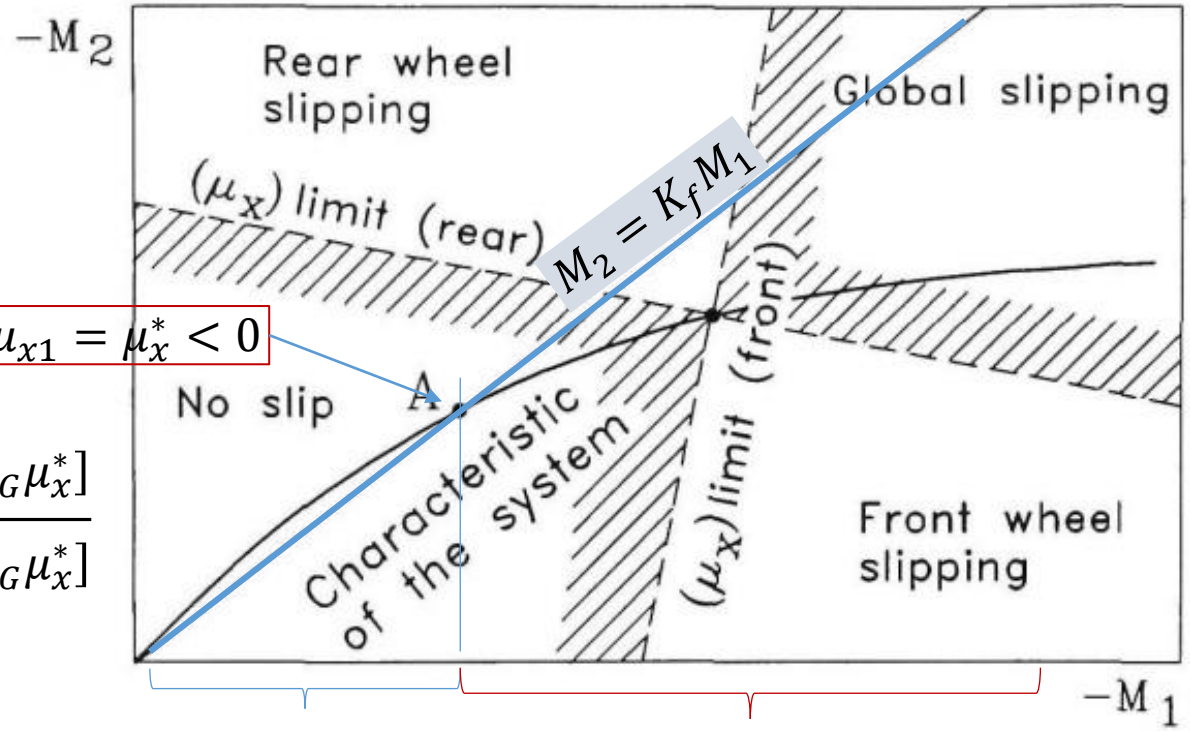


Fig. 4.29 Plots $M_{b_2}(M_{b_1})$ for ideal braking. (a) typical plot for a rear drive car with low ratio h_G/l; (b) typical plot for a front drive saloon car with higher ratio h_G/l; (c) plot for a small front drive car, sensitive to the load conditions and with high value of ratio h_G/l.

Source: Genta

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

เบรกจริงกับเบรกในอุดมคติ



$\mu_{x2} = \mu_{x1} = \mu_x^* < 0$

$$K_f \cong \frac{F_{x1}}{F_{x2}} = \frac{\mu_x^* \frac{mg}{l}[b + h_G\mu_x^*]}{\mu_x^* \frac{mg}{l}[a - h_G\mu_x^*]}$$

$$K_f \cong \frac{[b + h_G\mu_x^*]}{[a - h_G\mu_x^*]}$$

$$\eta_f = \frac{\dot{V}_{actual}}{\dot{V}_{ideal}} = \frac{\dot{V}_{actual}}{\mu_x g}$$

$\mu_{x2} < \mu_{x1}$

ล็อคล้อหน้าก่อน

(ปลอดภัยกว่า)

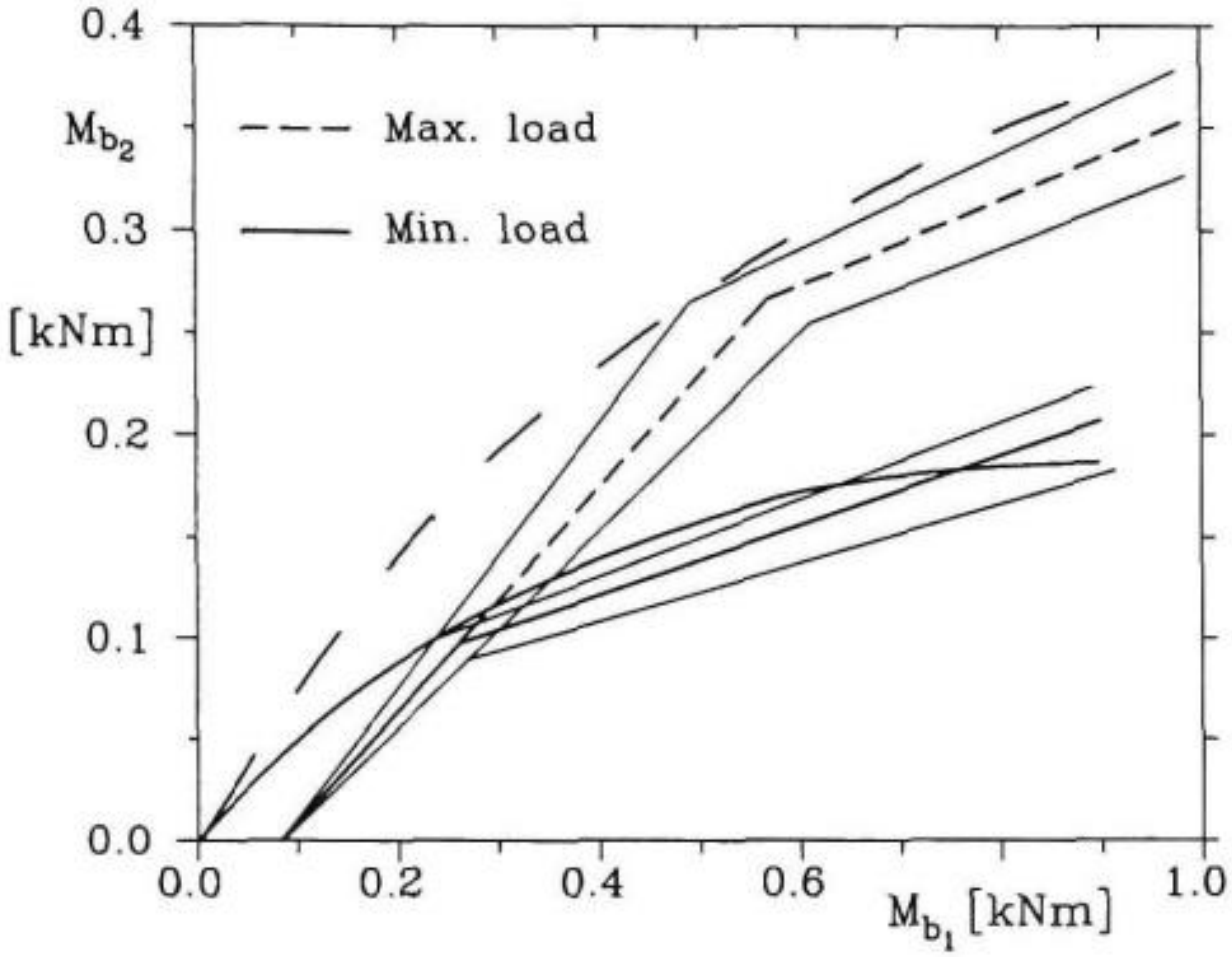
$\mu_{x2} > \mu_{x1}$

ล็อคล้อหลังก่อนหน้านี้

(ไม่ปลอดภัย)

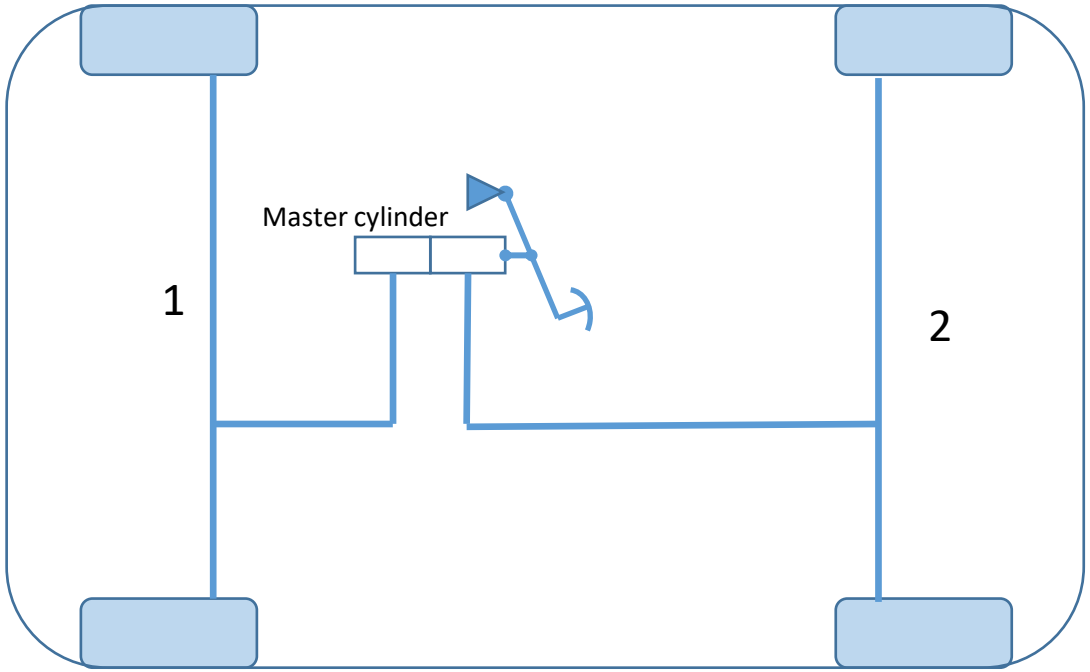
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

เบรกหลังควบคุมโดยวาล์ว

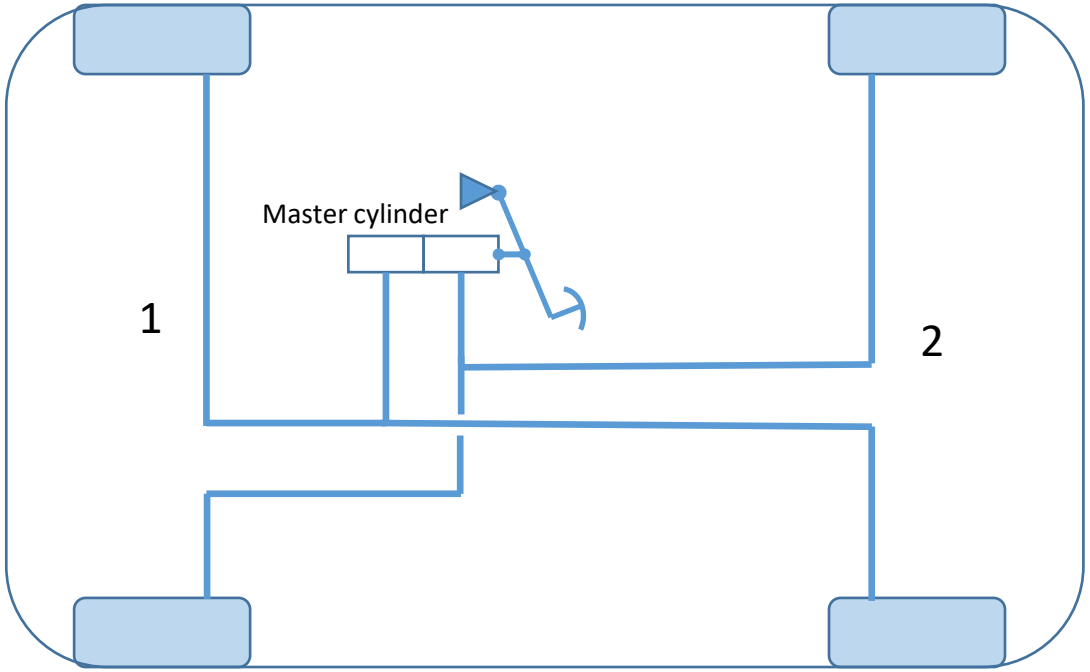


Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

เบรกหลังควบคุมโดยวาล์ว



แยกหน้า/หลัง

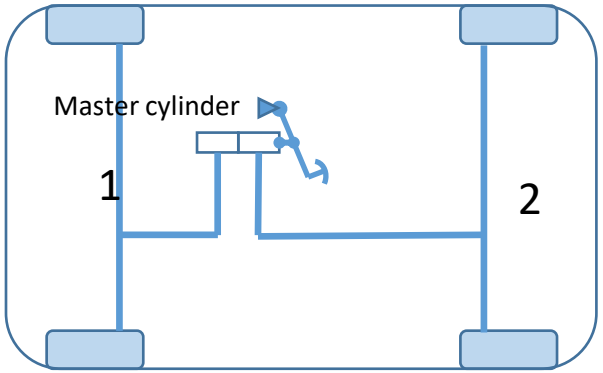


รอยแยกในแนวทแยง

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

วงจรเบรค

แยกหน้า/หลัง



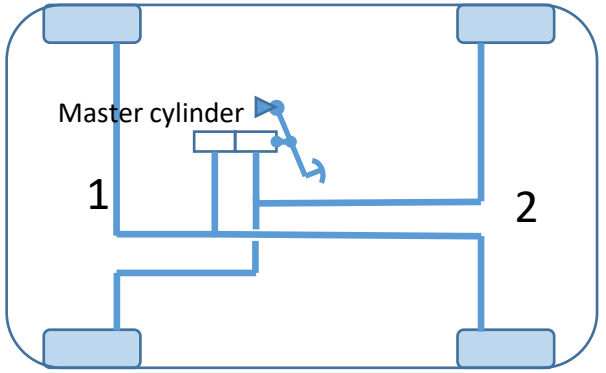
ข้อดี

- แยกแรงบิดเบรกหน้า/หลังอย่างง่าย
- การเชื่อมต่อไฮดรอลิกที่ง่ายกว่า

ข้อเสีย

- อาจสูญเสียเสถียรภาพของรถหากวงจรด้านหน้ามีปัญหา

รอยแยกในแนวทแยง



ข้อดี

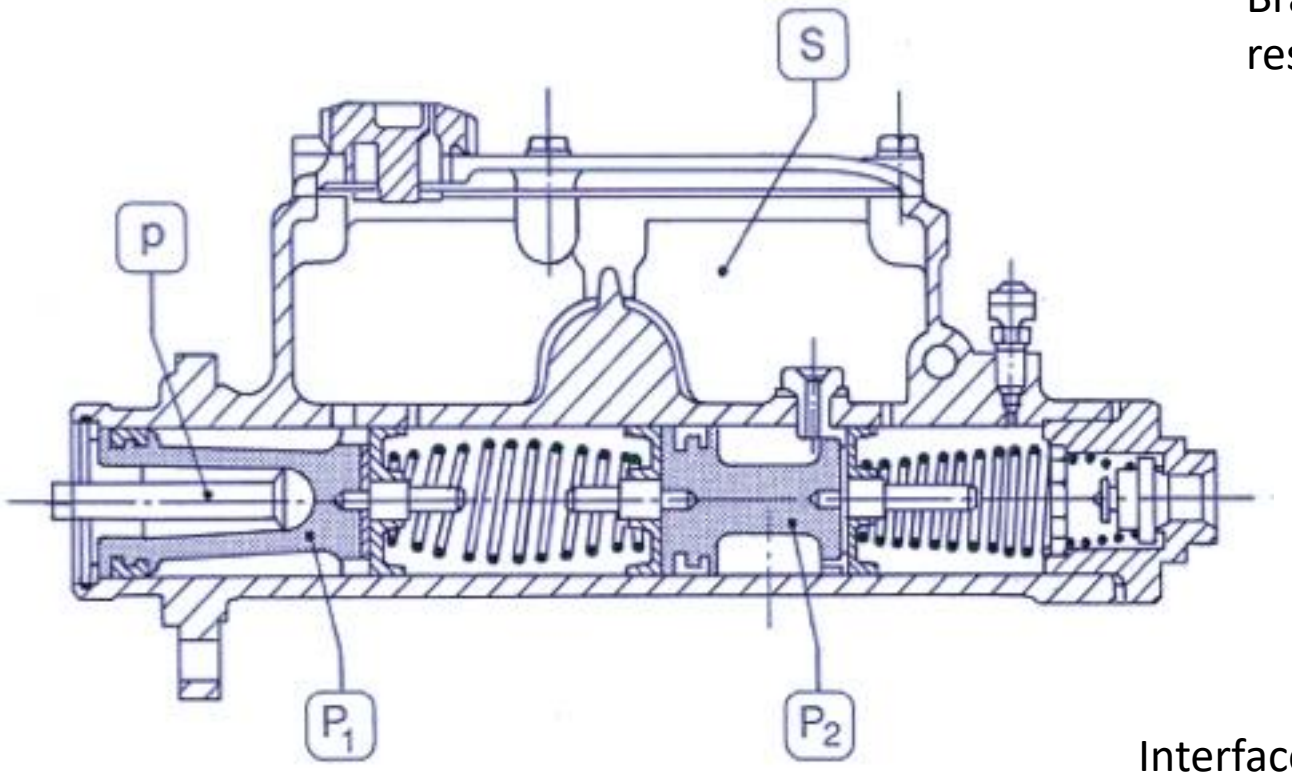
- เสถียรภาพที่ดีขึ้นในกรณีที่เกิดความล้มเหลวของวงจรเดียว

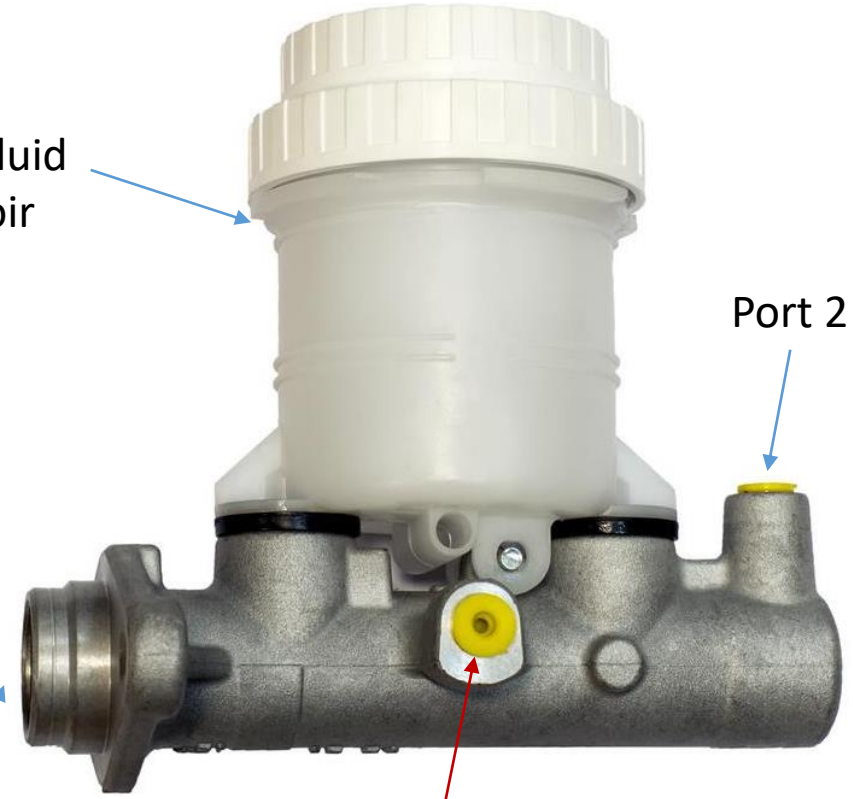
ข้อเสีย

- วงจรไฮดรอลิกที่ซับซ้อนมากขึ้น
- แรงบิดของเบรกแยกจากการออกแบบเบรก.

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

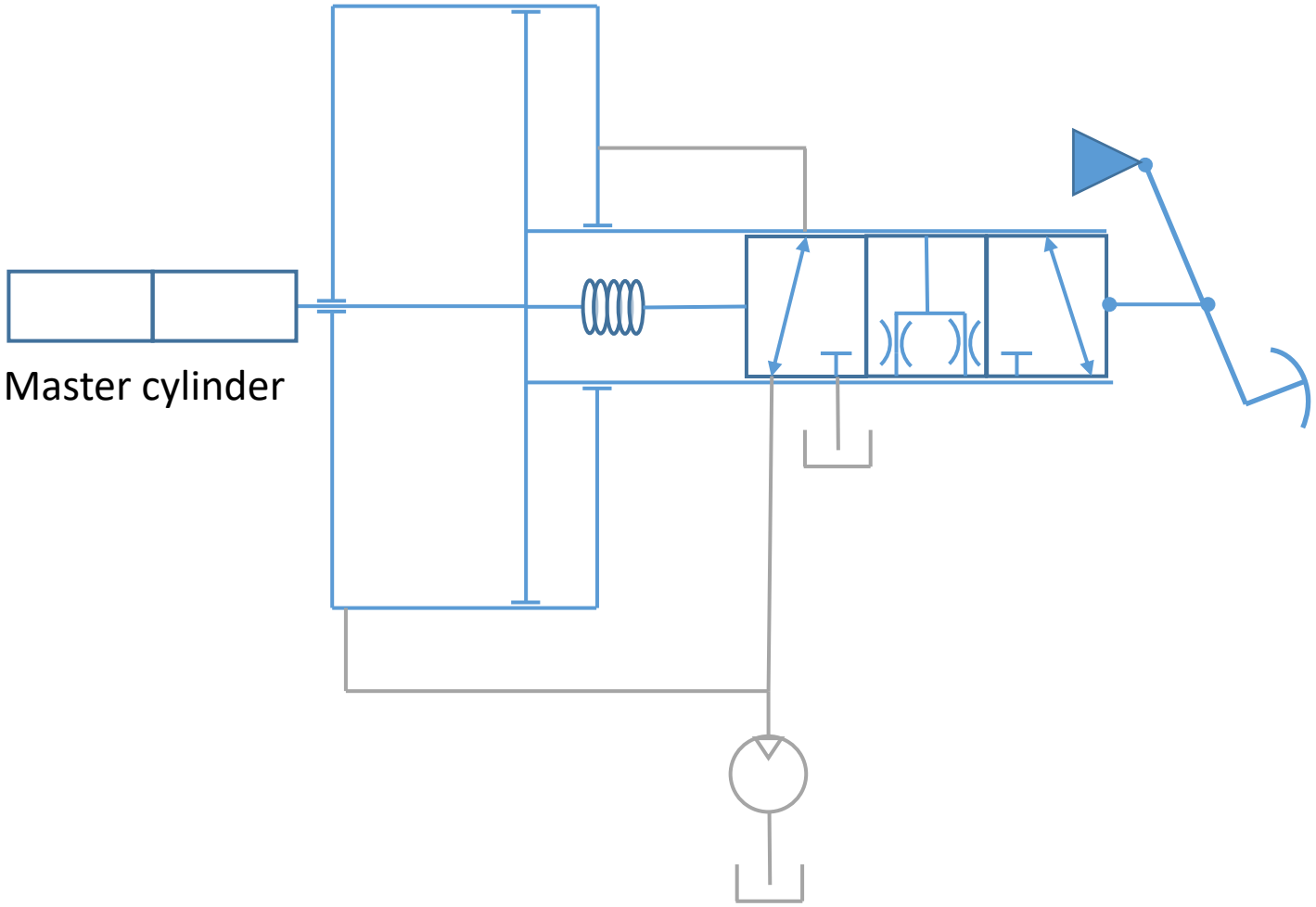
Master cylinder





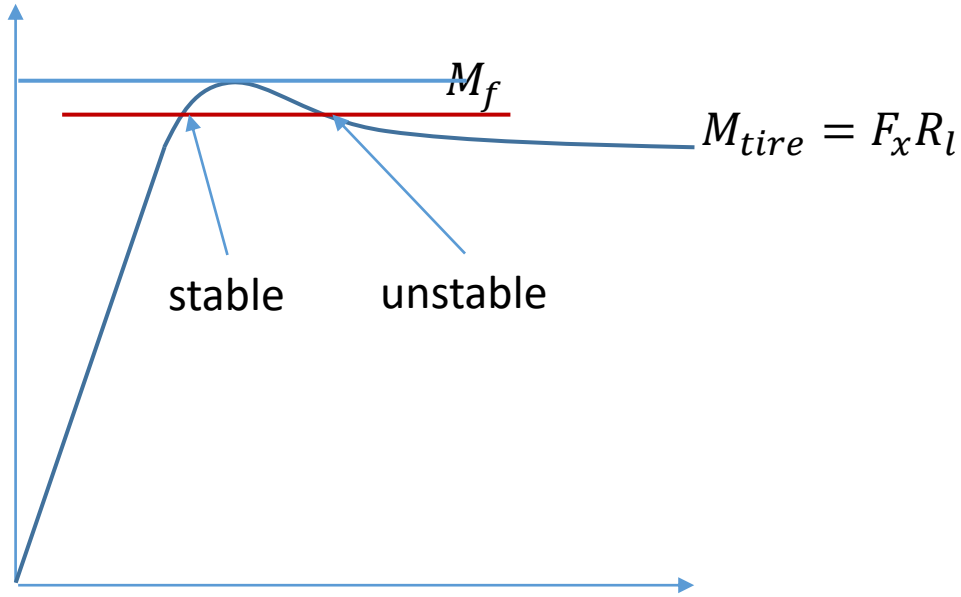
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

เบรกไฟฟ้า - แผนผัง



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

ระบบเบรกป้องกันล้อล็อก (ABS)



$\mu_{xmax} = 1.2$
$\sigma = 0.2$
$R_0 \cong R_l = 0.3\ m$
$F_z = 4\ kN$
$I_{wheel} = 1\ kg\ m^2$

บริเวณที่มั่นคง: การเร่งความเร็วเชิงมุมของล้อสูงสุดเป็นไปตามยานพาหนะ

$$\dot{V} = \mu_{xmax} g$$

$$\dot{V} = R\dot{\omega}$$

$$\dot{V} = \frac{R_0 \dot{\omega}}{1+\sigma}$$

$$\dot{\omega} = \frac{\mu_{xmax} g(1+\sigma)}{R_0}$$

$$\dot{\omega} = 47 \frac{rad}{s^2}$$

บริเวณที่ไม่เสถียร: การเร่งความเร็วเชิงมุมของล้อมาจากสมดุลไดนามิก

$$I_{wheel}\dot{\omega} = M_f - M_{tire}$$

If, for example

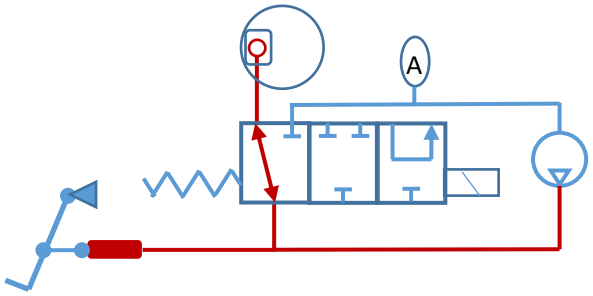
$$M_f = \mu_{xmax} F_z R_l$$
$$M_{tire} = 0.8\, \mu_{xmax} F_z R_l$$

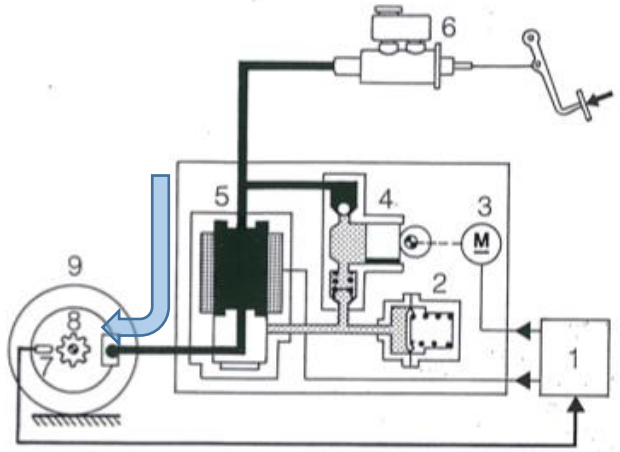
$$\dot{\omega} = \frac{0.2\, \mu_{xmax} F_z R_l}{I_{wheel}}$$

$$\dot{\omega} = 288 \frac{rad}{s^2}$$

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

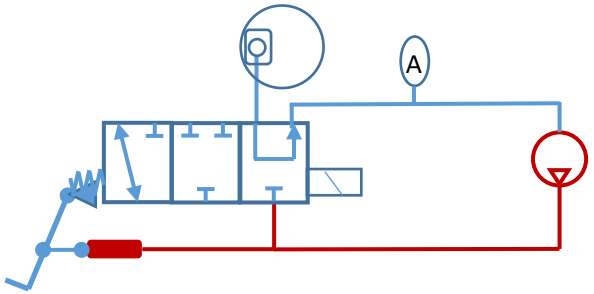
ABS

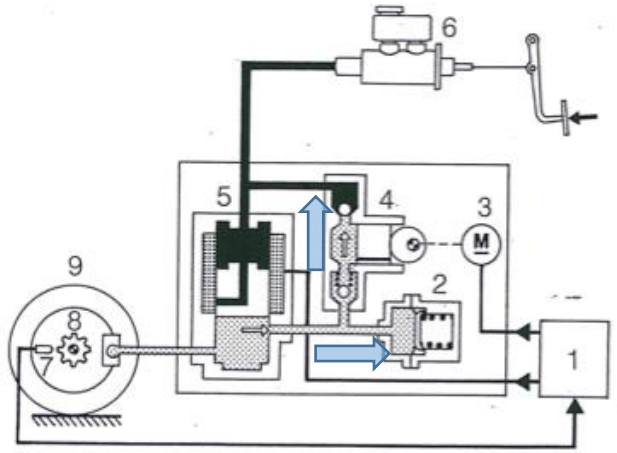




Off

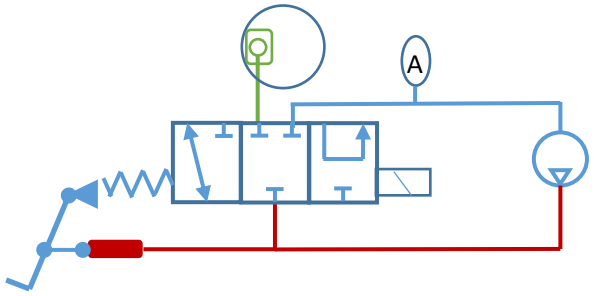
แรงดันกระบอกสูบหลักจะขยายไปยังเบรก

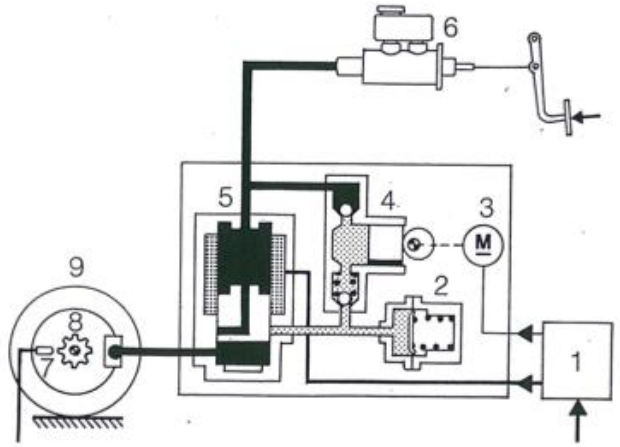




Reduce

กระบอกสูบหลักแยกออกจากเบรก
เบรกเชื่อมต่อกับตัวสะสม (2)
น้ำมันเบรกถูกสูบ (4) ไปทางด้าน
แรงดันสูงเพื่อคืนปริมาตรที่สูญเสียไป





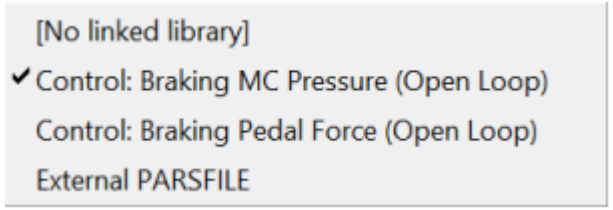
Hold

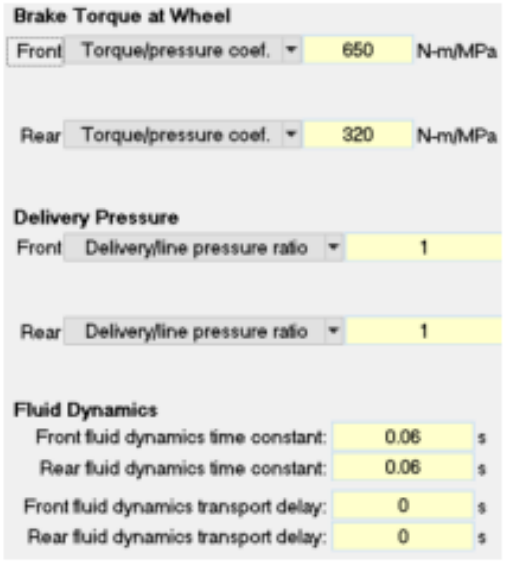
กระบอกสูบหลักแยกออกจากเบรก
ตัวสะสมถูกแยกออก (2)
ปั๊มปิด (4)

Source: Bosch

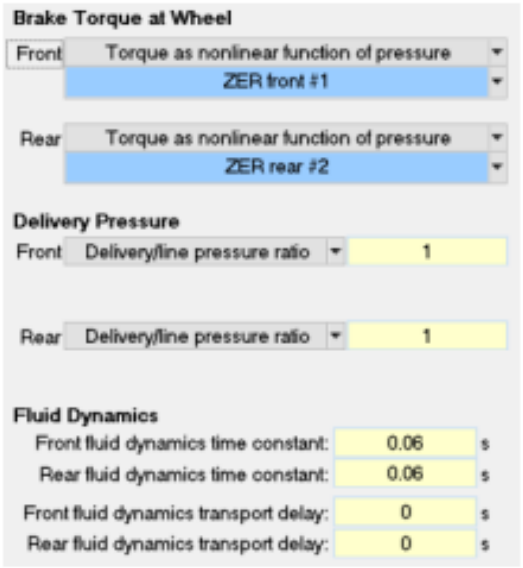
การจำลองเบรก CarSim

หน้าต่าง CarSim ให้เลือกรุ่นแรงขณะเบรก





การประยุกต์ใช้แรงบิดเบรกคงที่



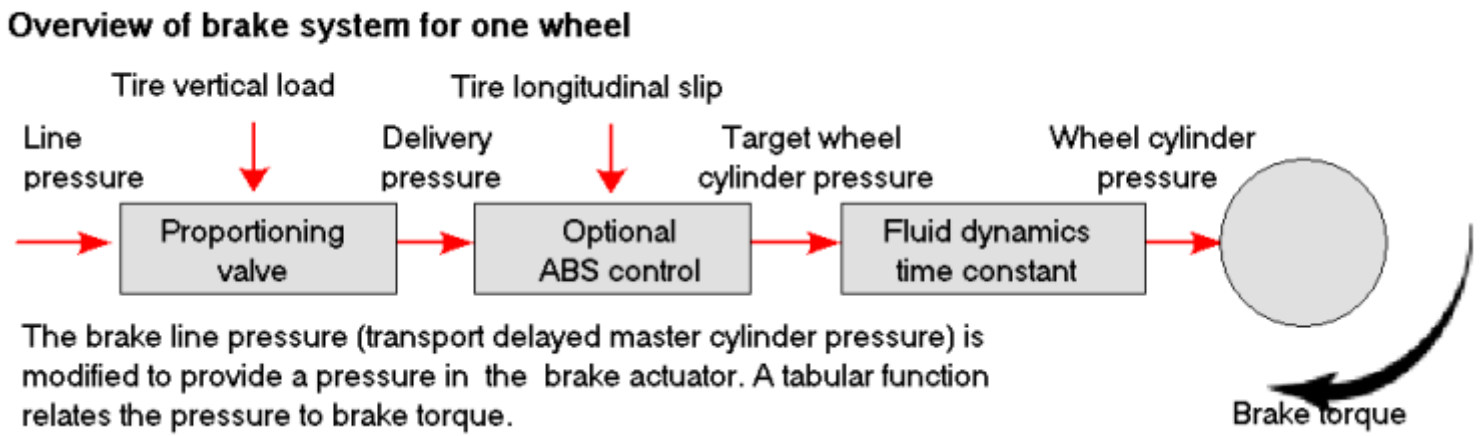
การประยุกต์ใช้แรงบิดเบรกแบบแปรผัน

M1[Nm]	M2[Nm]
0	0
-45,481935	-30,9950967
-93,07931	-63,4318258
-142,94323	-97,4131611
-195,23953	-133,052122
-246,52527	-147,49692
-302,40433	-163,23544
-360,82335	-179,689348
-421,95954	-196,908554
-486,00697	-214,947721
-553,17866	-233,866849

ค่าแรงบิดเบรกที่แกนหน้าและหลัง

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

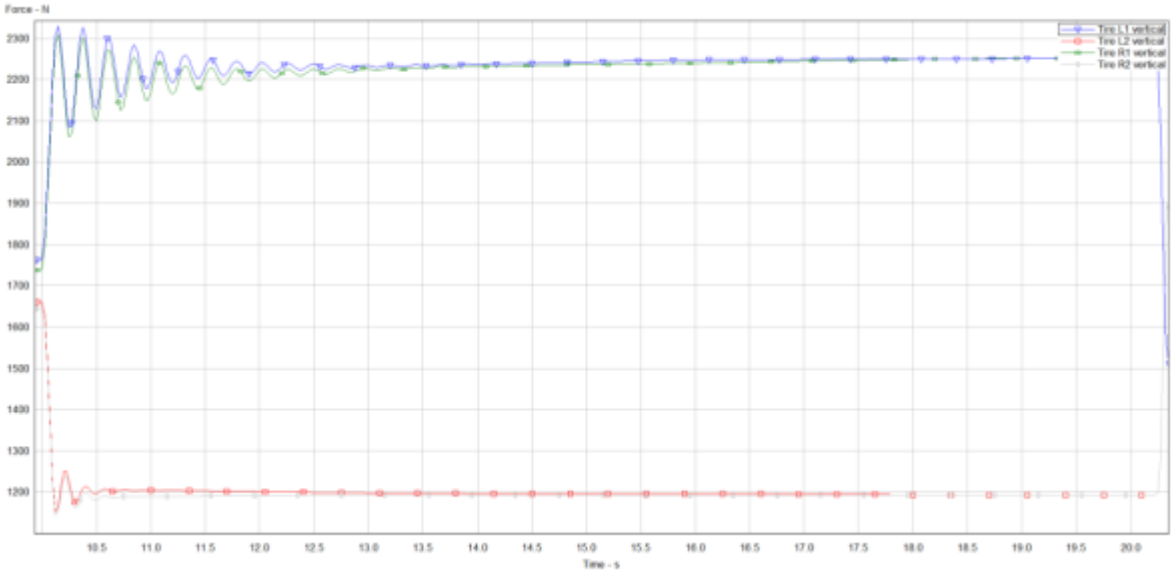
การจำลองเบรก CarSim



หลักการทำงานของ CarSim เทียบกับระบบเบรก

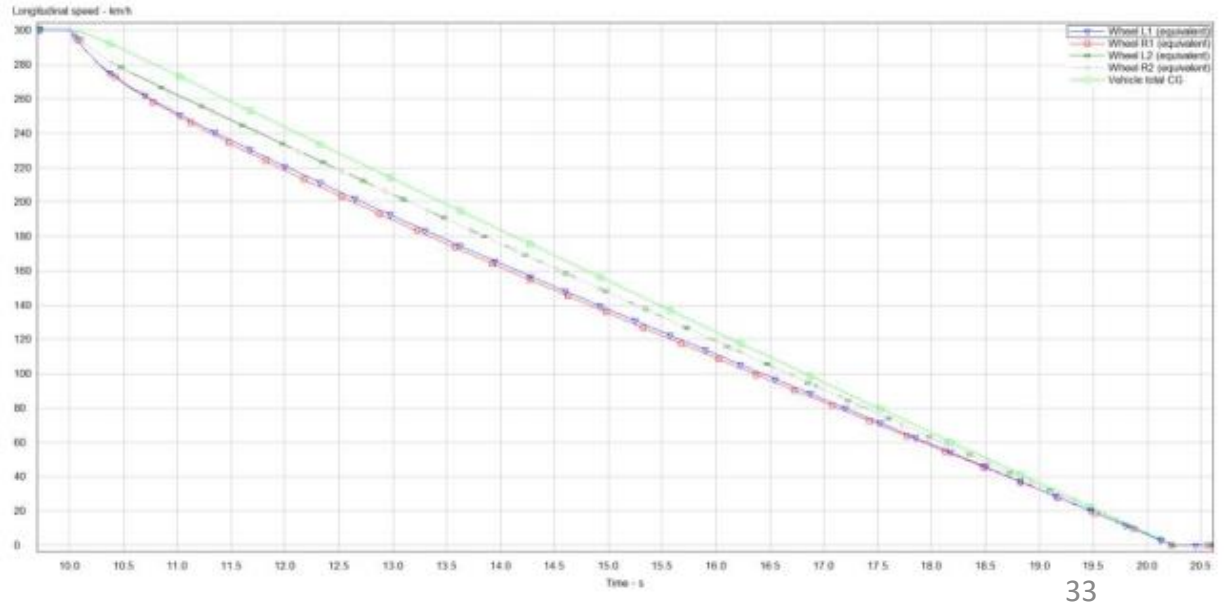
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

การจำลองเบรก CarSim



แรงตามยาวบนยาง

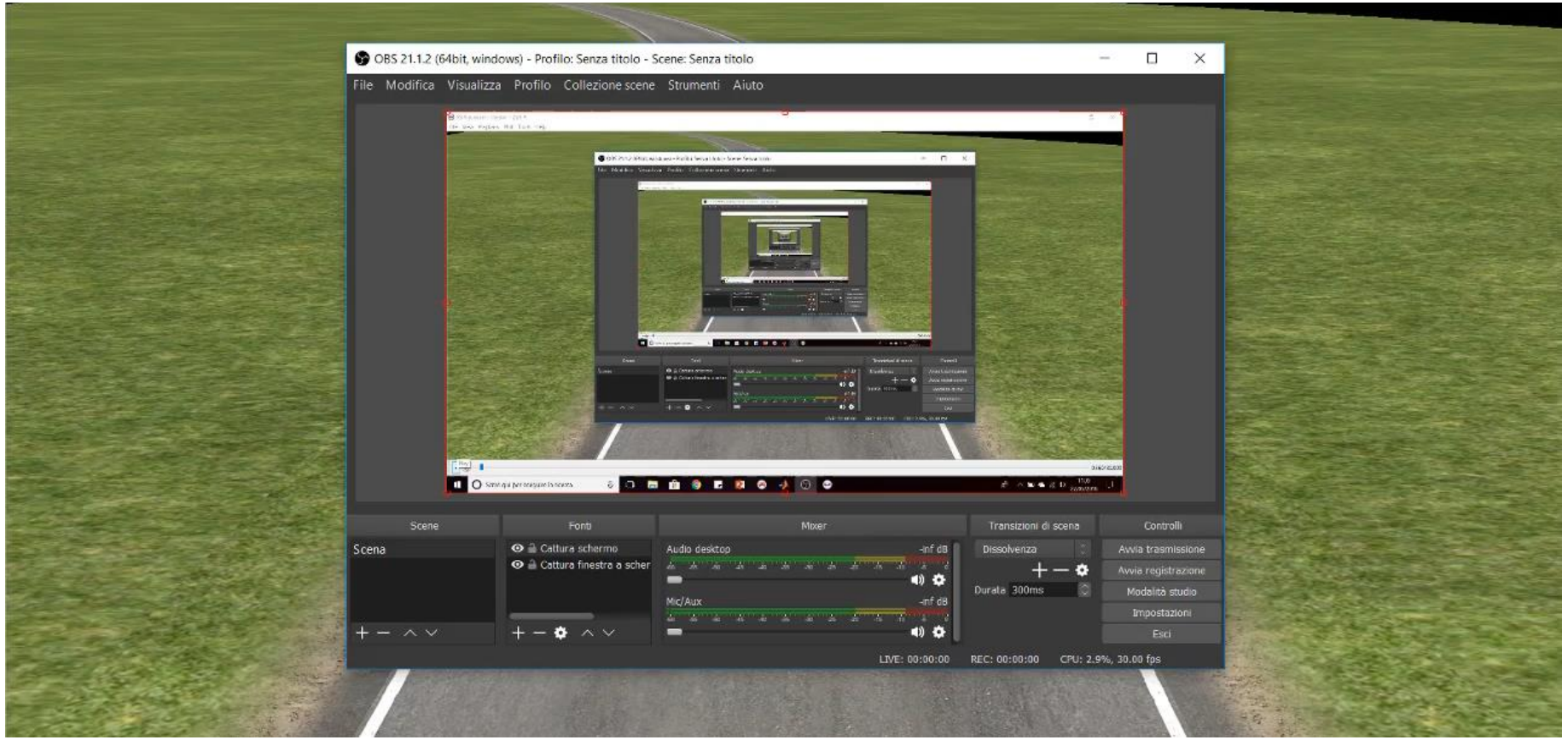
ผลจากการเบรกแบบตรง (ครั้ง)



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

วิดีโอจำลองการซ้อมรบเบรก

เบรกรถยนต์จาก 300 กม./ชม. จนถึงหยุดเต็มที่ที่สนามทดสอบ Nardo



รถเริ่มเบรกหลังจาก 10 วินาที

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

ช่อง 4 และ 5: ไดนามิกแนวตั้ง

- ไดนามิกแนวตั้งของยานพาหนะ
- รัฐของศิลปะของระบบลดแรงสั่นสะเทือนแบบพาสซีฟกึ่งแอคทีฟและแอคทีฟ
- Roll motion

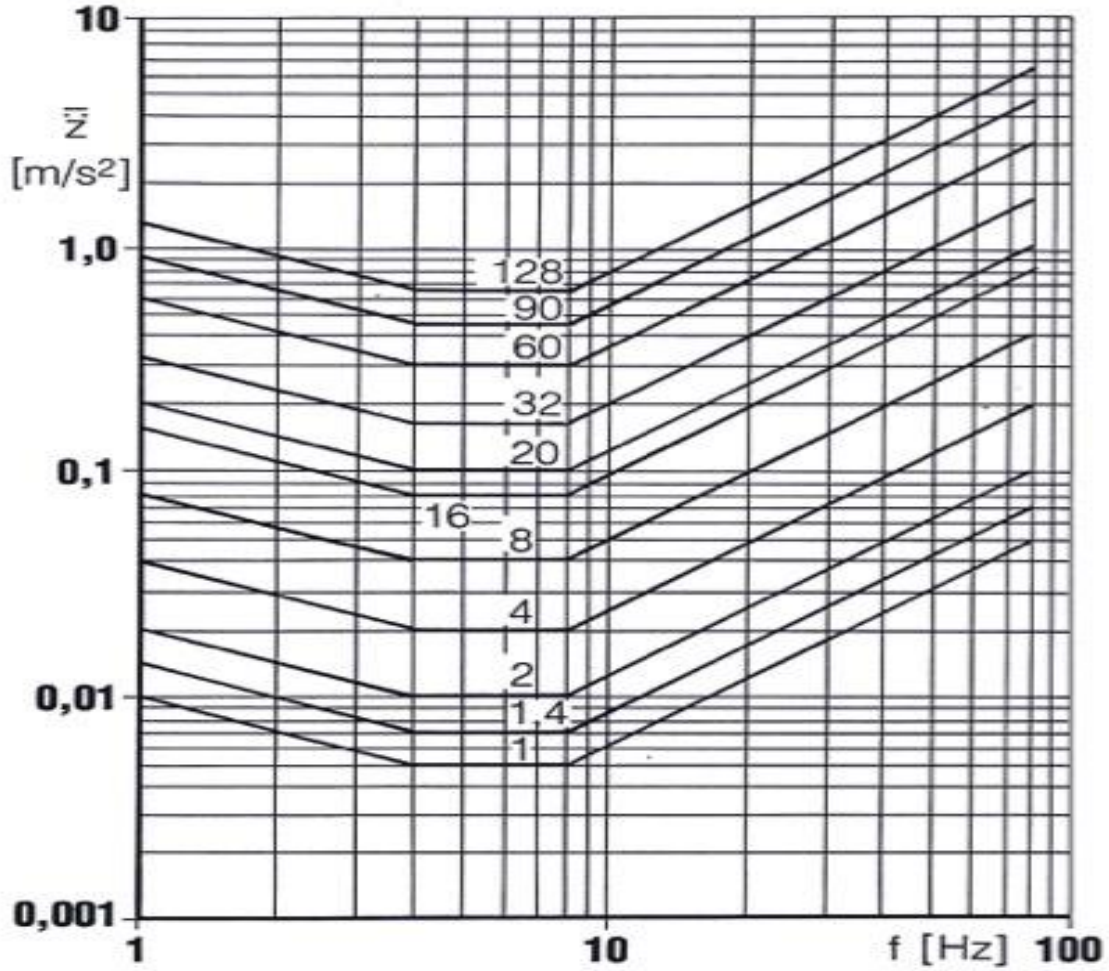
Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

ไดนามิกแนวตั้งของยานพาหนะ

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

ISO 2631 vibration comfort

- ร่างกายมนุษย์ตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความถี่.
- ช่วงระหว่าง 4 ถึง 8 Hz แสดงความไวสูงสุด.
- ISO 2631 ระบุถึงฟังก์ชันความไวต่อแรงสั่นสะเทือนที่ช่วยให้พิจารณาสิ่งนี้ได้

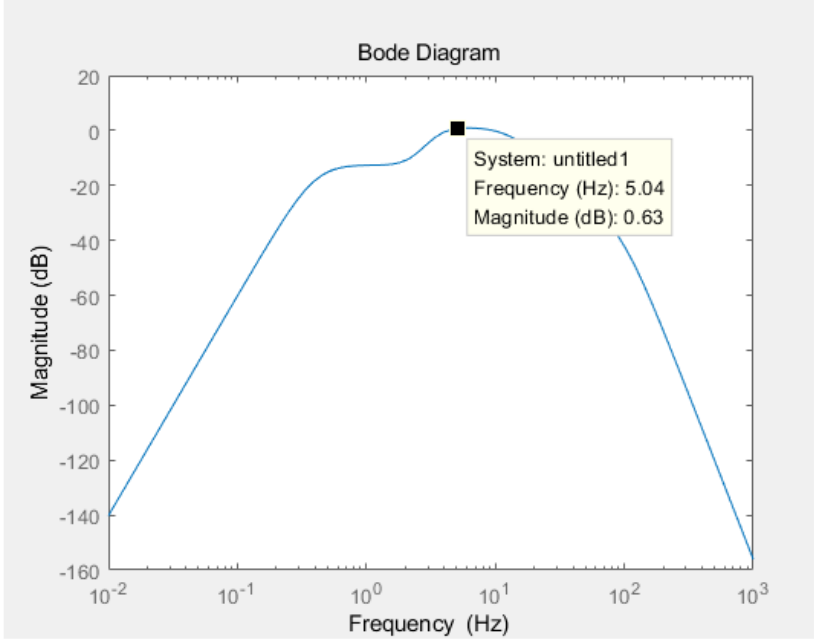


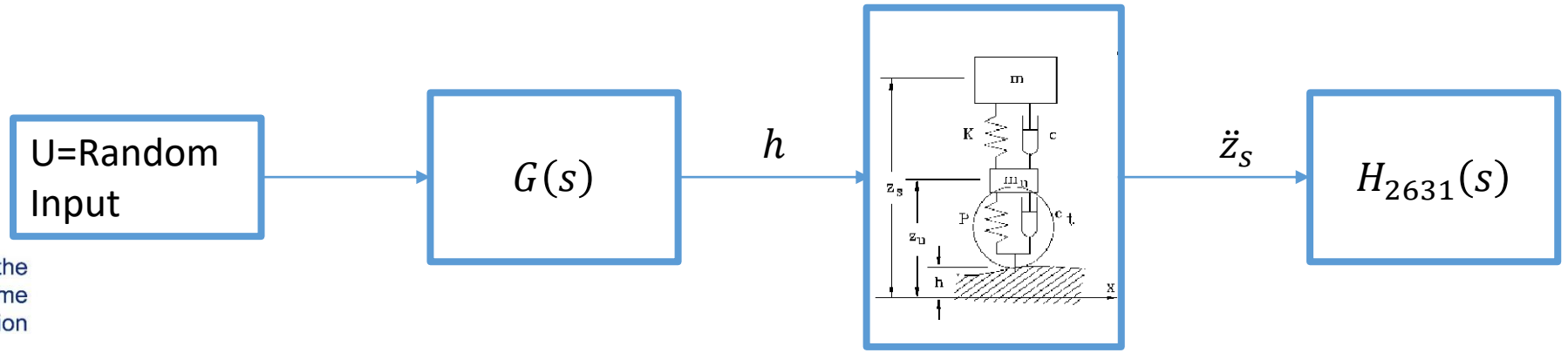
Source: Genta

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

ISO 2631 vibration comfort

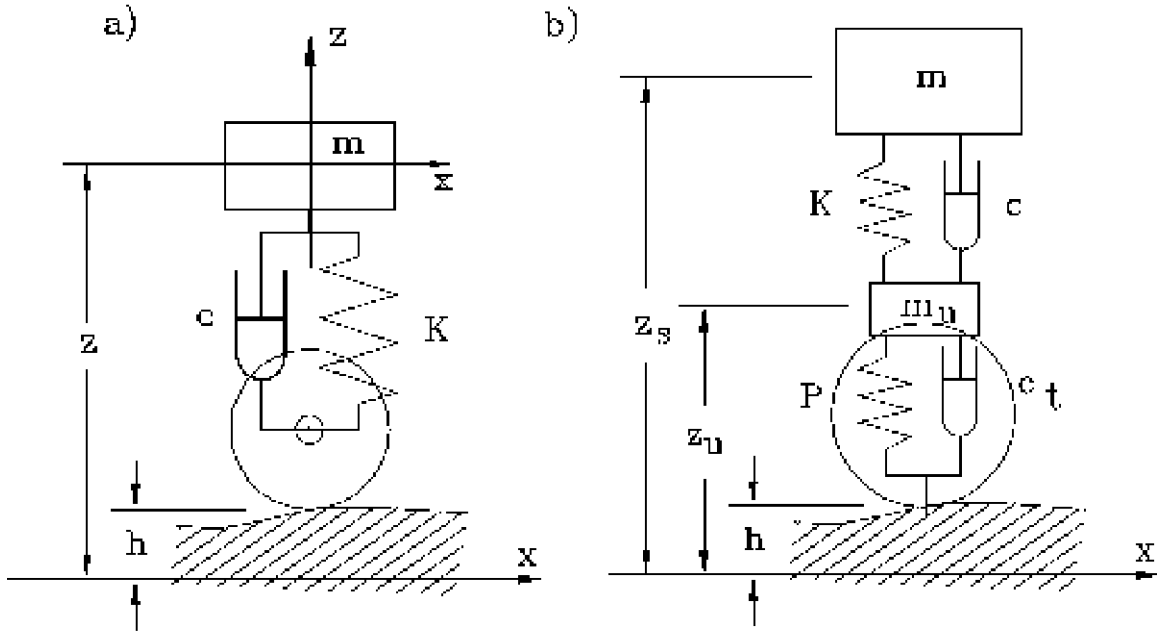
$$H_{2631}(s) = \frac{80.03s^2 + 989s + 0.02108}{s^3 + 78.92s^2 + 2412s + 5614},$$





Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Quarter car models



1DOF 2DOF

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

1DOF quarter car model response

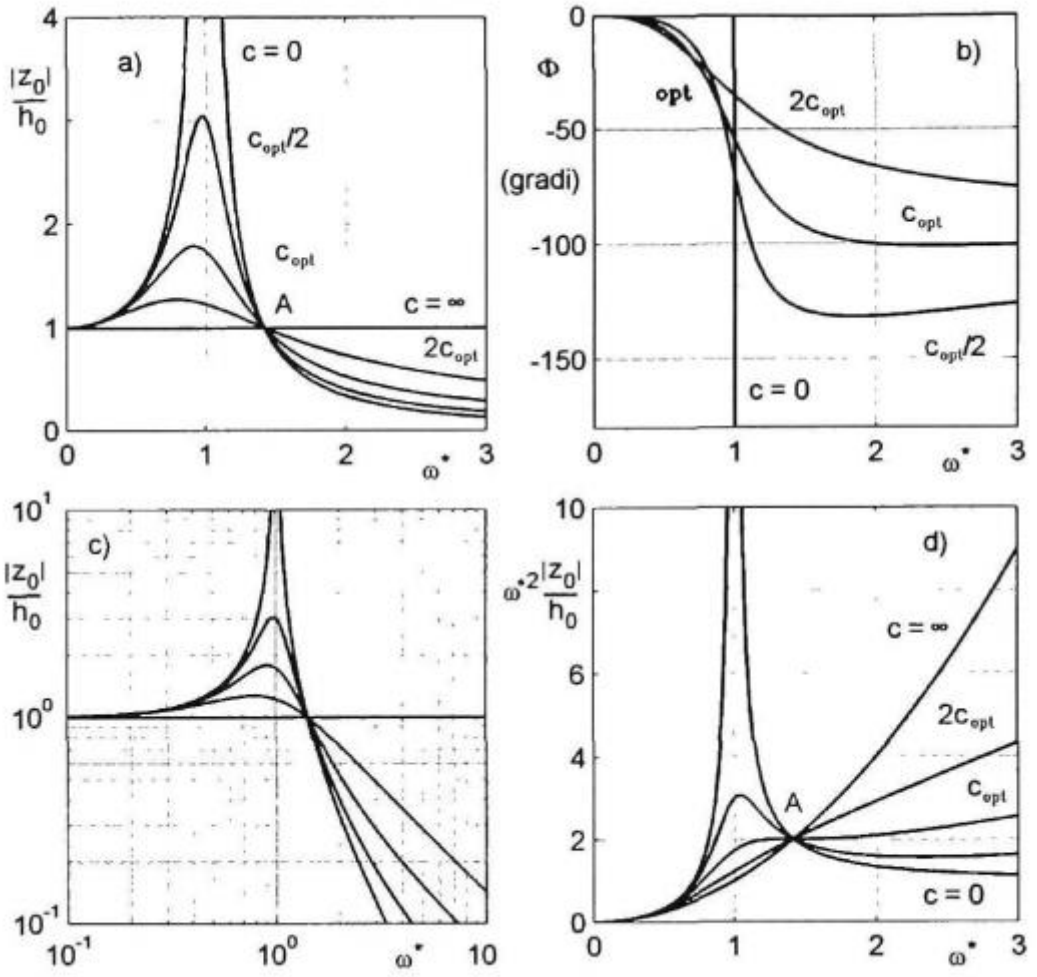
$$m\ddot{z} + c\dot{z} + Kz = c\dot{h} + Kh \ ,$$

$$\begin{cases} \dfrac{|z_0|}{|h_0|} = \sqrt{\dfrac{K^2 + c^2\omega^2}{(K - m\omega^2)^2 + c^2\omega^2}} \\ \Phi = \arctan\left(\dfrac{-cm\omega^3}{K\,(K - m\omega^2) + c^2\omega^2}\right) \end{cases} .$$

$$c_{opt} = \sqrt{\frac{Km}{2}} = c_{cr}\frac{1}{2\sqrt{2}} \ ,$$

$$c_{cr} = 2\sqrt{Km}$$

$$F_z = c\left(\dot{z} - \dot{h}\right) + K(z - h) - m\ddot{z}$$



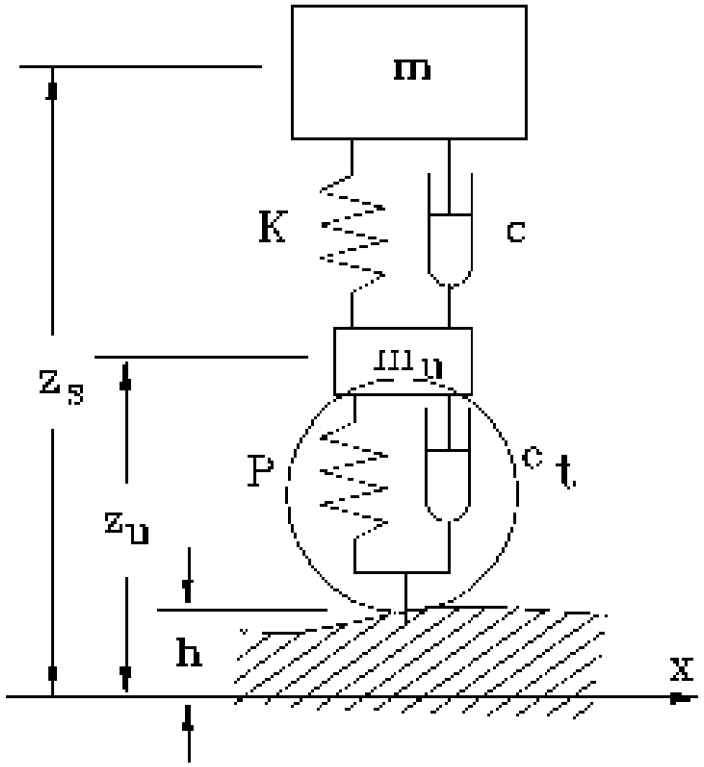
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2 DOF quarter car model response

$$\begin{bmatrix} m_s & 0 \\ 0 & m_u \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{z}_s \\ \ddot{z}_u \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c & -c \\ -c & c + c_t \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{z}_s \\ \dot{z}_u \end{Bmatrix} + \\ + \begin{bmatrix} K & -K \\ -K & K + P \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} z_s \\ z_u \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ c_t \dot{h} + Ph \end{Bmatrix},$$

$$\begin{cases} \dfrac{|z_{s_0}|}{|h_0|} = P\sqrt{\dfrac{K^2 + c^2\omega^2}{f^2(\omega) + c^2\omega^2 g^2(\omega)}} \\ \dfrac{|z_{n_0}|}{|h_0|} = P\sqrt{\dfrac{(K - m\omega^2)^2 + c^2\omega^2}{f^2(\omega) + c^2\omega^2 g^2(\omega)}} \end{cases},$$

$$c_{opt} = \sqrt{\frac{Km}{2}}\sqrt{\frac{P + 2K}{P}}$$

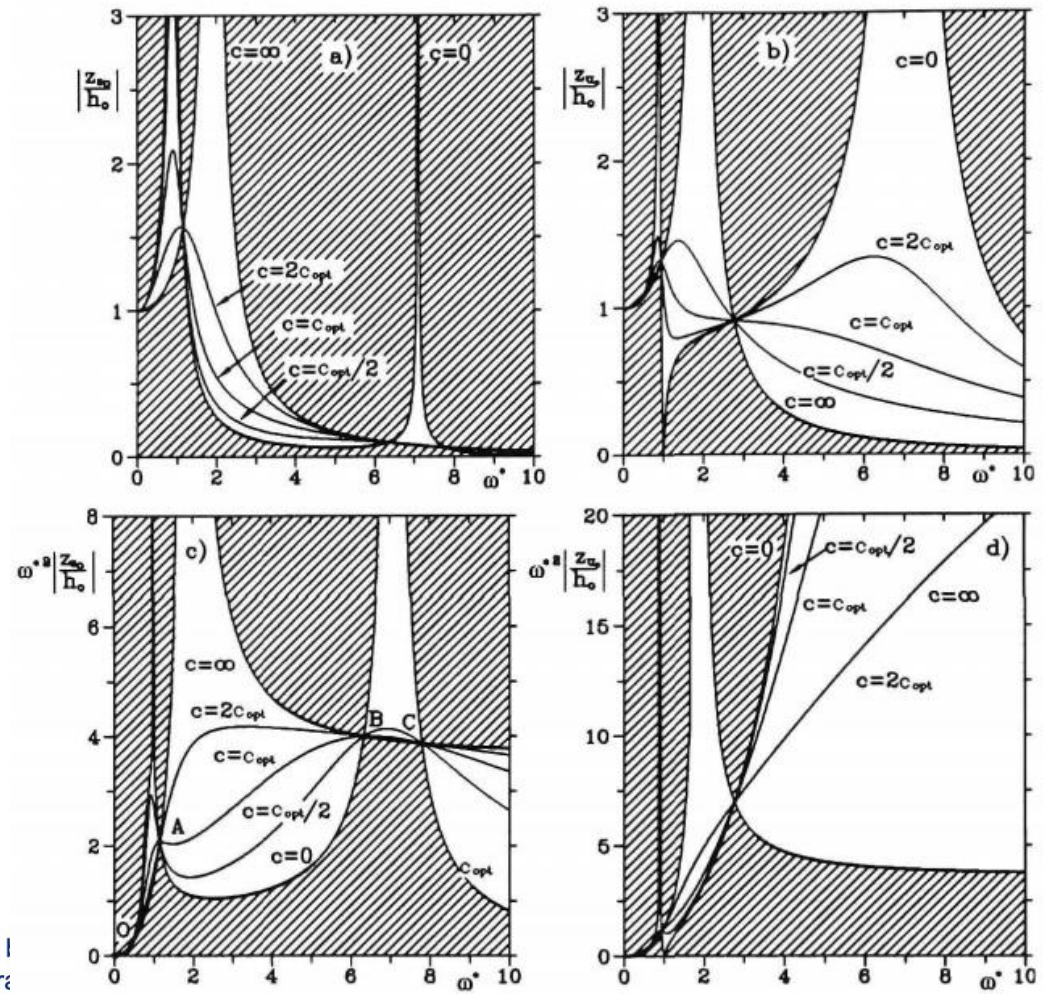


$$\begin{cases} f(\omega) = m_s m_u \omega^4 - [Pm_s + K(m_s + m_u)]\,\omega^2 + KP \\ g(\omega) = (m_s + m_u)\omega^2 - P\,. \end{cases}$$

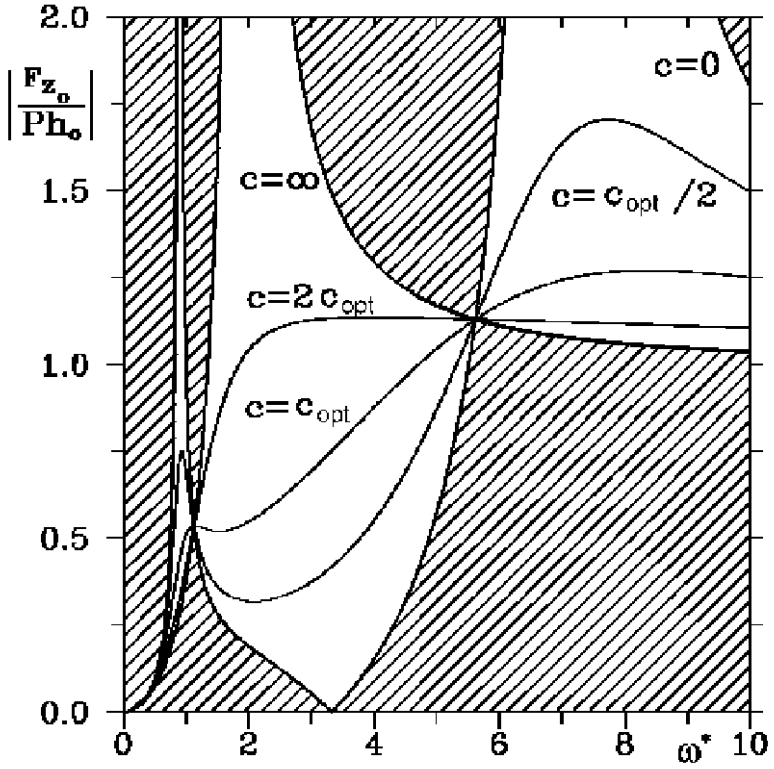
$$\frac{|F_{z_0}|}{|h_0|} = P\omega^2\sqrt{\frac{[K(m_s + m_u) - m_s m_u \omega^2]^2 + c^2(m_s + m_u)\omega^2}{f^2(\omega) + c^2\omega^2 g^2(\omega)}}\,.$$

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2 DOF quarter car model response



Sprung mass Unsprung

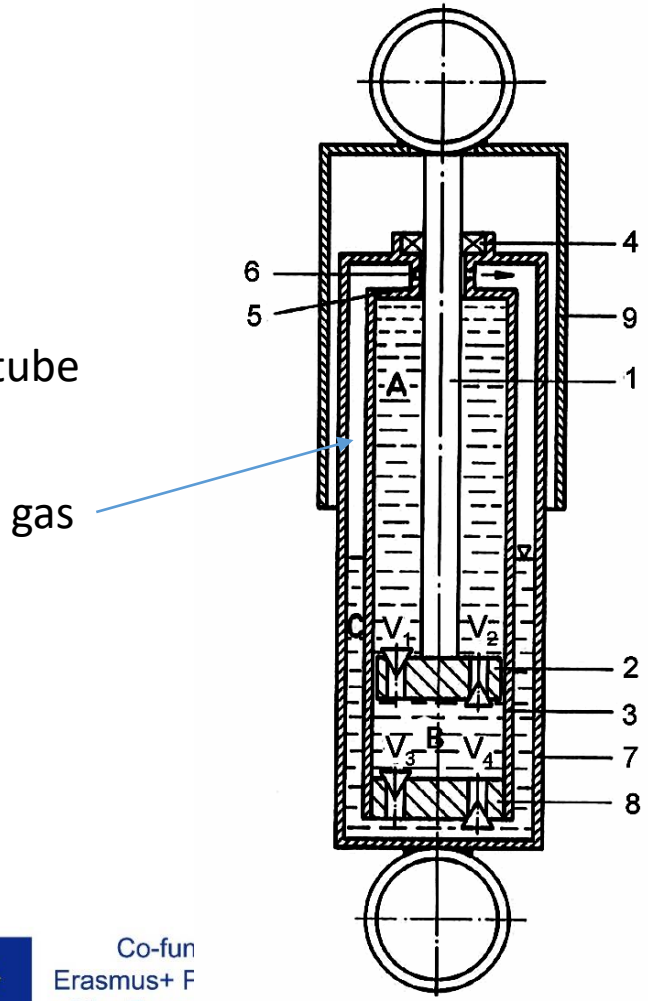


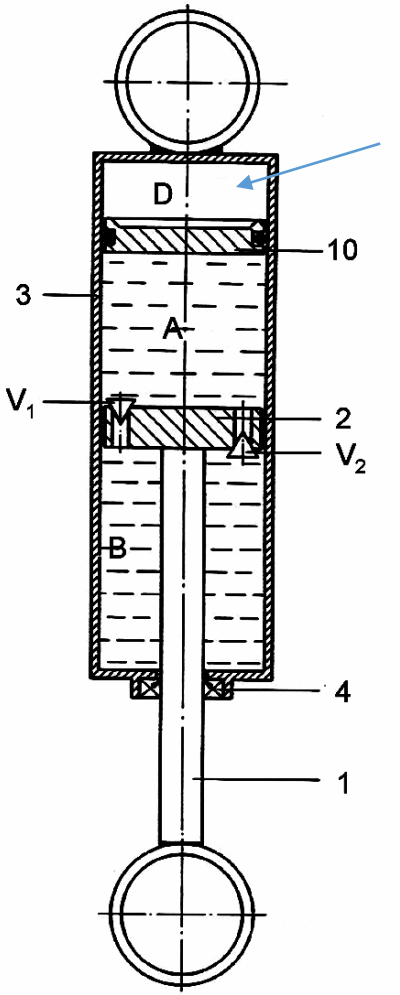
Tire force

Co-funded I
Erasmus+ Progra
of the European

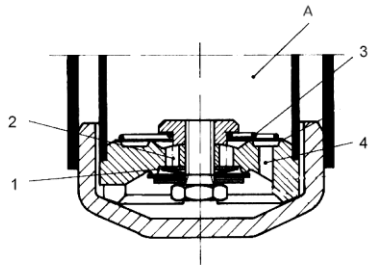
Dampers

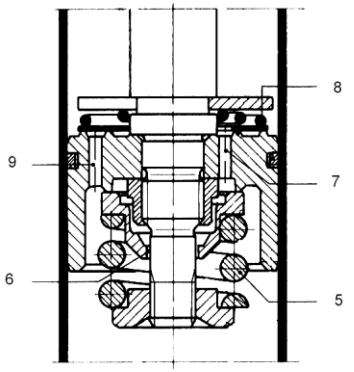
Twin tube

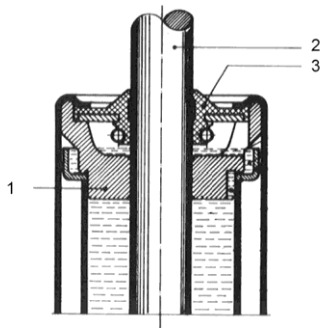


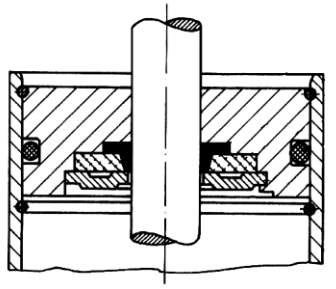


Monotube





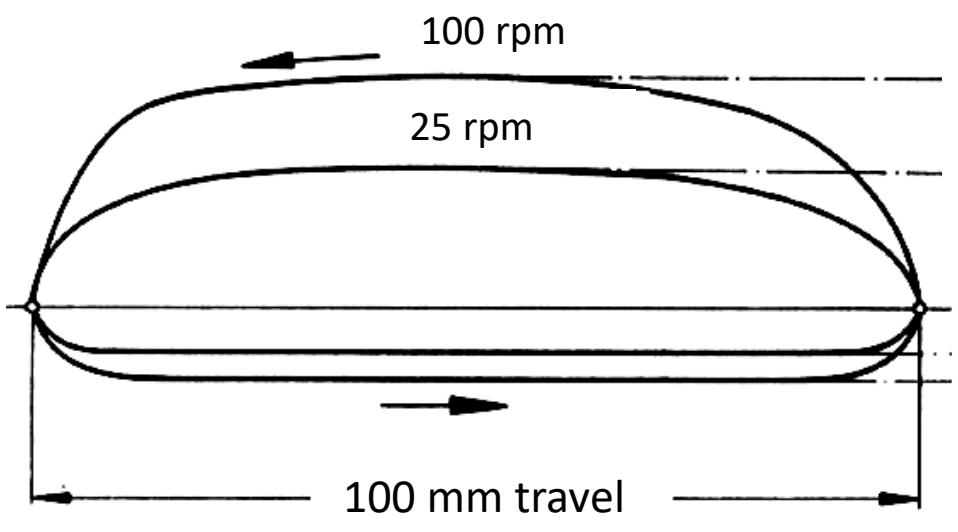


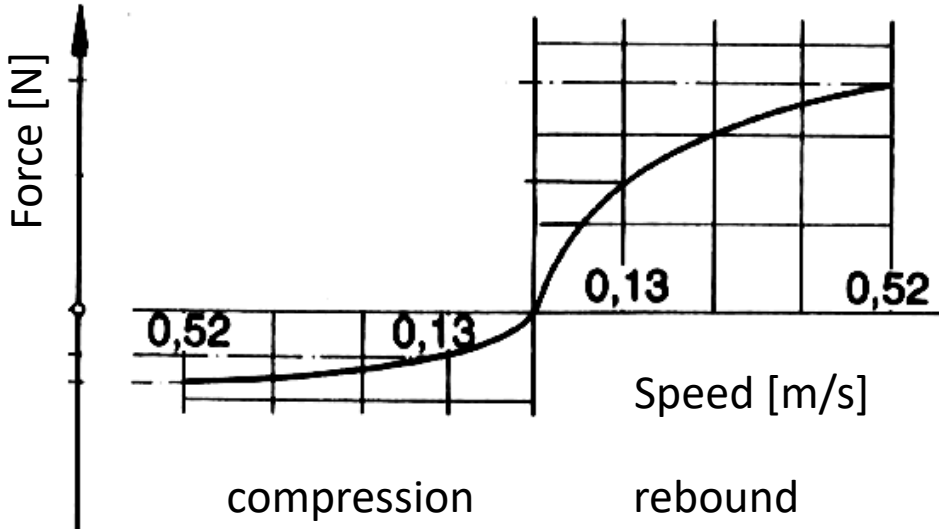


Co-fun
Erasmus+ F
of the European Union

Damper characterization

Force – travel diagram

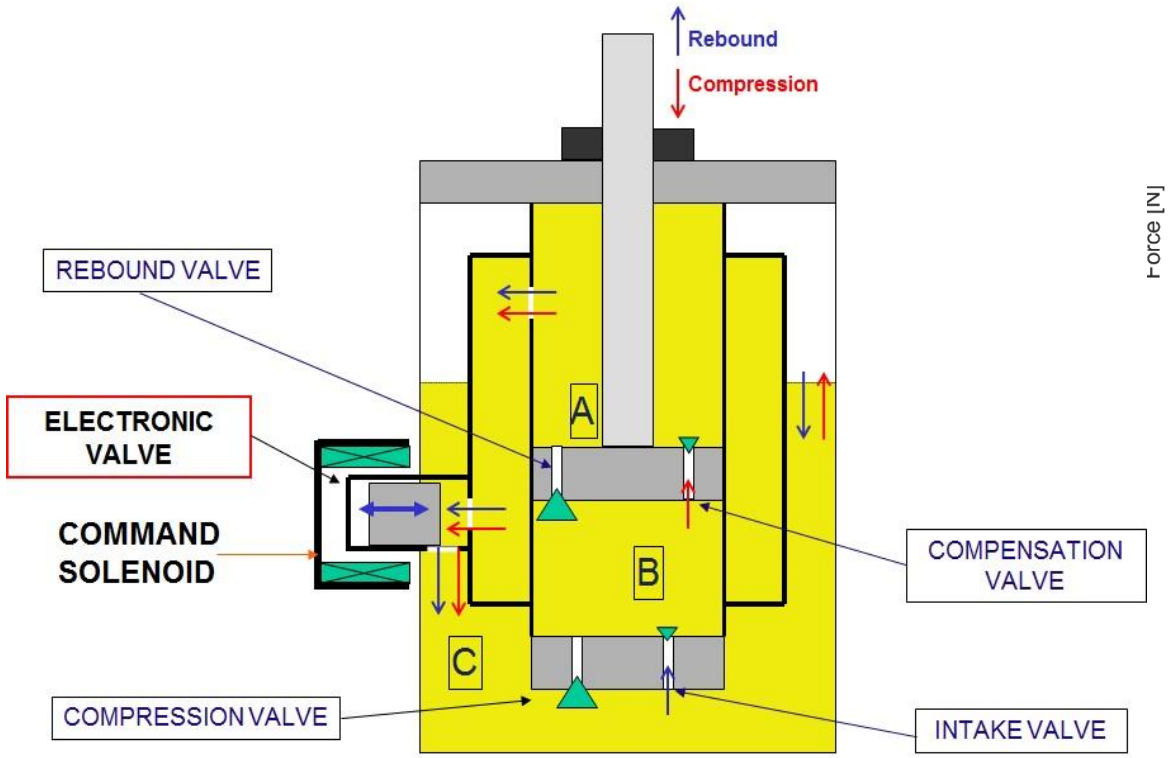


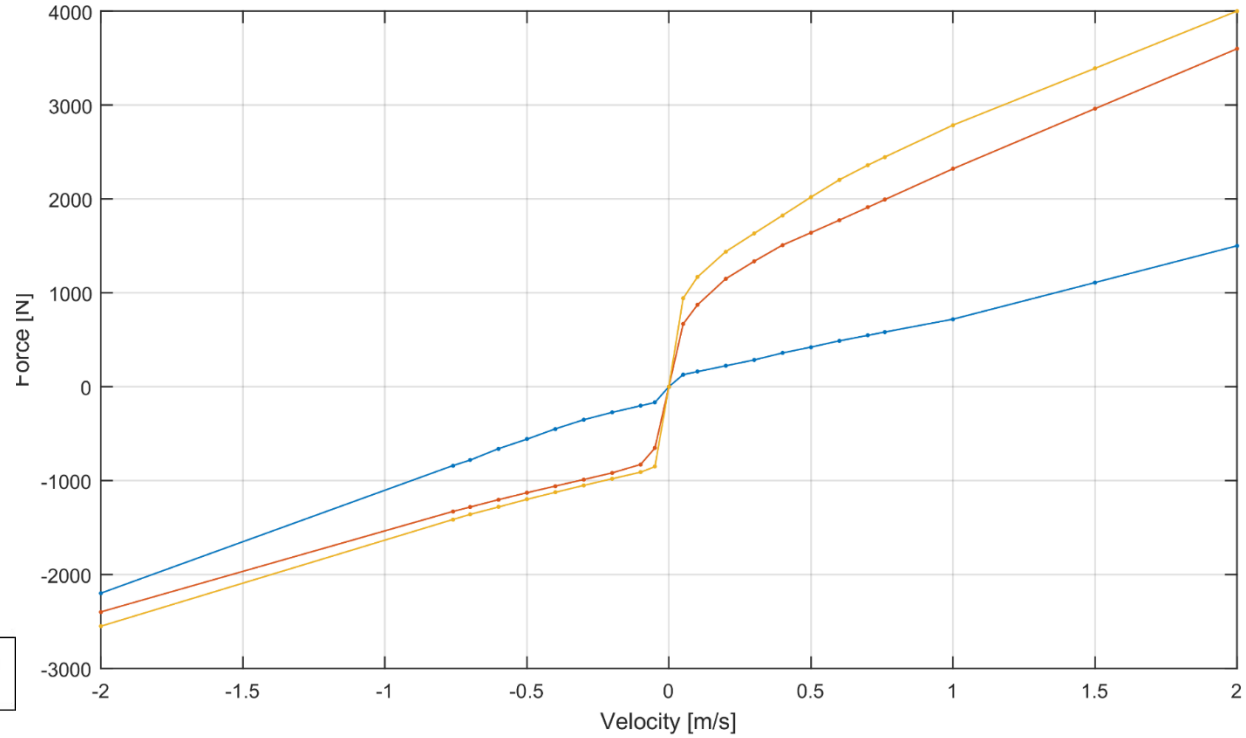


Force-speed diagram

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Three tube – continuous damping control



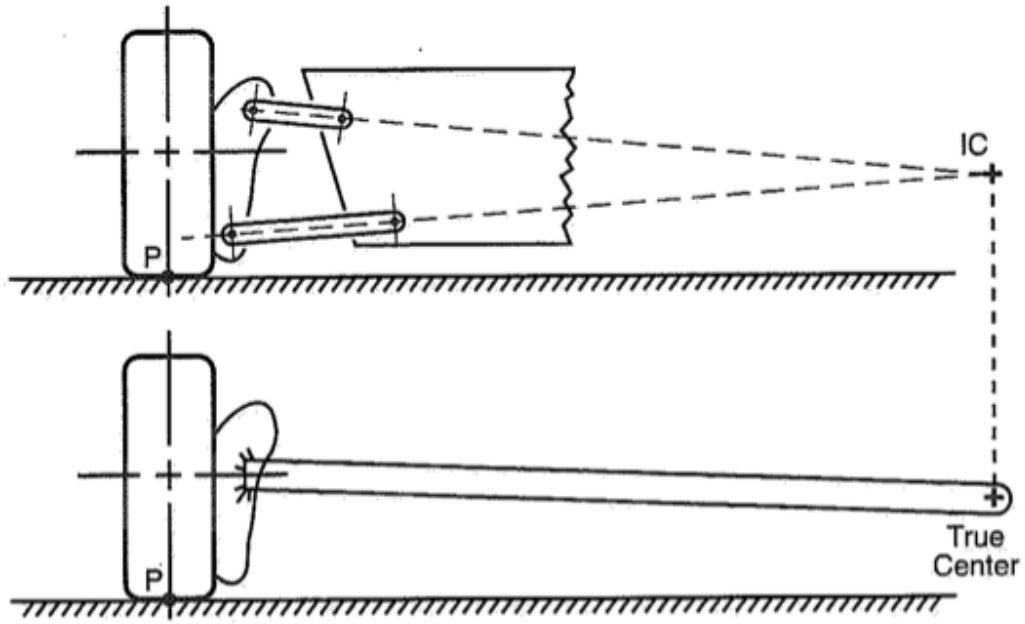


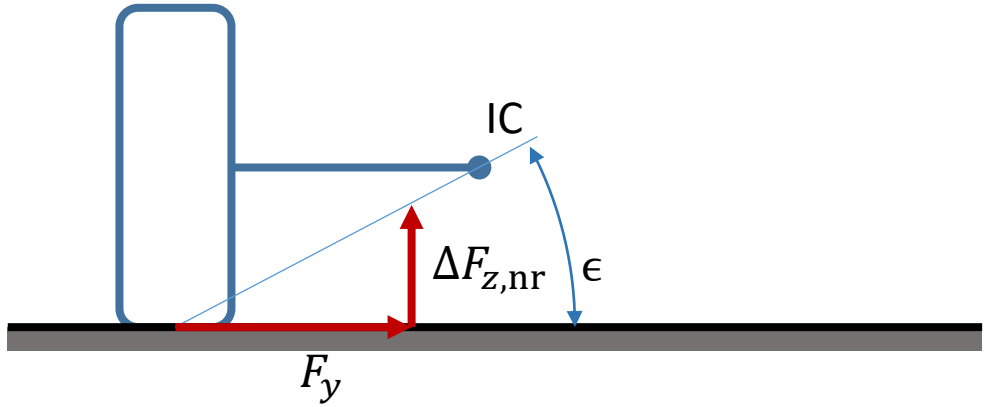
compression rebound

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Source: Marelli

Suspension kinematics – Instant center





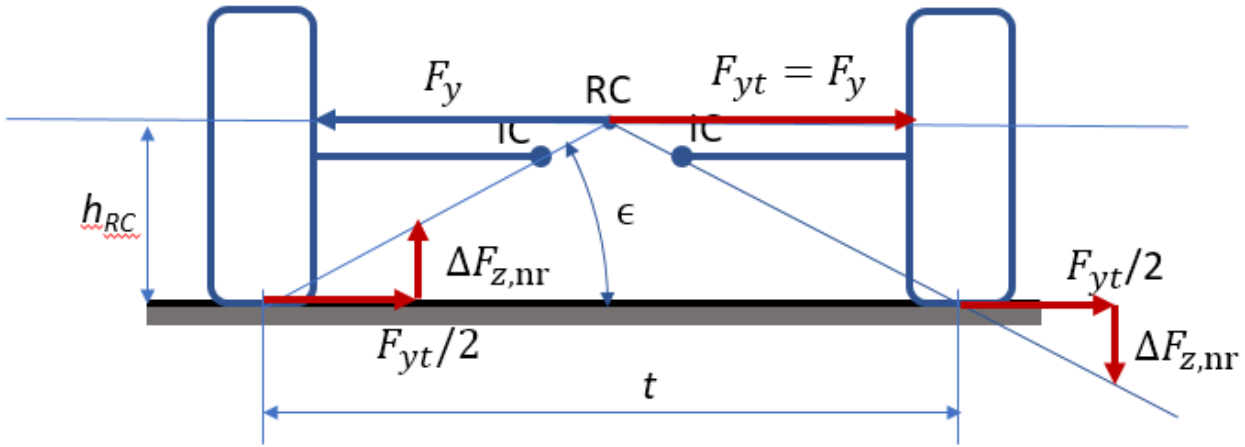
เอฟเฟกต์แรงผลัก

หากผลการเปลี่ยนแปลงของแรงยาง $(F_y, \Delta F_{z,\mathrm{nr}})$ ผ่าน IC, ระบบกันสะเทือนจะไม่เบี่ยง การถ่ายโอนโหลด $\Delta F_{z,\mathrm{nr}}$ เรียกว่า การถ่ายโอนโหลดแบบ "ไม่กลิ้ง"

$$\Delta F_{z,\mathrm{nr}} = F_y \tan \epsilon$$

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Roll center height



Due to roll torque balance

$$F_y\, h_{RC} = \Delta F_{z,nr}\, t$$

Therefore

$$\frac{\Delta F_{z,nr}}{F_y} = \frac{h_{RC}}{t}$$

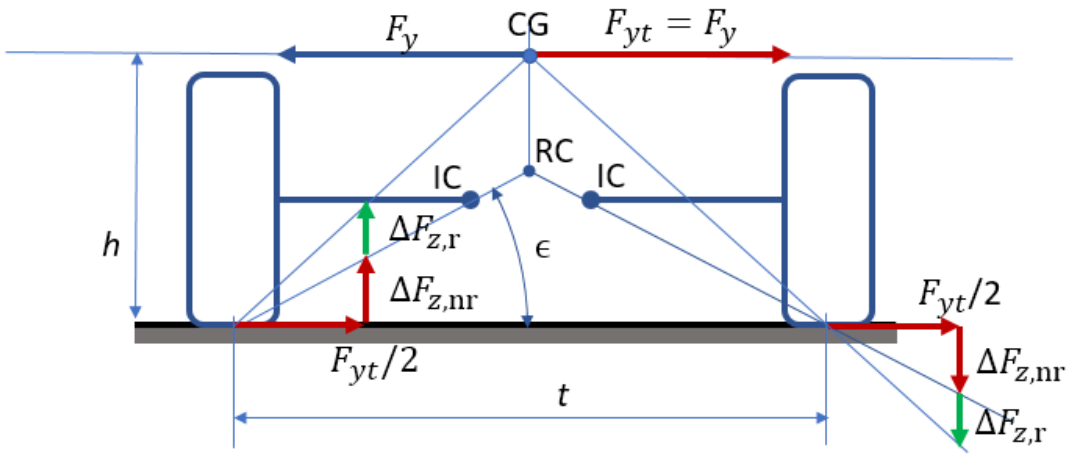
And

$$\tan\epsilon = \frac{h_{RC}}{t/2} = \frac{\Delta F_{z,nr}}{F_y/2}$$

If the lateral force acts on RC the tire forces pass through the IC. The suspensions do not deform. The load transfer is indicated as non rolling.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Roll center height



In general the lateral force acts on the CG that is not located in the RC. Due to roll torque balance

$$F_y\, h = (\Delta F_{z,r} + \Delta F_{z,nr})\, t$$

Therefore

$$\frac{(\Delta F_{z,r} + \Delta F_{z,nr})}{F_y} = \frac{h}{t}$$

And

$$\Delta F_{z,r} = F_y \frac{h}{t} - \Delta F_{z,nr} = F_y \frac{h}{t} - \frac{F_y}{2} \tan\epsilon = \frac{F_y}{t}(h - h_{RC})$$

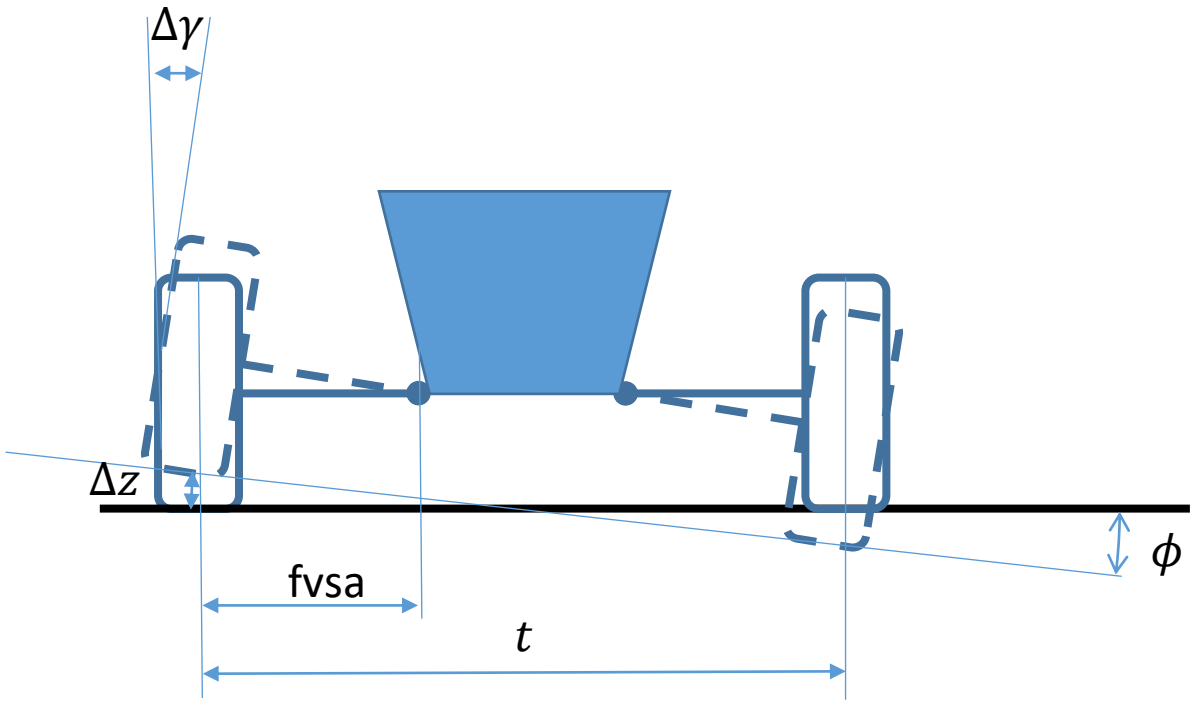
The deformation of the suspension is just related to the rolling contribution to the load transfer. $\Delta F_{z,r}$

We can then define a "anti-roll" factor as the ratio between the non rolling to the total load transfer

$$A_r = \frac{\Delta F_{znr}}{\Delta F_z} = \frac{F_y/2 \tan\epsilon}{F_y h/t} = \frac{h_{RC}}{h}$$

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Camber gain



เมื่อพิจารณาถึงการกระจัดขนาดเล็ก การเดินทางของล้อตรงข้ามจะทำให้เกิดมุมการหมุนของตัวรถ

$$\phi = \frac{\Delta z}{t/2}$$

การเดินทางของล้อเดียวกันสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของมุมแคมเบอร์ (การคืนตัวของแคมเบอร์)

$$\Delta\gamma = \frac{\Delta z}{\text{fvsa}}$$

ระยะขยายแคมเบอร์คืออัตราส่วนระหว่างระยะคืนตัวของแคมเบอร์กับระยะม้วน

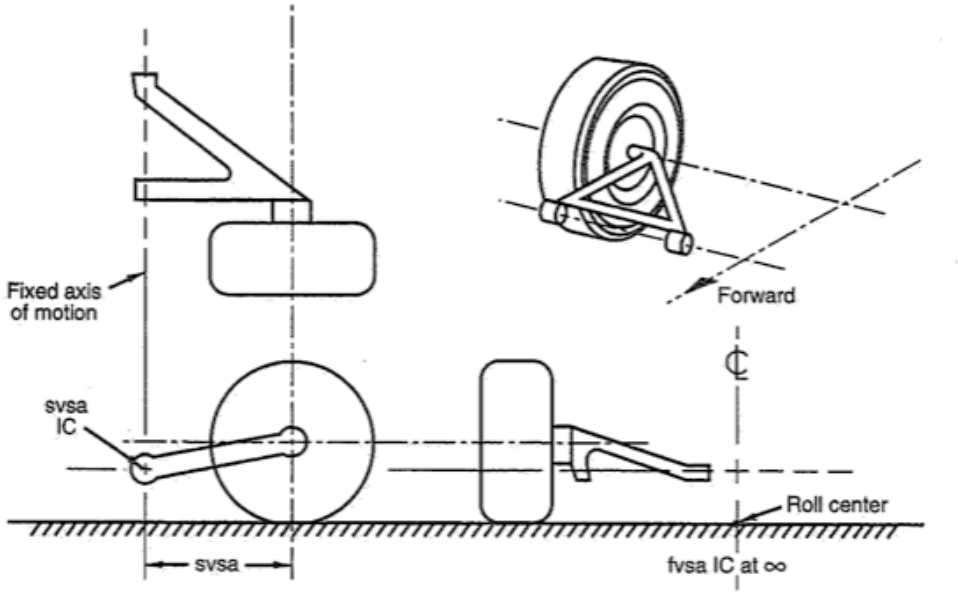
$$\frac{\Delta\gamma}{\phi} = \frac{t/2}{\text{fvsa}}$$

ถ้าม้วนแคมเบอร์ $\frac{\Delta\gamma}{\phi} \approx 1$ ระบบกันกระเทือนคืนความสูญเสียของ แคมเบอร์ เนื่องจากการหมุน.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

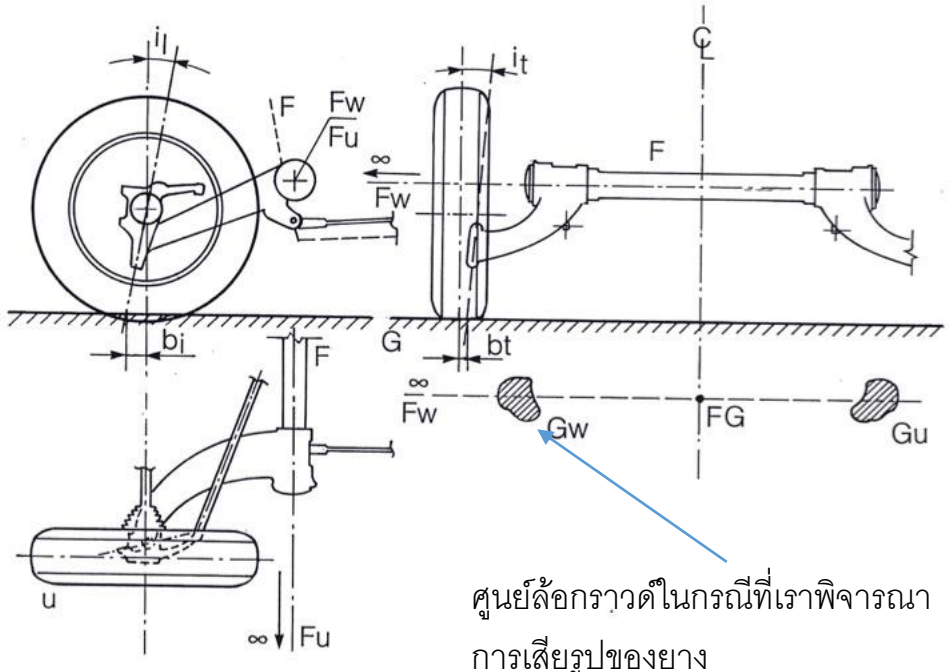
Trailing arm

- มุมมองด้านหน้า
  - การเคลื่อนไหวในแนวตั้งล้วนๆ IC ที่ ∞ ตามแกนบูชและ RC บนพื้นดิน.
  - ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแคมเบอร์กับการเดินทางของล้อ
  - Body roll แปลเป็นการเปลี่ยนแปลงเดียวกันใน camber (ใน camber recovery)
  - ไม่ต้องเปลี่ยน
- มุมมองด้านข้าง
  - IC คือแกนบูช ตำแหน่งแนวตั้งของ IC ต้องเว้นระยะห่างจากพื้นดินที่เหมาะสม.
  - สำหรับระบบกันสะเทือนหน้า ล้อจะเคลื่อนที่ต้านสิ่งกีดขวาง.
- มุมมองด้านบน
  - ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเดินทางของล้อ
  - แรงด้านข้างทำให้ล้อออกทางโค้ง (ทำให้ระบบกันสะเทือนหลังไม่เสถียร)

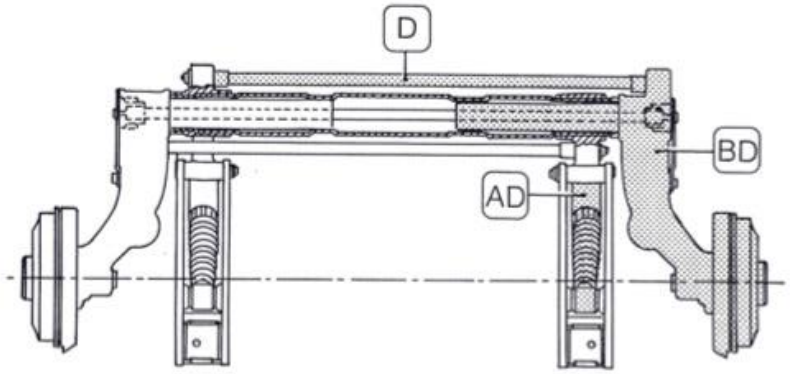


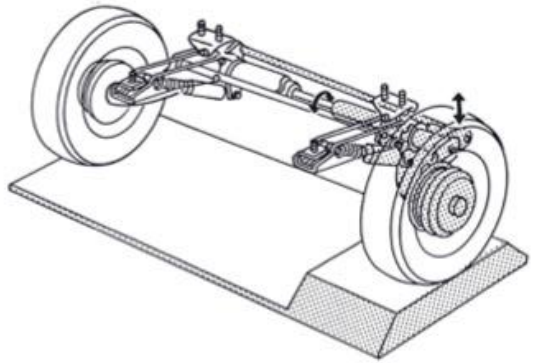
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

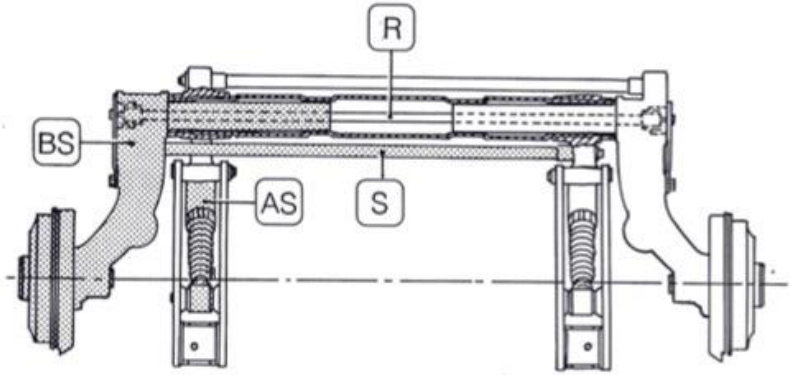
Trailing arm – construction

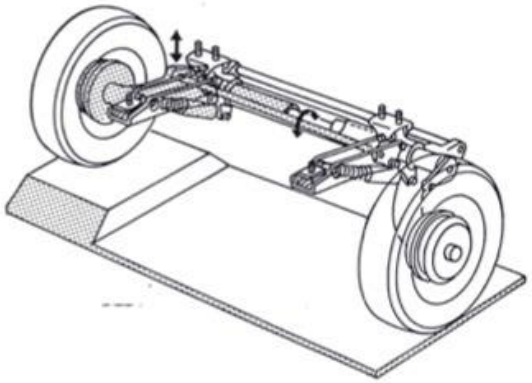


ศูนย์ล้อกราวด์ในกรณีที่เราพิจารณาการเสียรูปของยาง





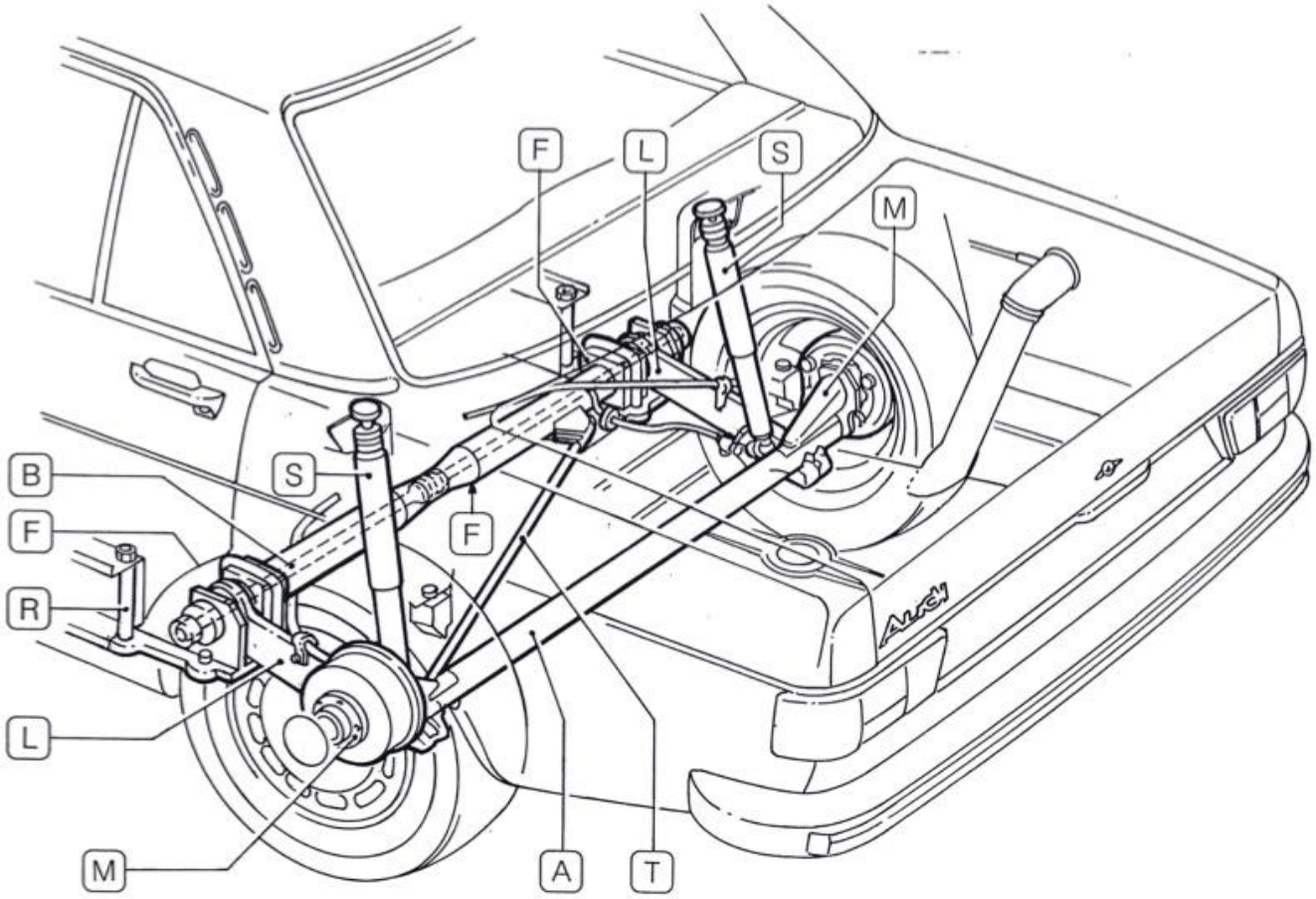


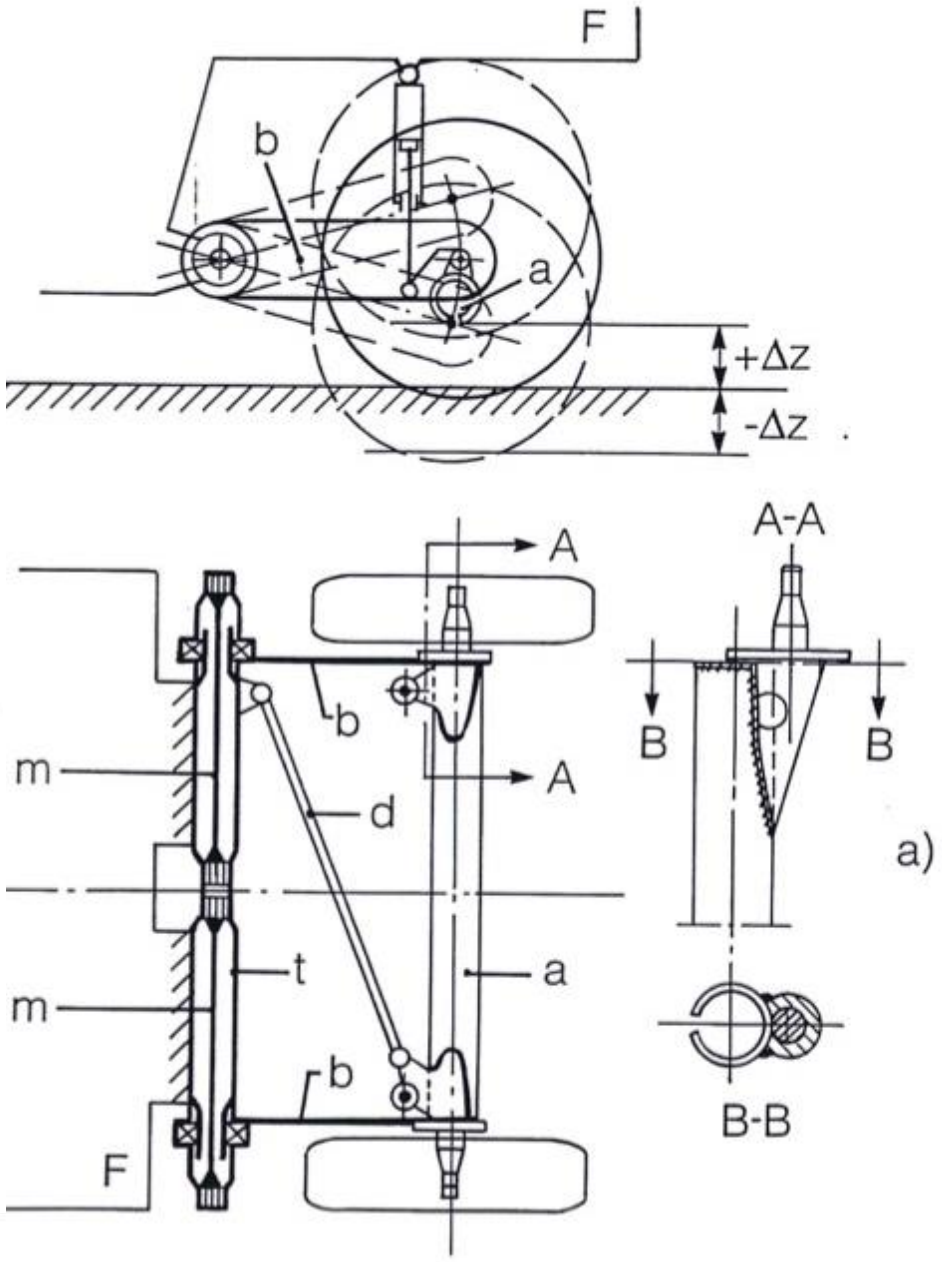


Source: Genta

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

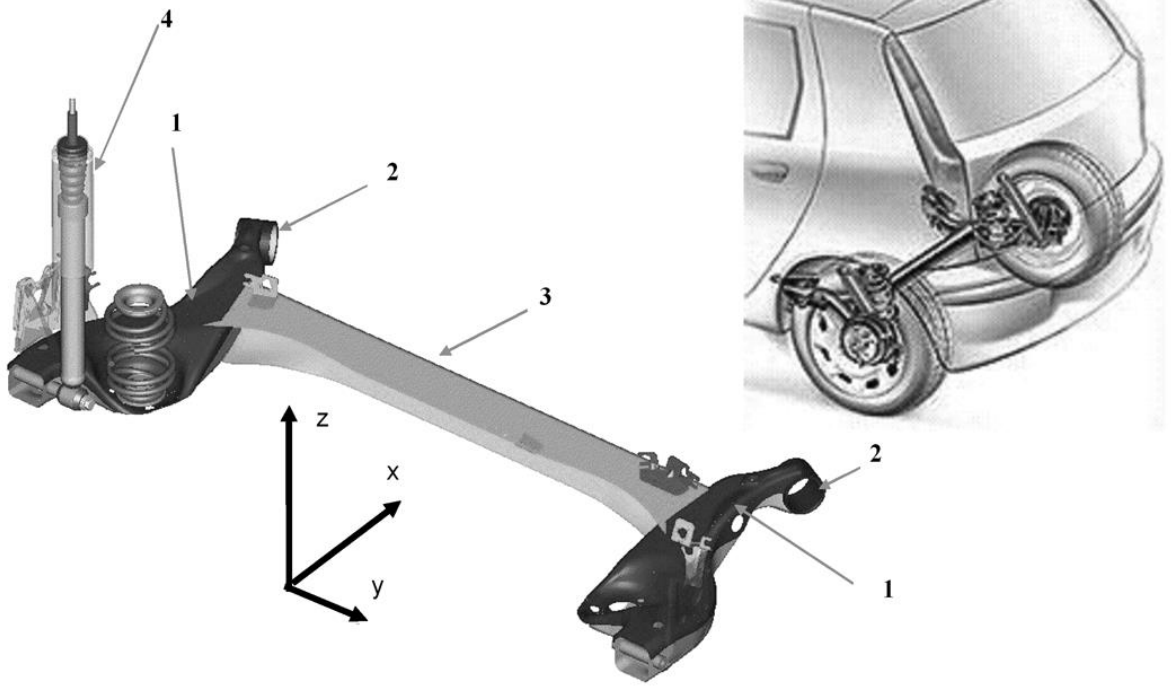
เพลาคานบิด

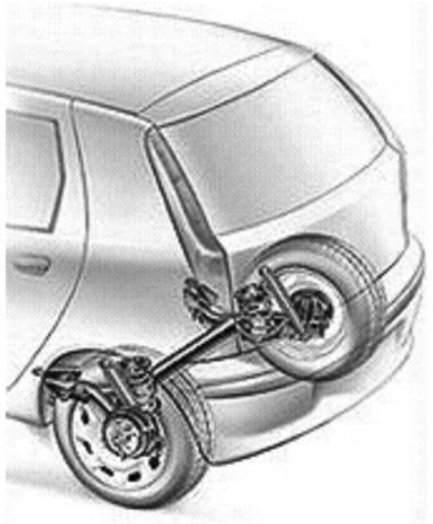


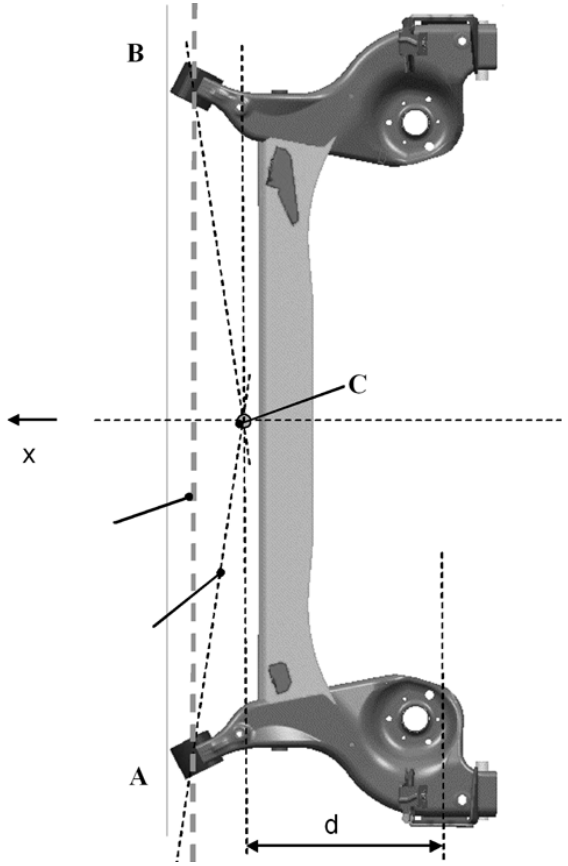


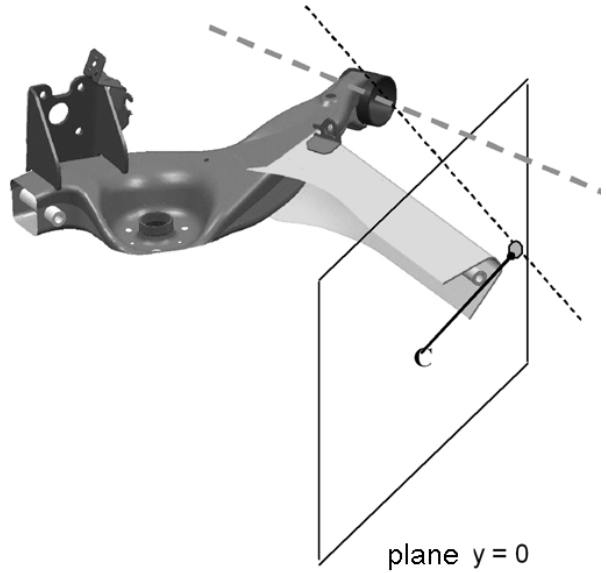
Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

ระบบกันสะเทือนแบบบิดเบี้ยว



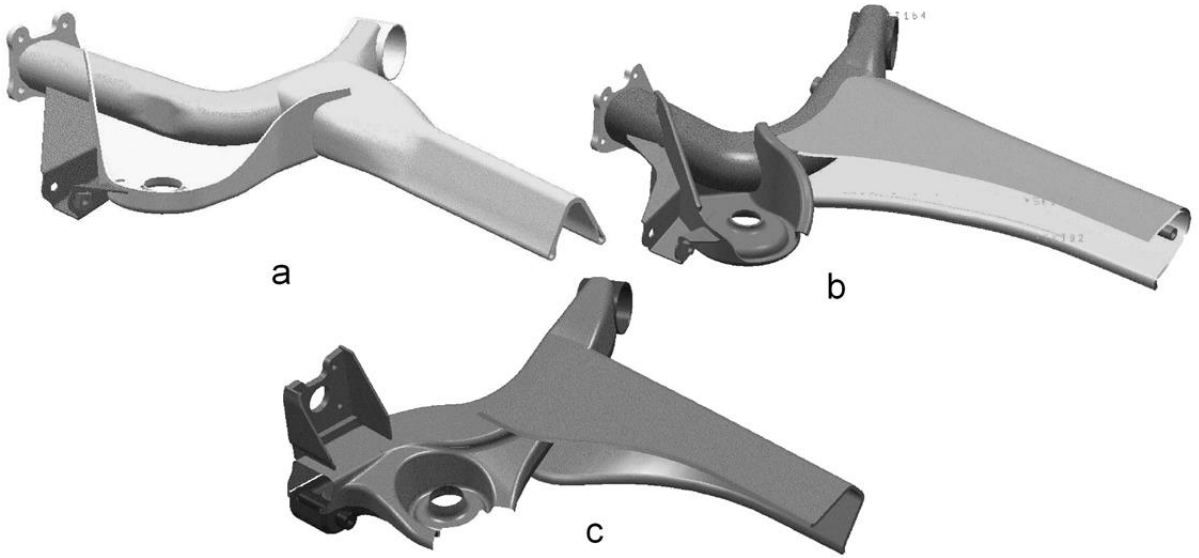


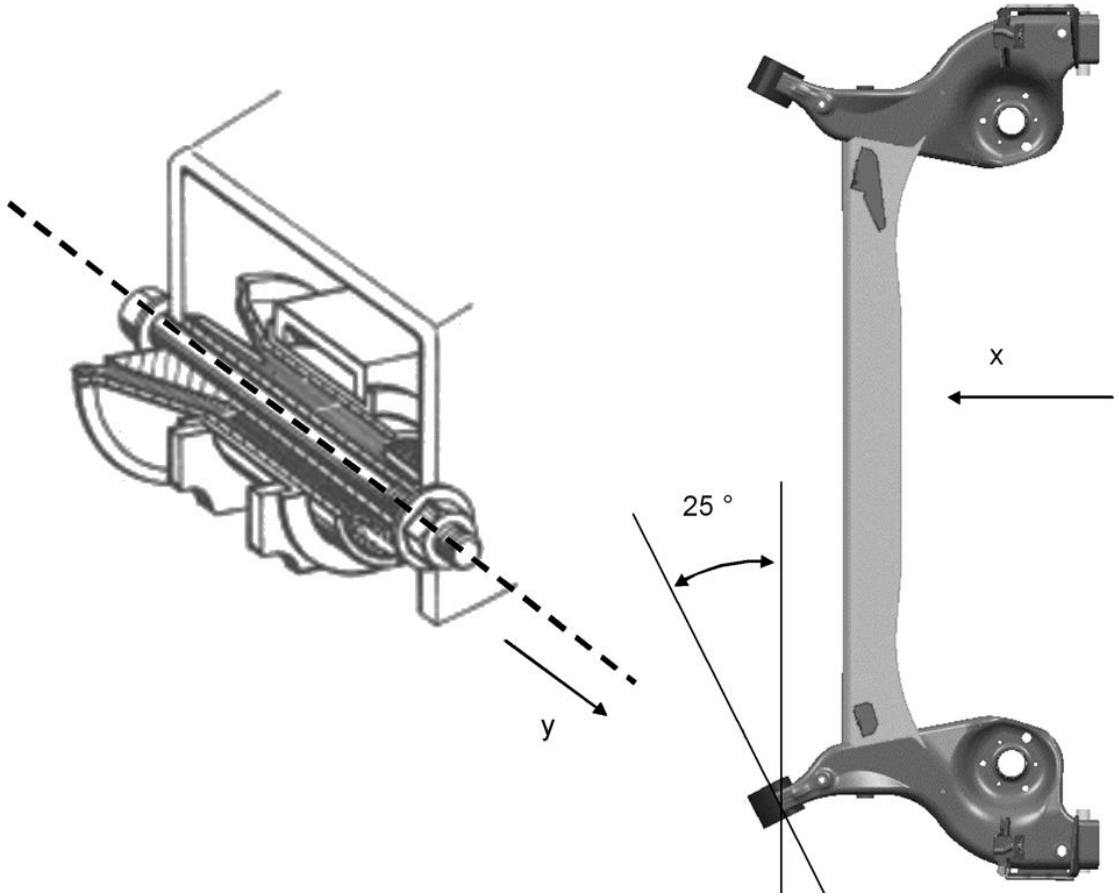




Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

ระบบกันสะเทือนแบบบิดเบี้ยว

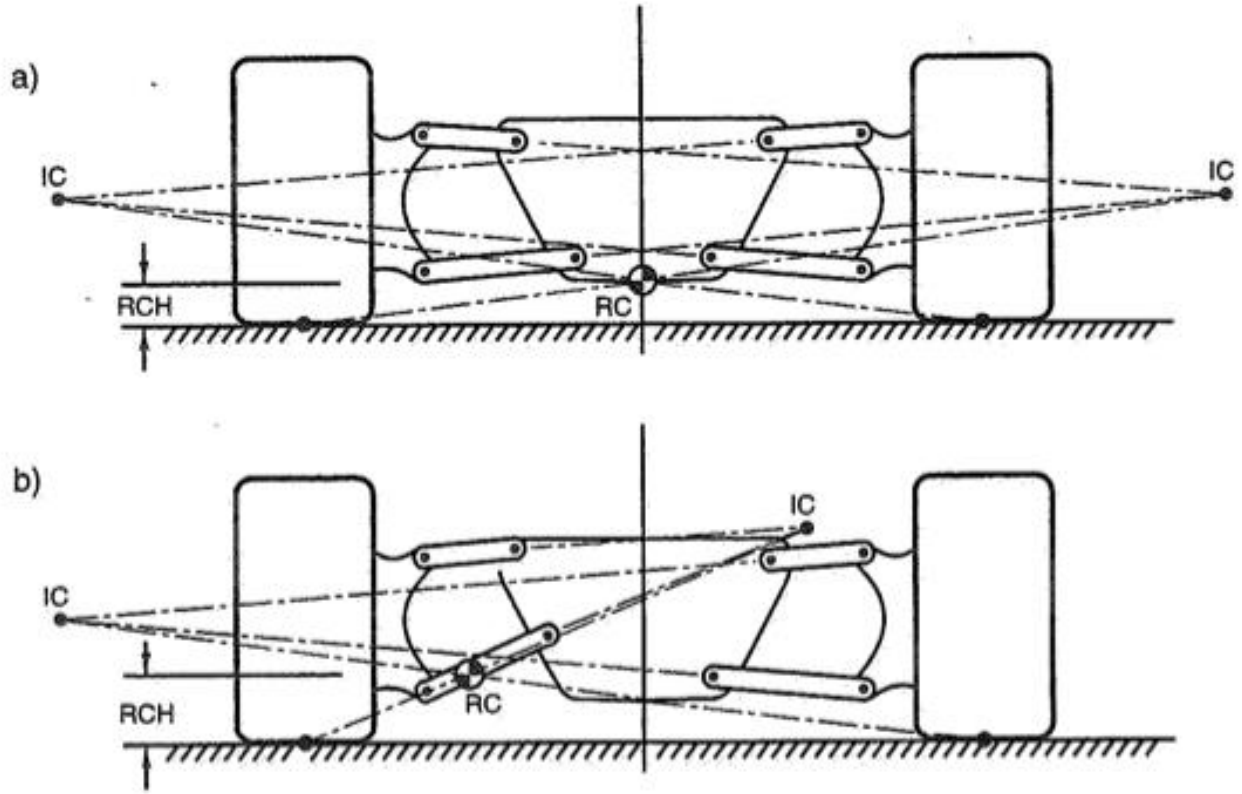




Source: Genta

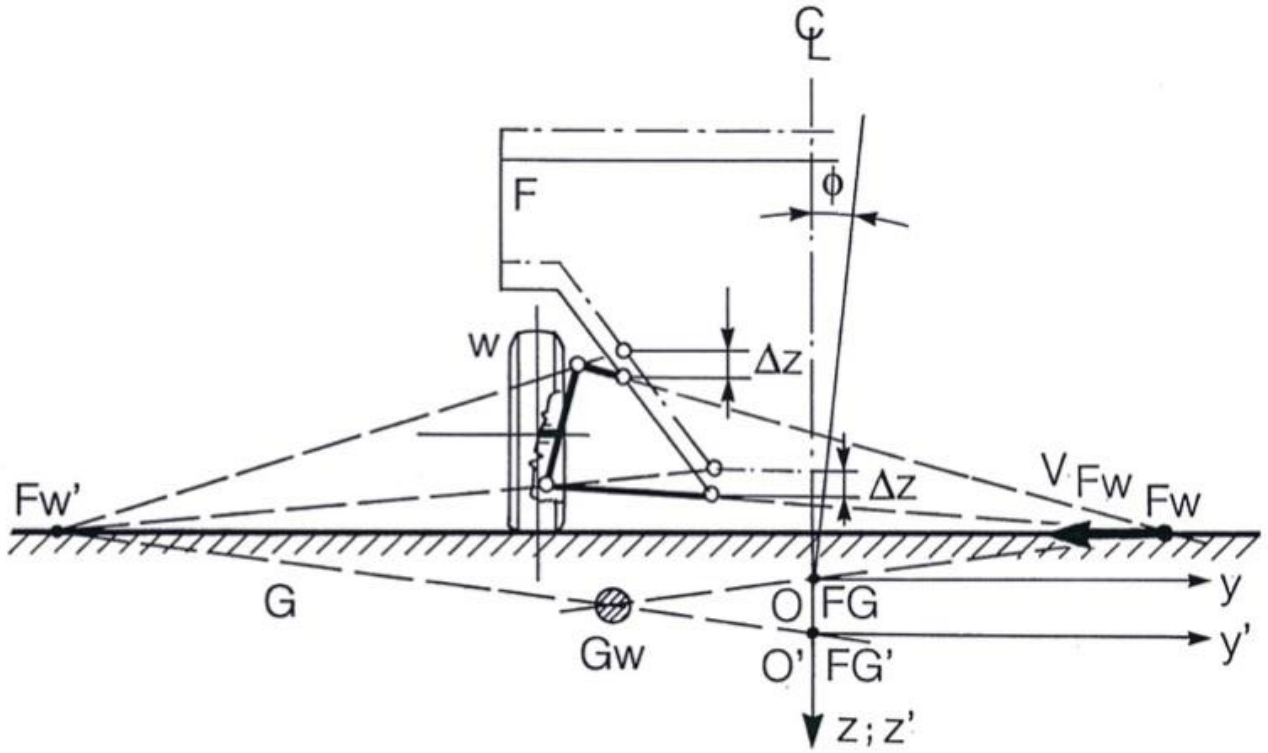
Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Double whishbone



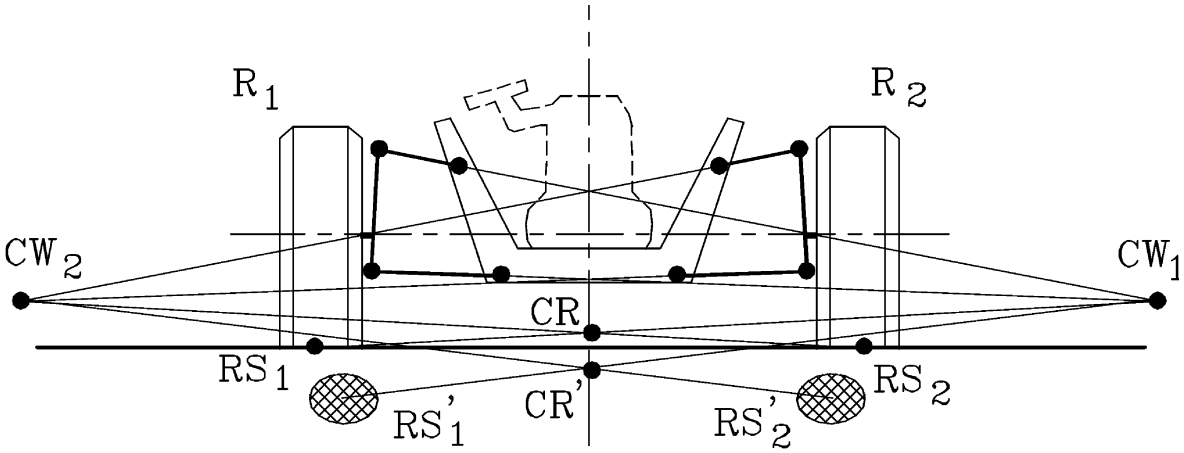
Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

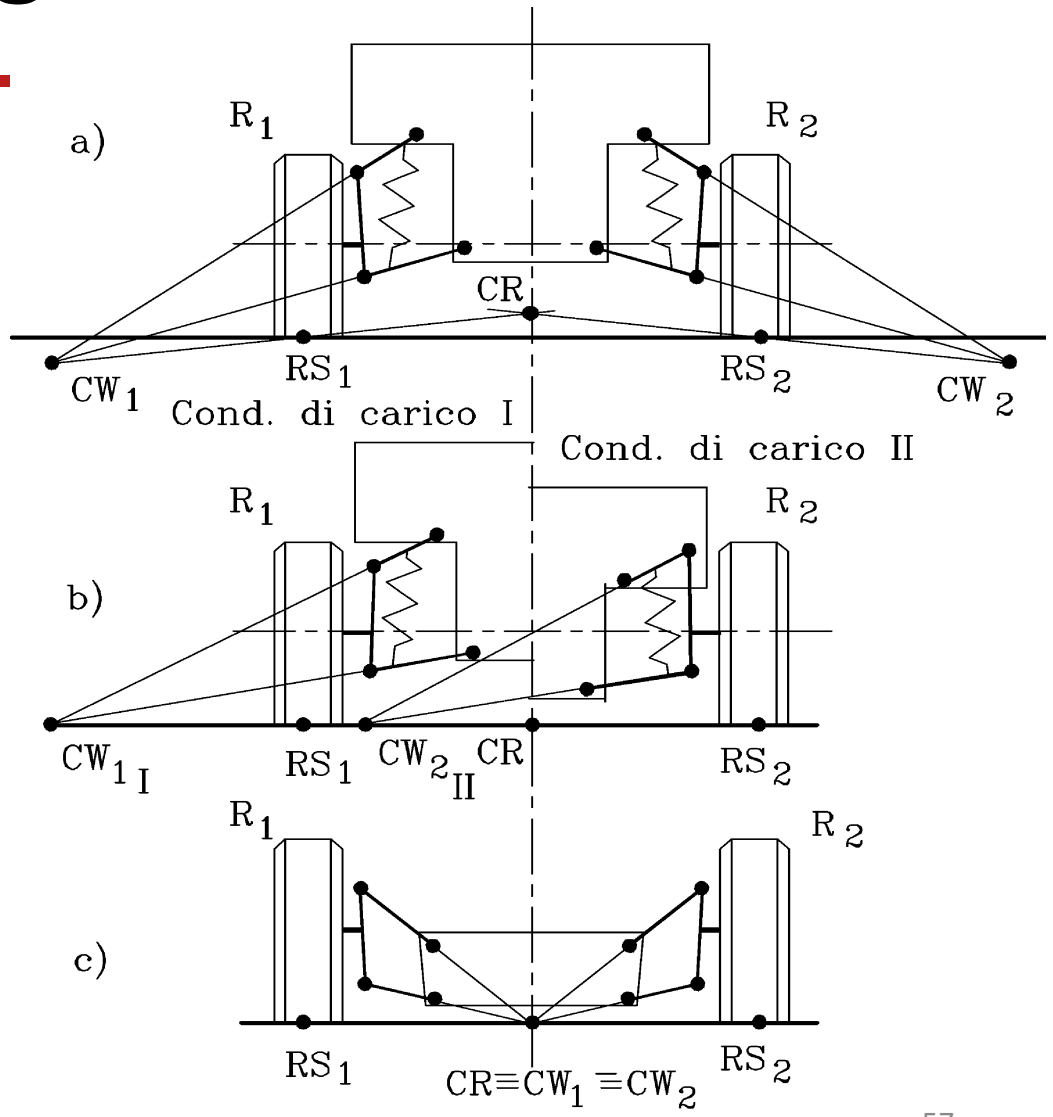
Double whishbone IC migration



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

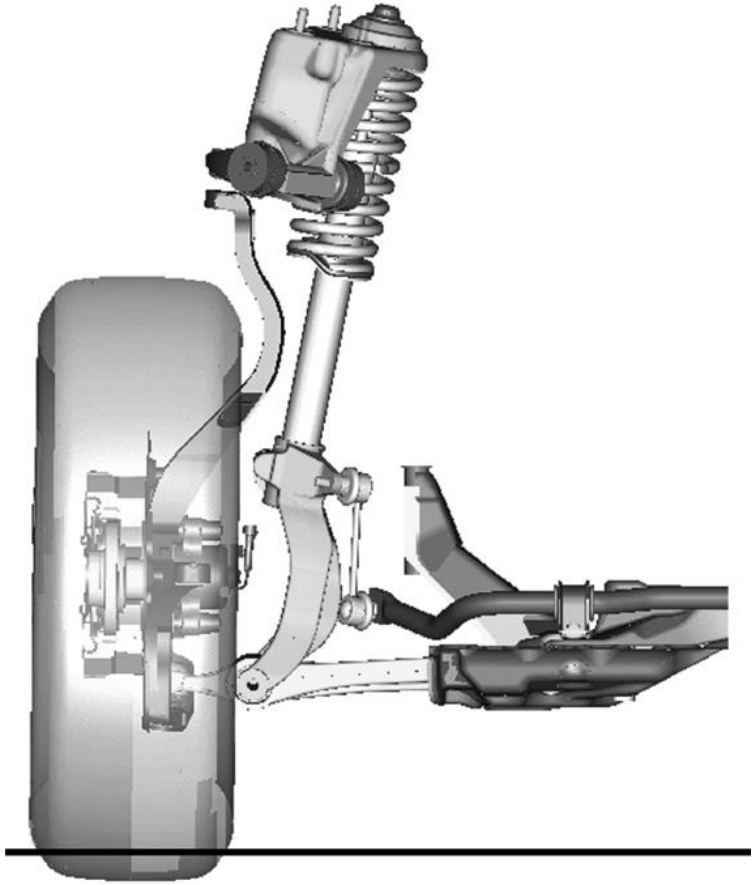
Double whishbone – IC migration



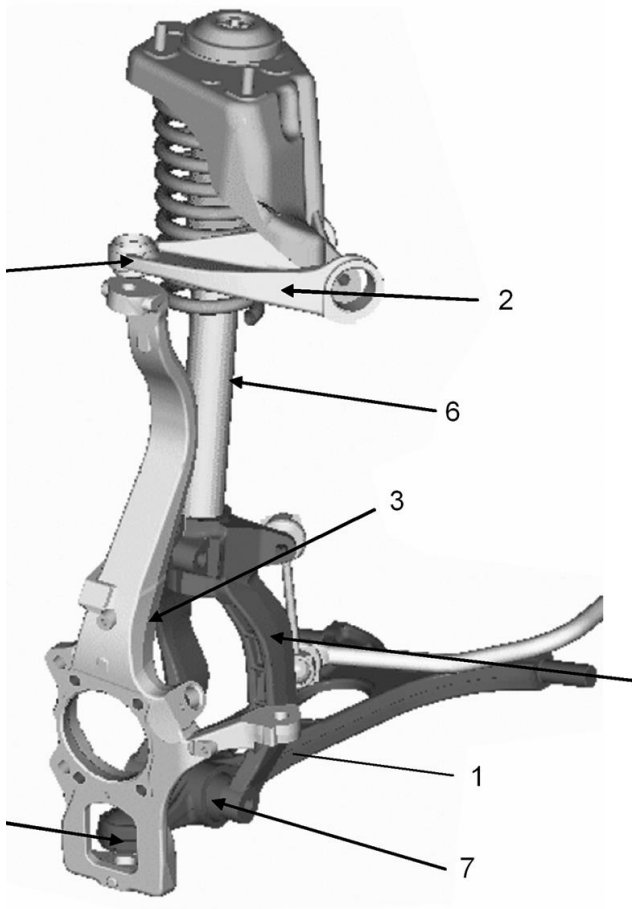


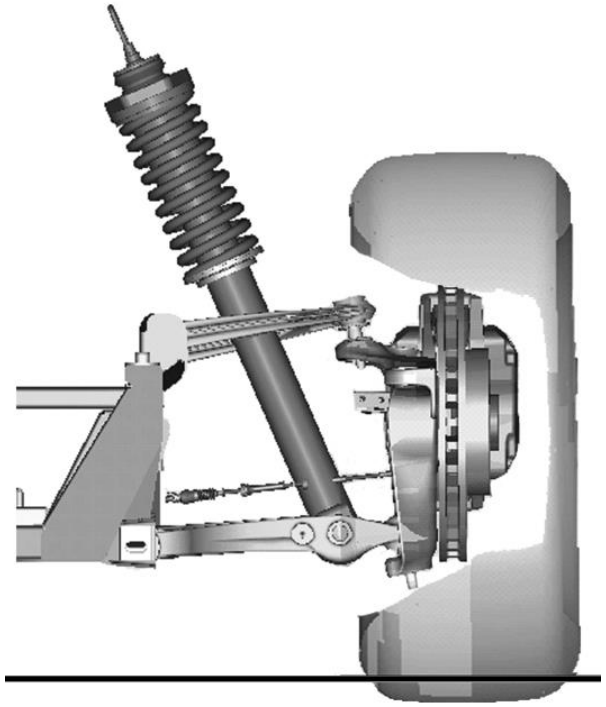
Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Double whishbone



Long strut

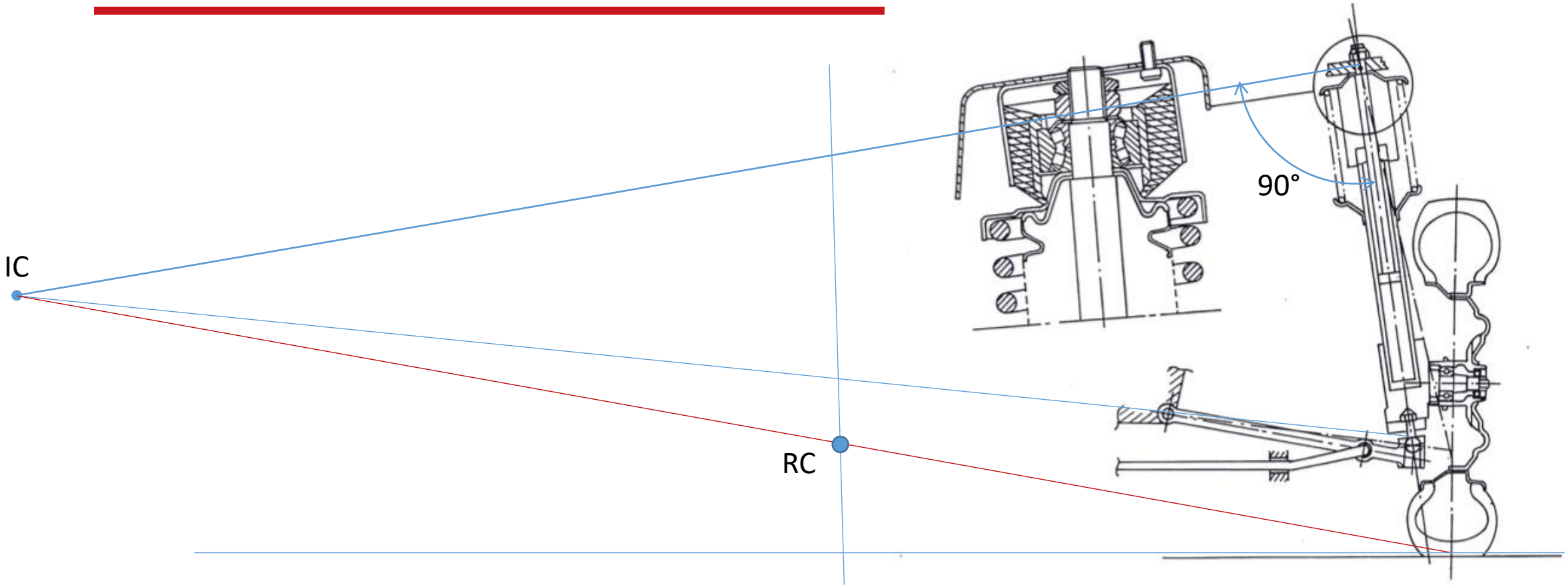




Short strut

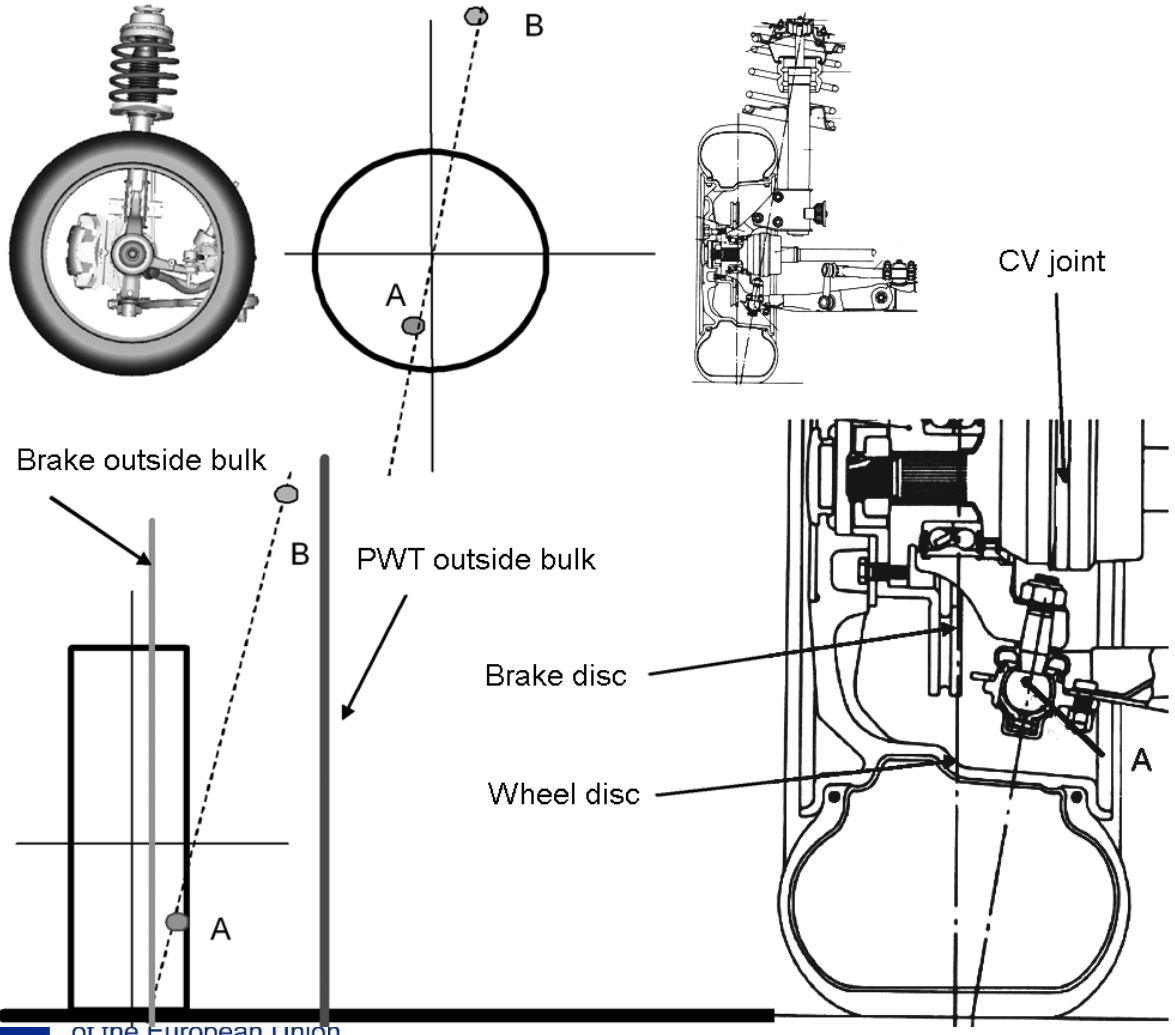
Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

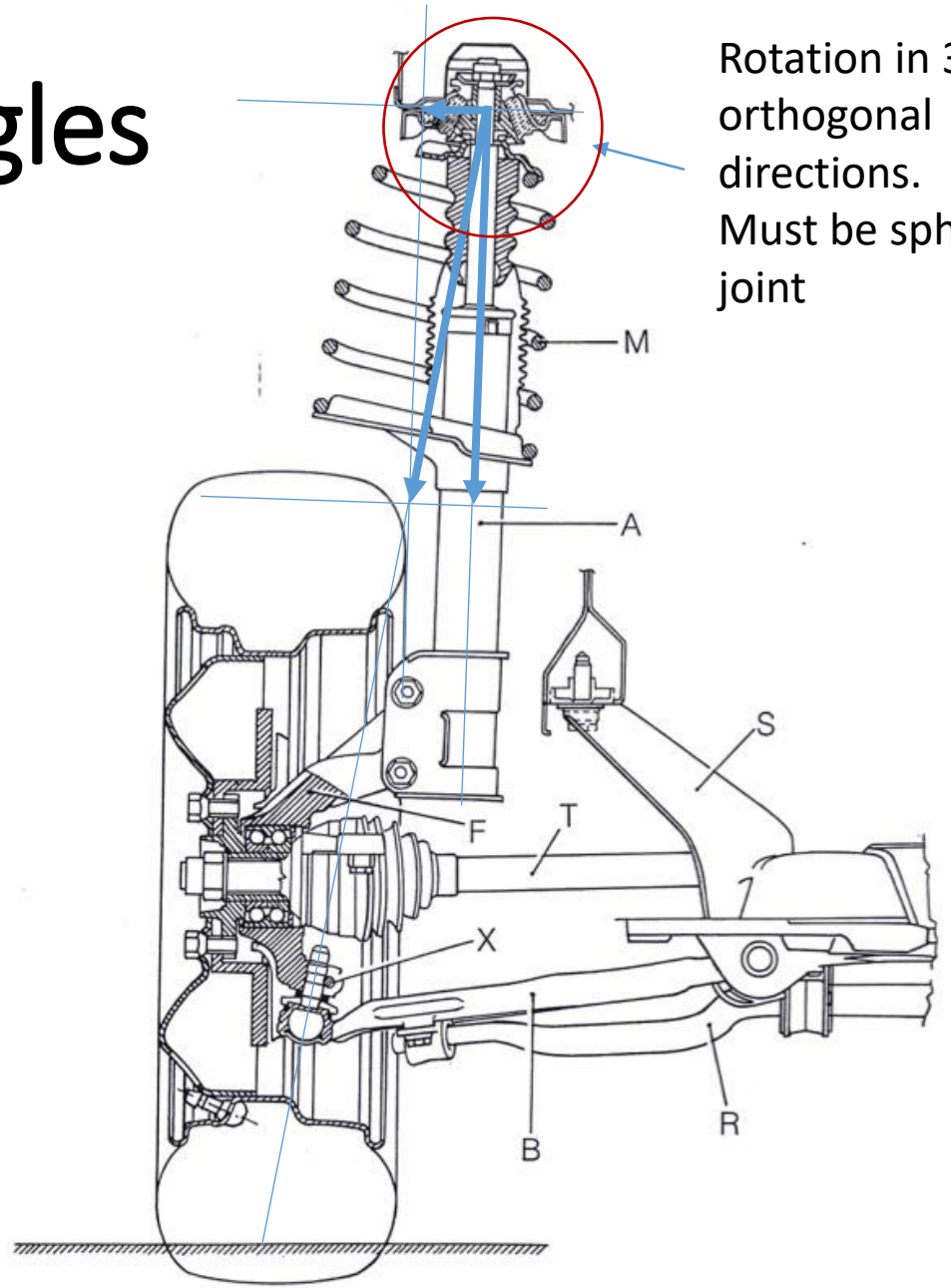
Mc Pherson IC and RC



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Mc Pherson – steering angles

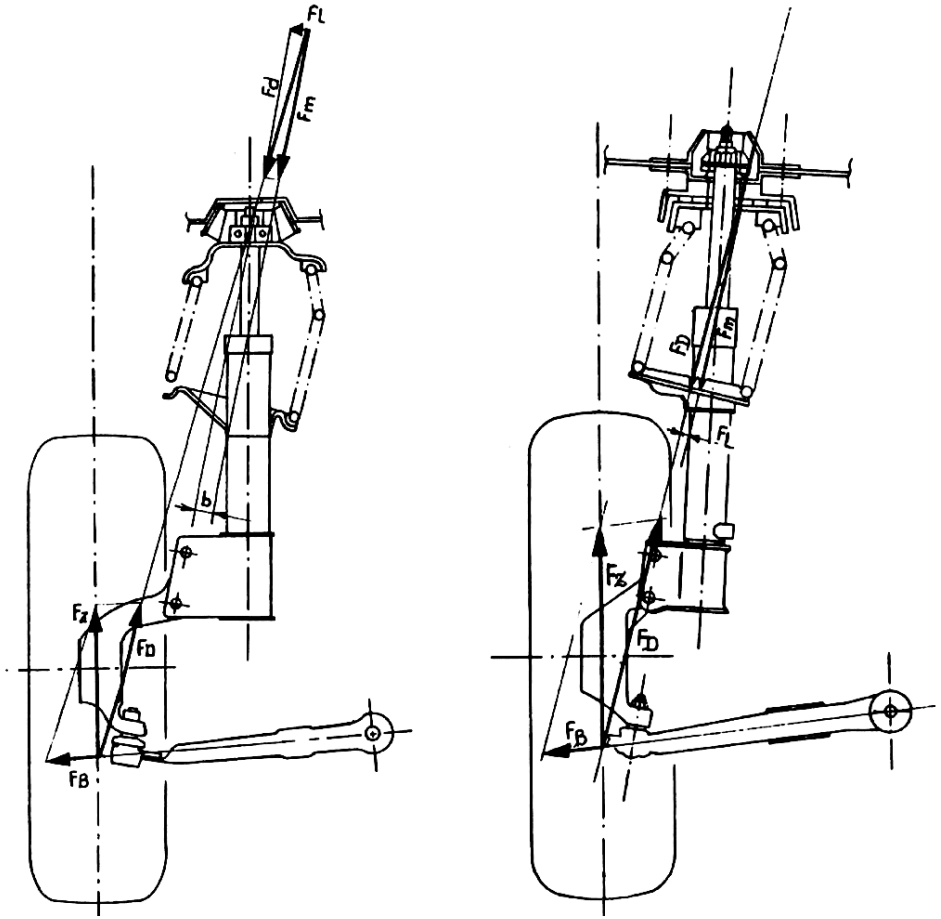


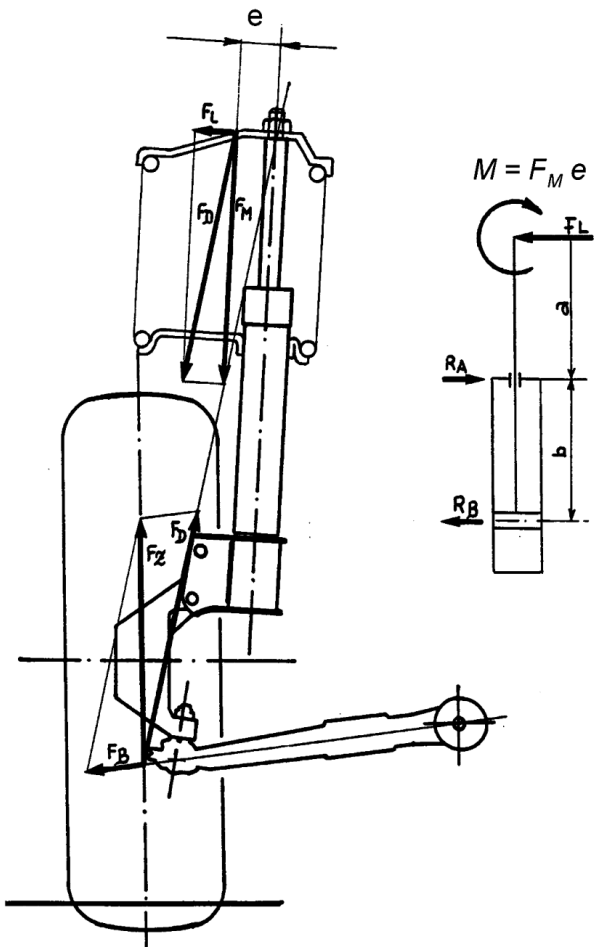


Rotation in 3 orthogonal directions.
Must be spherical joint

of the European Union

Mc Pherson spring offset





Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

SLOT 6: ระบบควบคุม

- ระบบควบคุมการปรับความสูง
- ระบบควบคุมช่วงล่างแบบหมุนเวียน
- การควบคุมม้วนแบบแอ็คทีฟ

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

ระบบควบคุมช่วงล่างปรับความสูง

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

โครงร่าง

- ทำไมระบบปรับความสูงในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล?
- อุตสาหกรรมที่ทันสมัยและเทคโนโลยี/สถาปัตยกรรมใหม่ที่เป็นไปได้.
- คุณสมบัติหลักของระบบกันสะเทือนปรับความสูงด้วยระบบไฟฟ้า.
- กรณีศึกษา.
- บทสรุป.

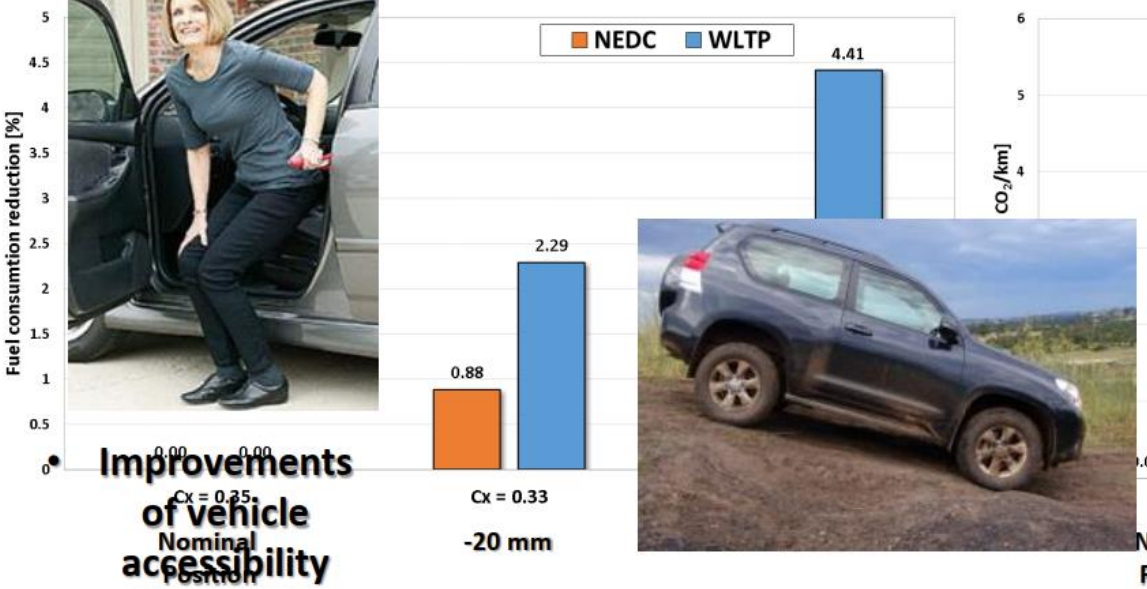
Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

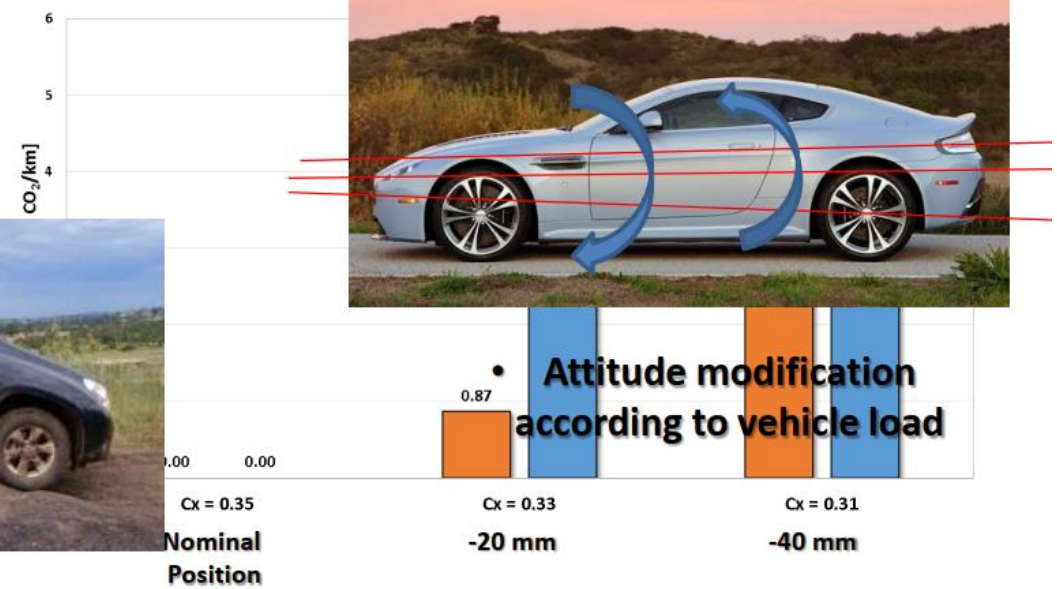
แรงจูงใจ

FUEL CONSUMPTION AND gCO_2/km REDUCTION

C_x reduction only in extra urban - A Segment Car

- Improvements of vehicle accessibility





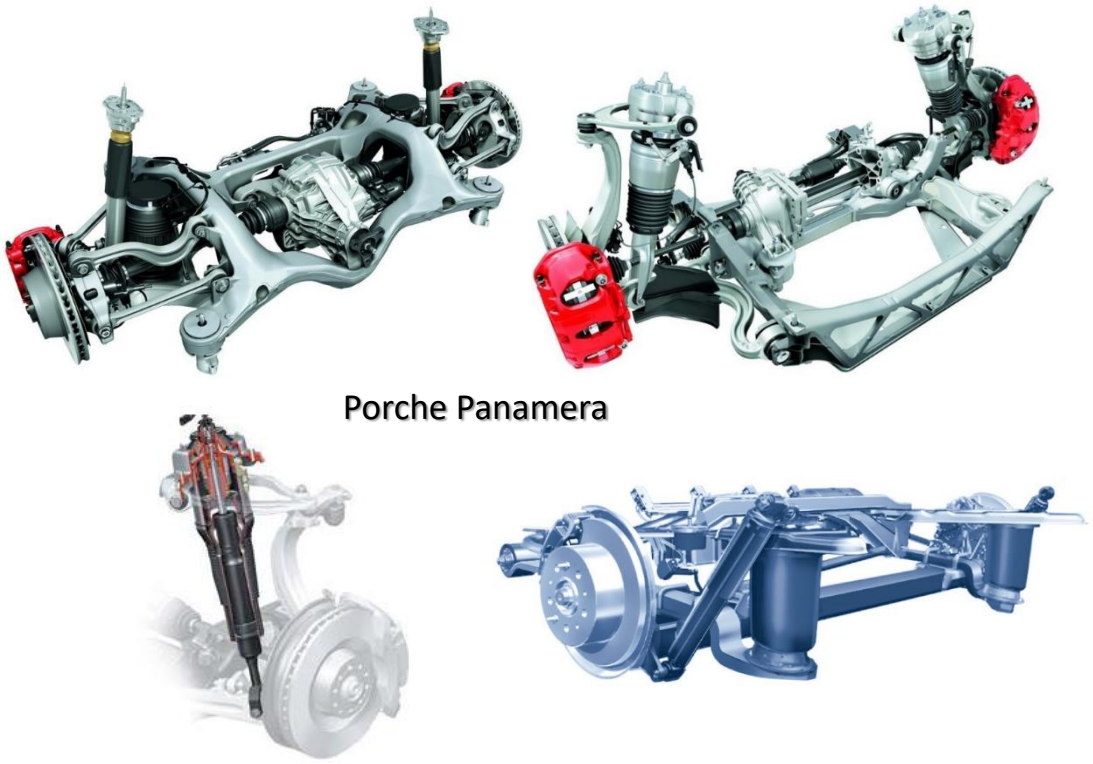
- Attitude modification according to vehicle load

- Off road attitude driving

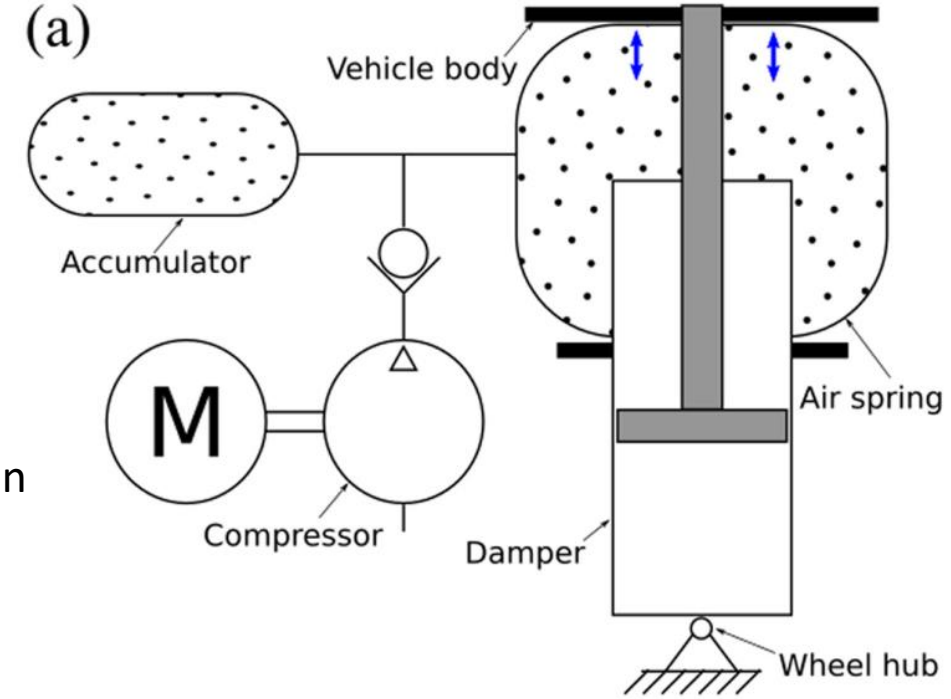
2015 – 2020 → from 130 to 95 gCo2/km → -35 gCO2/km (NEDC)

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

ระบบปรับความสูงด้วยลม



ZF Air suspension



Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Source: Porche, Audi, ZF and Amati

ระบบปรับความสูงไฮดรอลิก

การเคลื่อนที่ของจานล่างไฮดรอลิก

Magneti Marelli S.P.A., US 2015/0028552 A1, **2015**

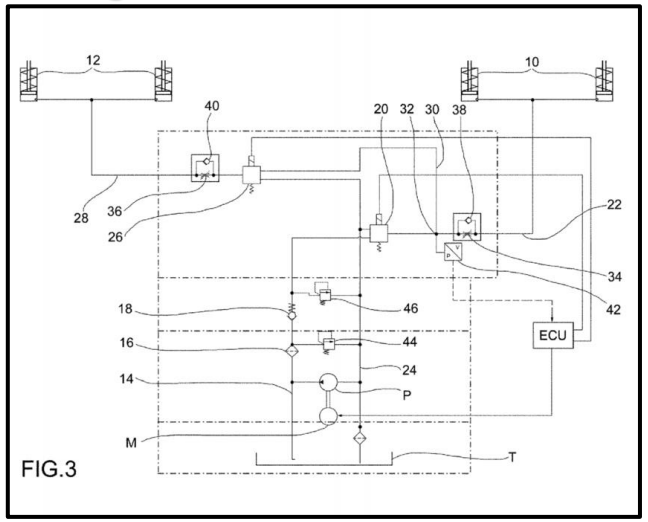
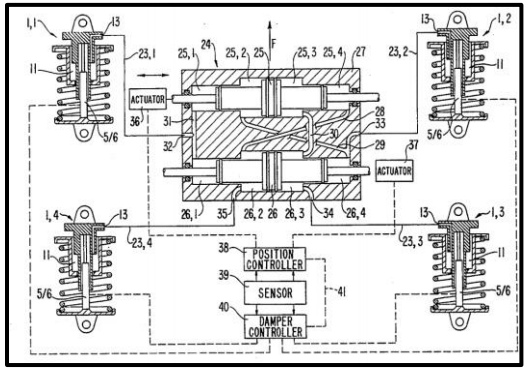
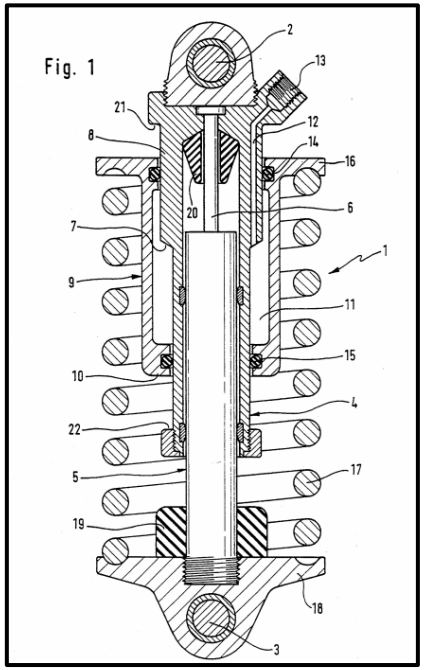


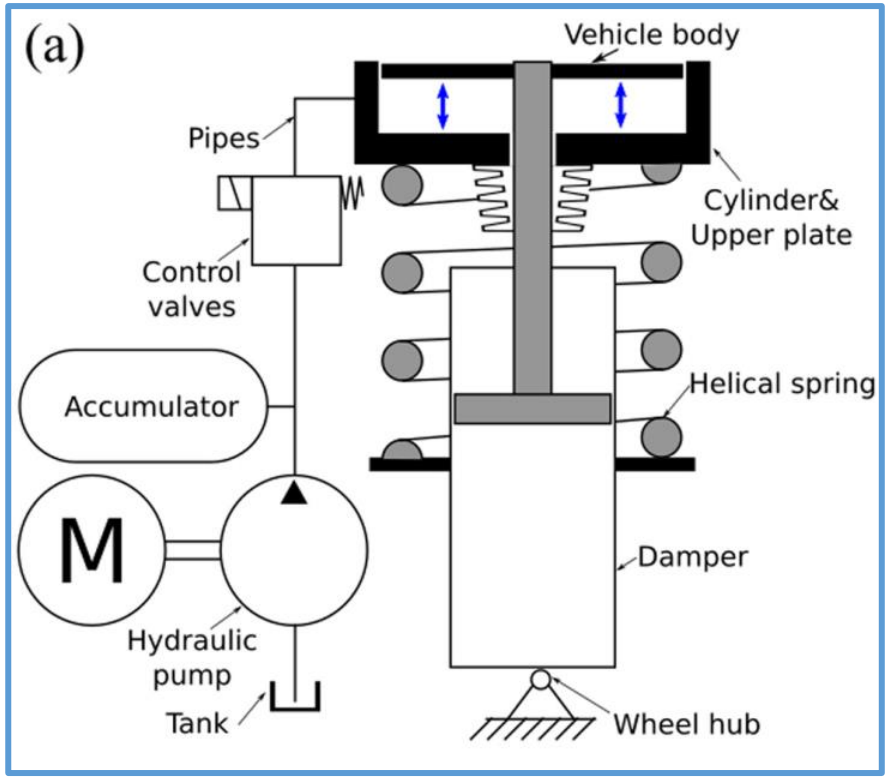
FIG.3



Hydraulic Upper Plate Movimentation

Mercedes, US 5401053A, **1995**

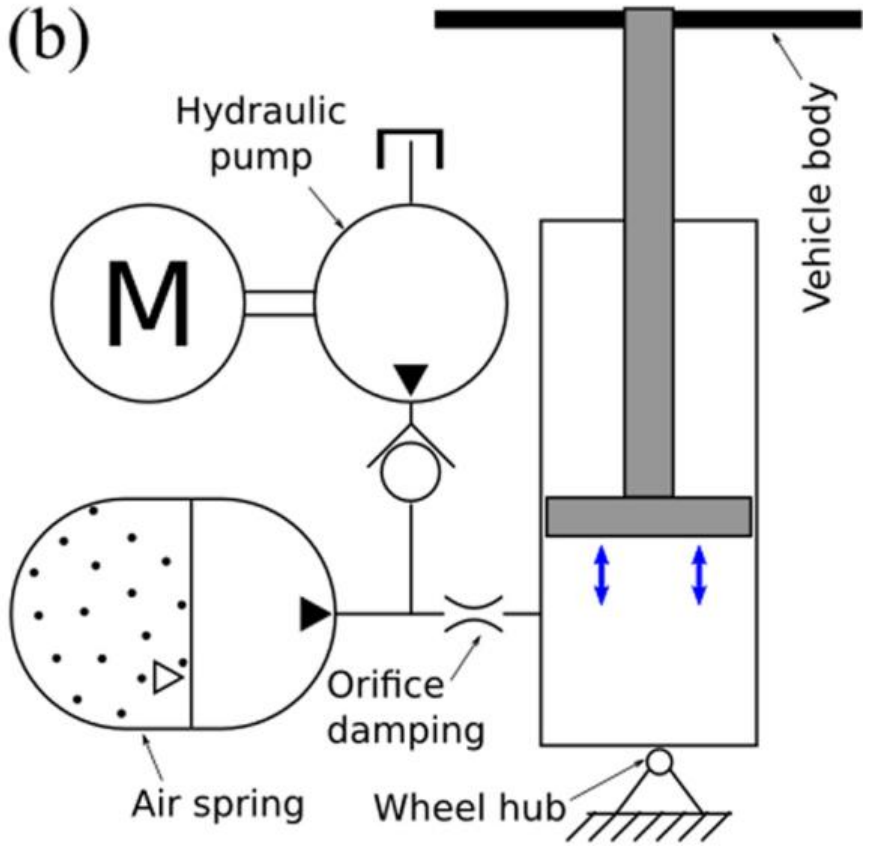




Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

ระบบปรับความสูงด้วยพลังน้ำ

Citroen Hydroactive 2



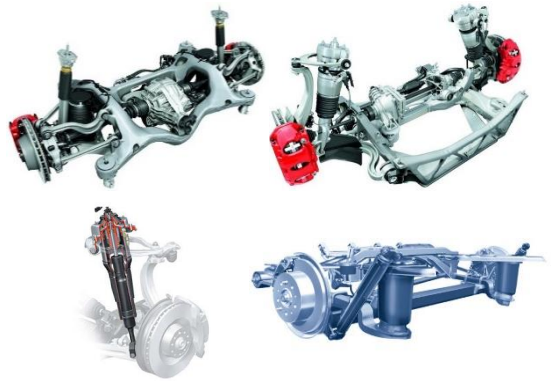
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Available Solutions on Market

ระบบกันสะเทือนไฮดรอลิก

ระบบกันสะเทือนของอากาศ

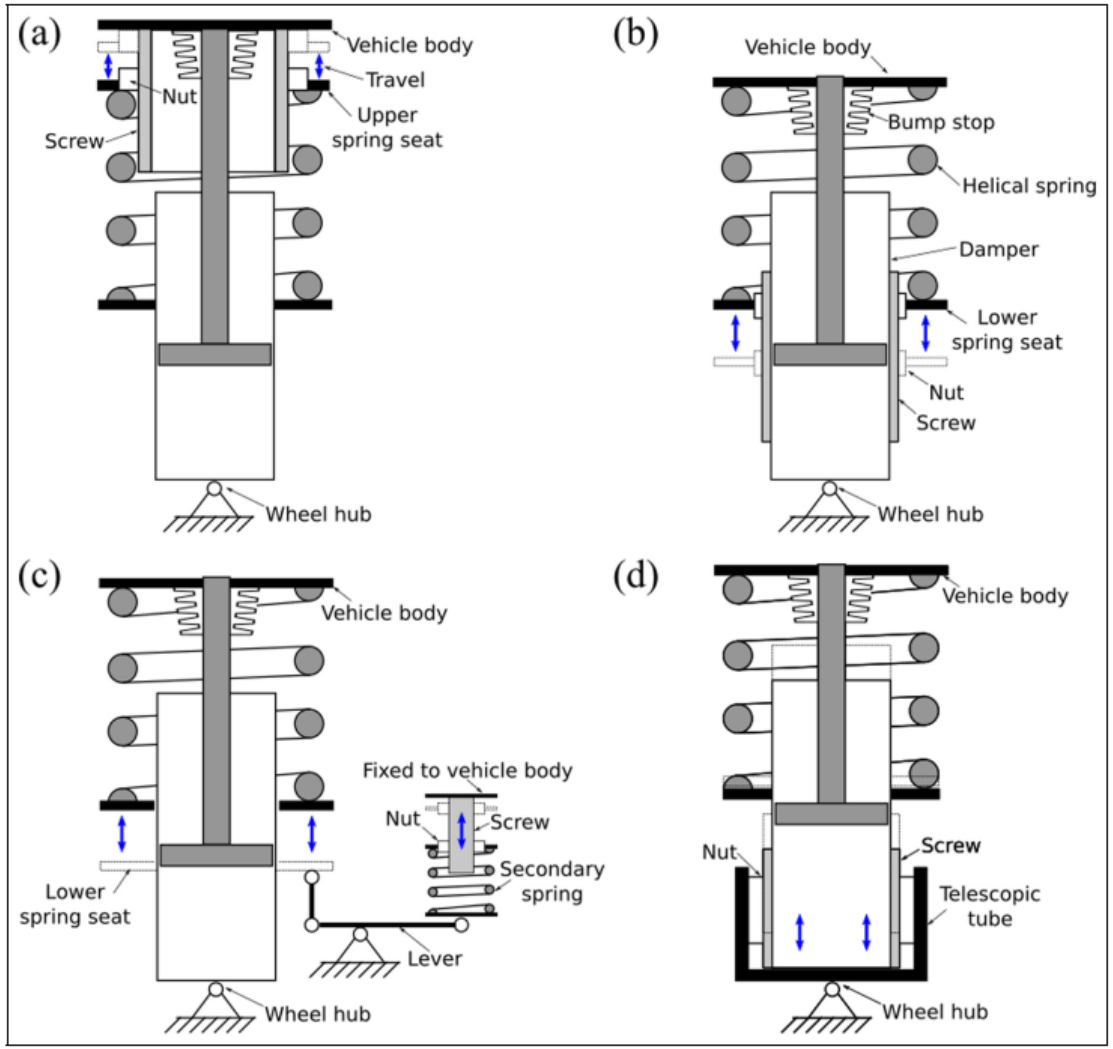
ระบบกันสะเทือนแบบไฮโดรนิวแมติก



- ความซับซ้อนของระบบและต้นทุนสูง;
- ต้องการพื้นที่ขนาดใหญ่ ไม่เหมาะกับรถคอมแพ็ค;
- สปริงลมทำงานควบคู่ไปกับโช้คอัพ (ระยะยุบตัว);
- รถยนต์ระดับไฮเอนด์.

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

ระบบปรับความสูงของเครื่องกลไฟฟ้า

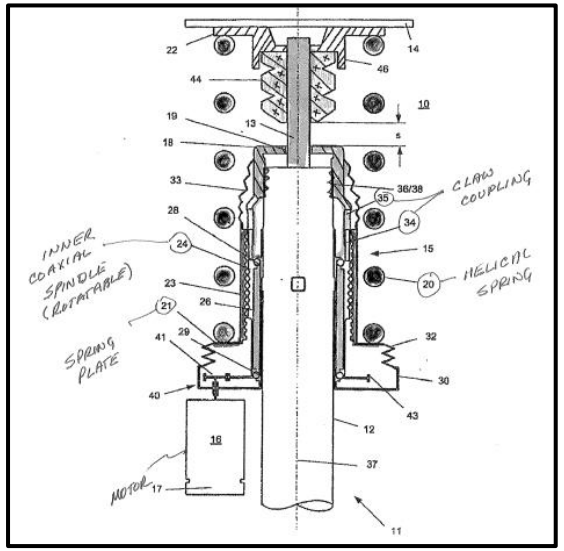


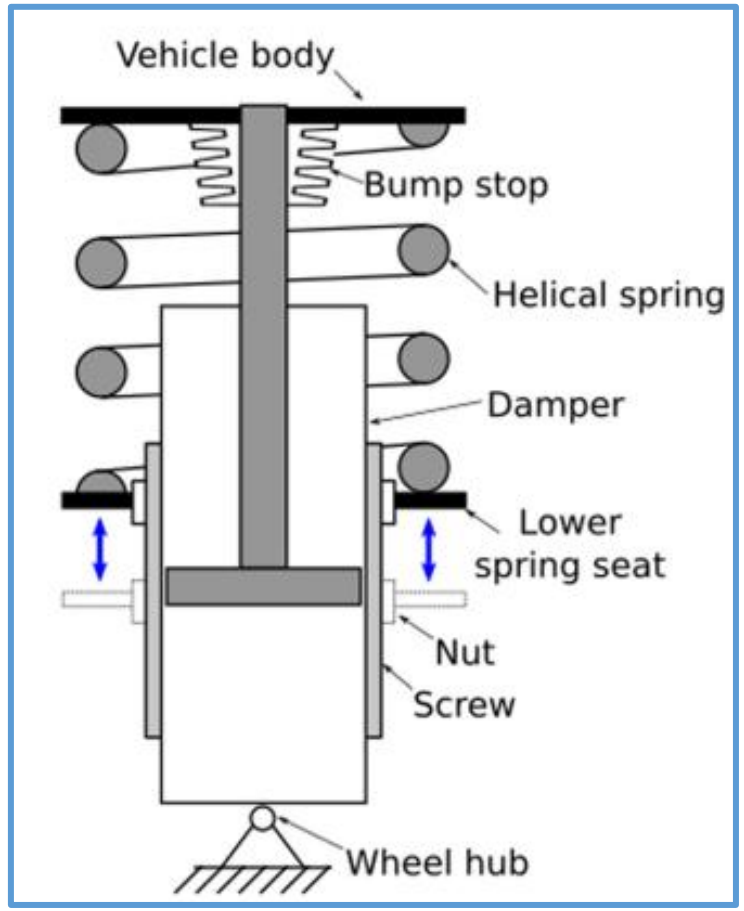
- ความเรียบง่ายของระบบ;
- ต้นทุนค่อนข้างต่ำ;
- ขนาดกะทัดรัด;
- ความเป็นโมดูล;
- ความน่าเชื่อถือสูง;
- ส่วนรถต่ำ.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

การกำหนดค่าที่เป็นไปได้: การเคลื่อนที่ของแผ่นด้านล่าง

- การเคลื่อนที่ของจานล่างโดยตรงทางกล
  - Audi AG, US 2009/0146385A1, **2009**





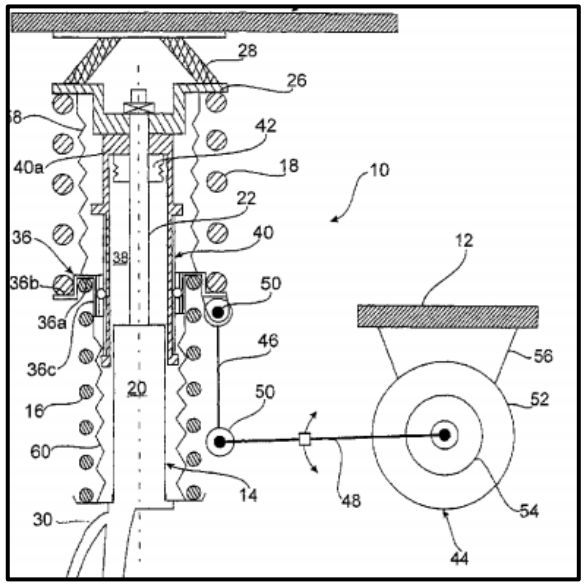
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

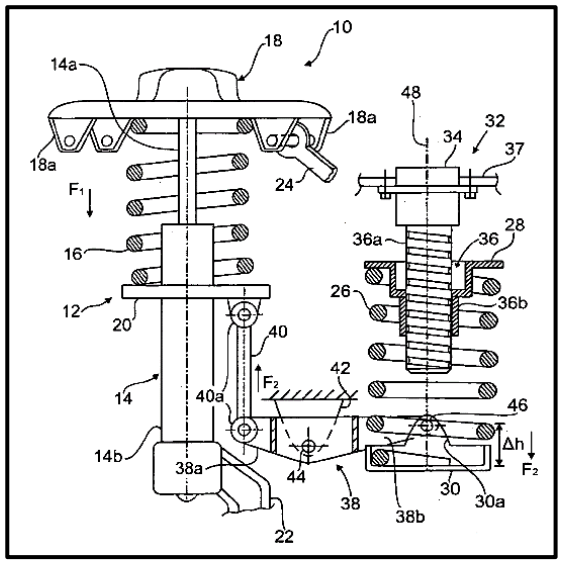
การกำหนดค่าที่เป็นไปได้: การเคลื่อนที่ของแผ่นด้านล่าง

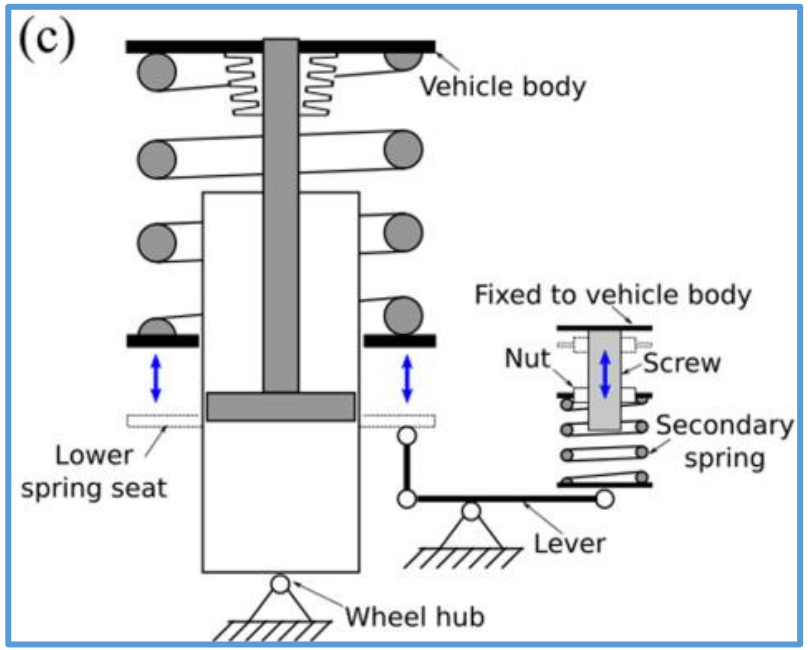
- การเคลื่อนที่ของจานล่างด้วย

Leverages

- Audi AG, US 8317003B2, **2012**
- Audi AG, EP 2199121B1, **2014**



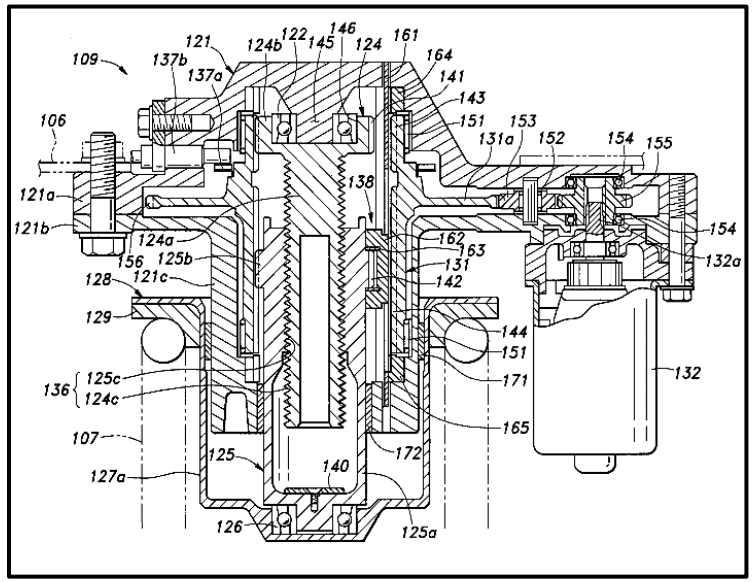


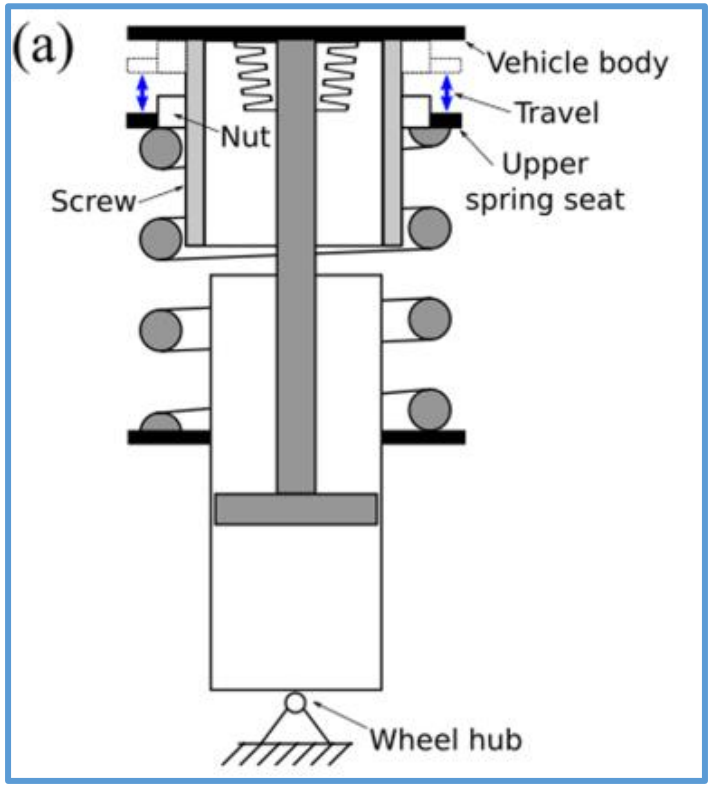


Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

การกำหนดค่าที่เป็นไปได้: การเคลื่อนที่ของแผ่นด้านบน

- การเคลื่อนย้ายเพลทบนเครื่องกล
  - Audi AG, EP 1970227A2, **2007**
  - Honda, US7922181B2, **2011**

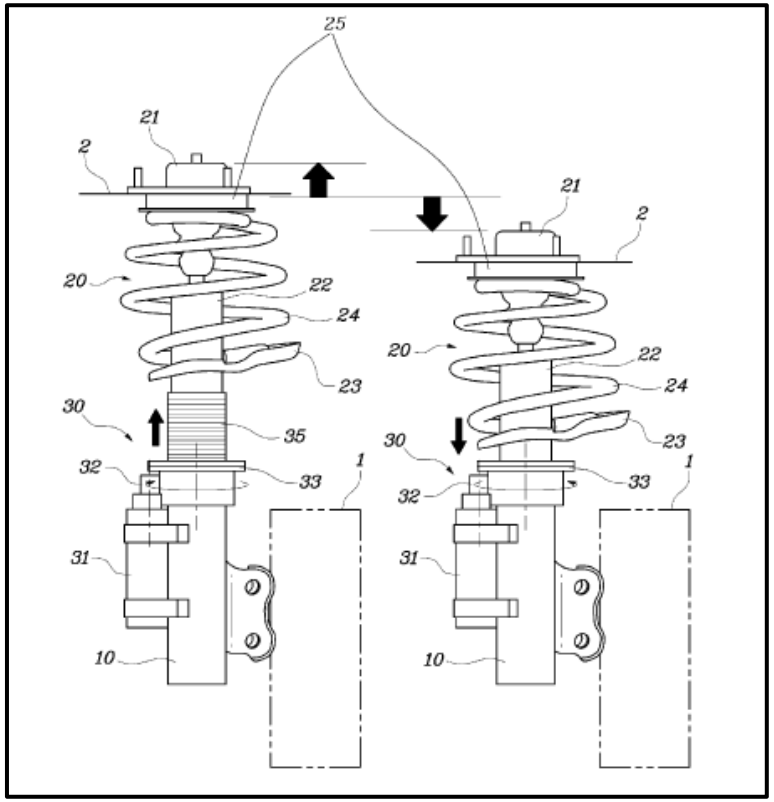


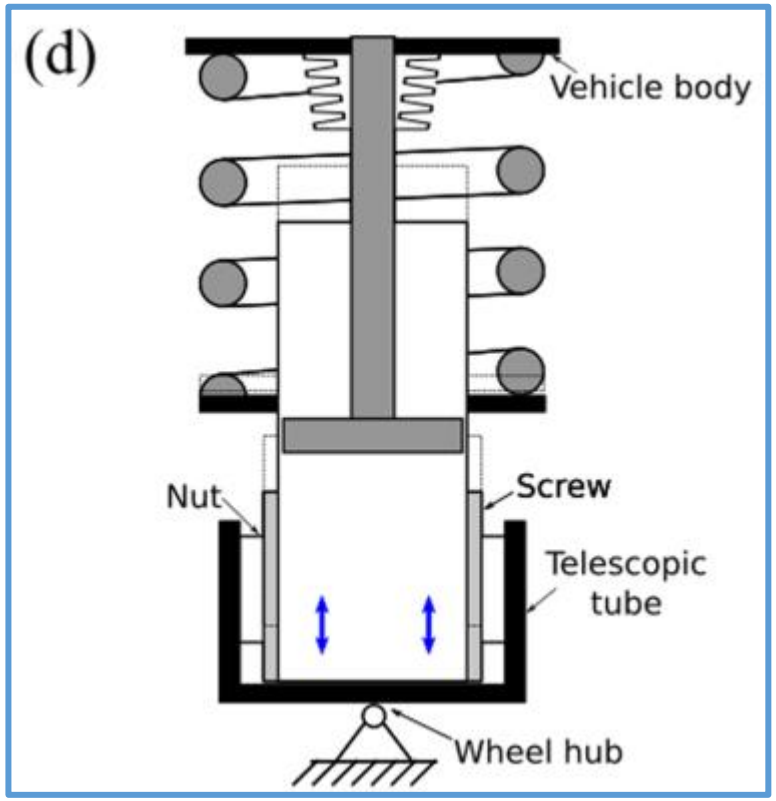


Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

การกำหนดค่าที่เป็นไปได้

- การเคลื่อนที่ของท่อโช้คอัพ
  - Hyundai, US 8833775B2, **2014**





Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

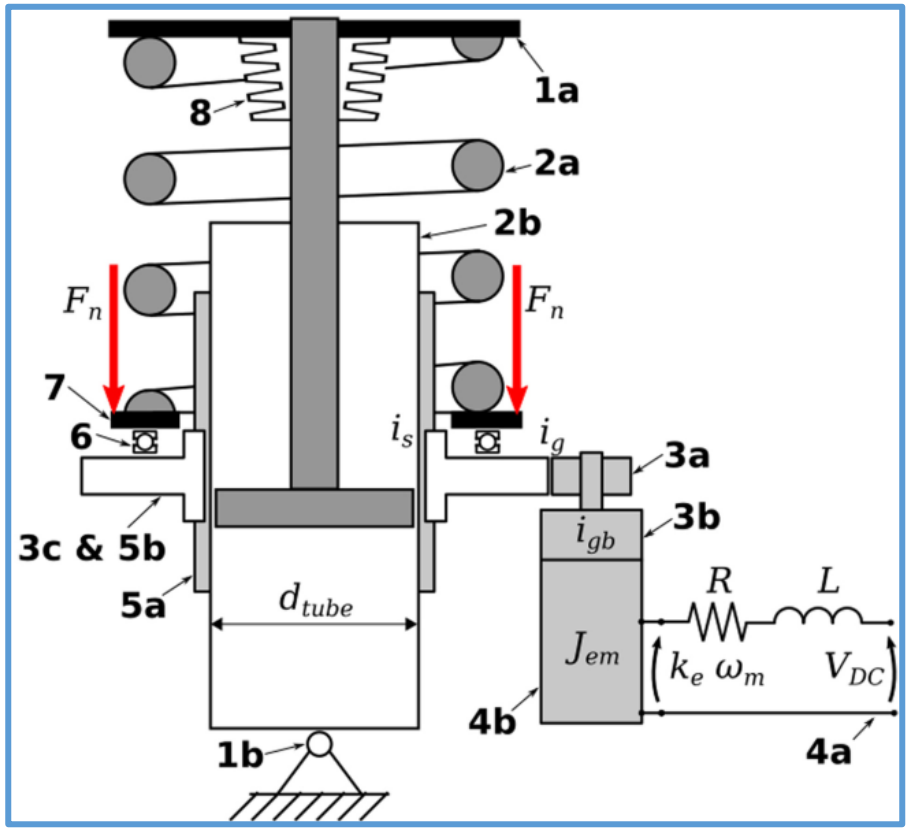
สรุป

Features / *Type*	Efficiency	Mechanical Complexity	Packaging	Additional Mass (S/US)	Modifications of suspension characteristics	Attitude for Slow active	Score
Spring holder, Mechanical	★	★★★	★ ★	US	★ ★	no	8
Lower Plate, Hydraulic	★ ★	★ ★	★	US	★ ★	yes	7
Spring holder, eccentric actuation	★ ★	★ ★	★	US	★ ★	no	7
Upper Plate, Mechanical	★ ★	★	★	S	★ ★	no	6
Upper Plate, Hydraulic	★ ★	★ ★	★	S	★ ★	yes	7
S.A. Tube	★	★	★ ★	US	★★★	no	7

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

วิธีแก้ปัญหาที่เสนอ: ด้านหน้า

- ไอเดียพื้นฐาน:
  - ลดลง/ยกแผ่นสปริงด้านล่างขึ้นโดยใช้ตัวกระตุ้นไฟฟ้า
  - ตำแหน่งปลายทางไม่ได้รับการแก้ไข:
    - ไม่มีการปรับเปลี่ยนจังหวะทั่วโลก
    - ไม่มีการหยุดโหลดบนกลไก
    - ปัญหาความสบายเนื่องจากตำแหน่งศูนย์ที่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับจังหวะโลก

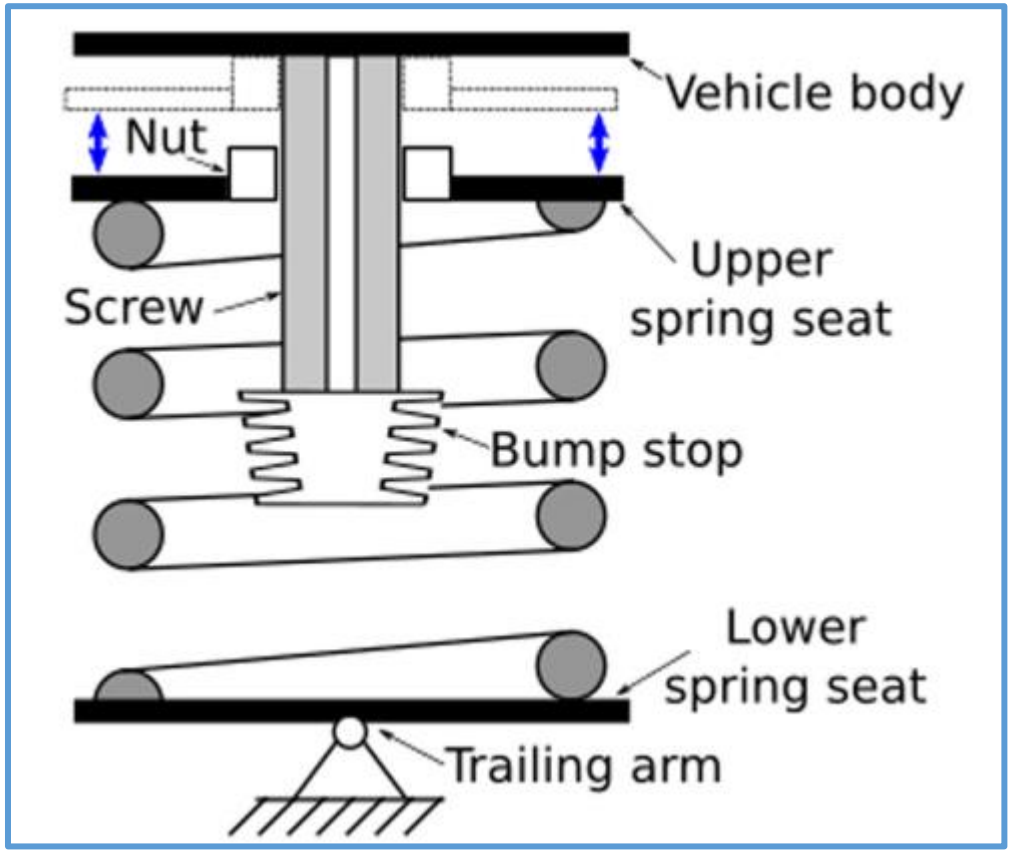


Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

วิธีแก้ปัญหาที่เสนอ: ด้านหลัง

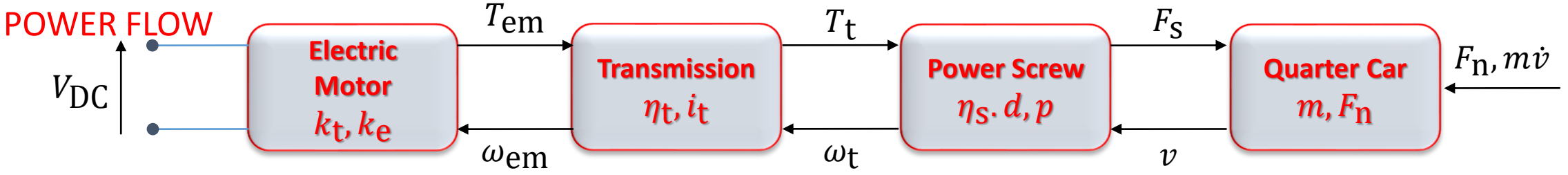
- ไอเดียพื้นฐาน:
  - ลดลง/ยกแผ่นสปริงด้านล่างขึ้นโดยใช้ตัวกระตุ้นไฟฟ้า
  - ตำแหน่งปลายทางไม่ได้รับการแก้ไข:
    - ไม่มีการปรับเปลี่ยนจังหวะทั่วโลก
    - ไม่มีการหยุดโหลดบนกลไก
    - ปัญหาความสบายเนื่องจากตำแหน่งศูนย์ที่แตกต่างกัน

    เมื่อเทียบกับจังหวะโลก



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

ขั้นตอนการออกแบบ



- นิยามประสิทธิภาพ
  - ความยาวจังหวะ - s [mm]
  - เวลาเปิดใช้งาน - t [s]
  - โหลด - F_n [N]
  - กำลังรวมสูงสุด - $P_{\max}$ [W]
- EM การคำนวณกำลังไฟฟ้า

$$\begin{Bmatrix} \dot{\omega}_{em} \\ \omega_{em} \\ \dot{I} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{k_t}{J_{eq}} \\ 1 & 0 & 0 \\ -\frac{k_e}{L} & 0 & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \omega_{em} \\ \theta_{em} \\ I \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{J_{eq}} \\ 0 & 0 \\ \frac{1}{L} & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} V_{DC} \\ T_r \end{Bmatrix}$$

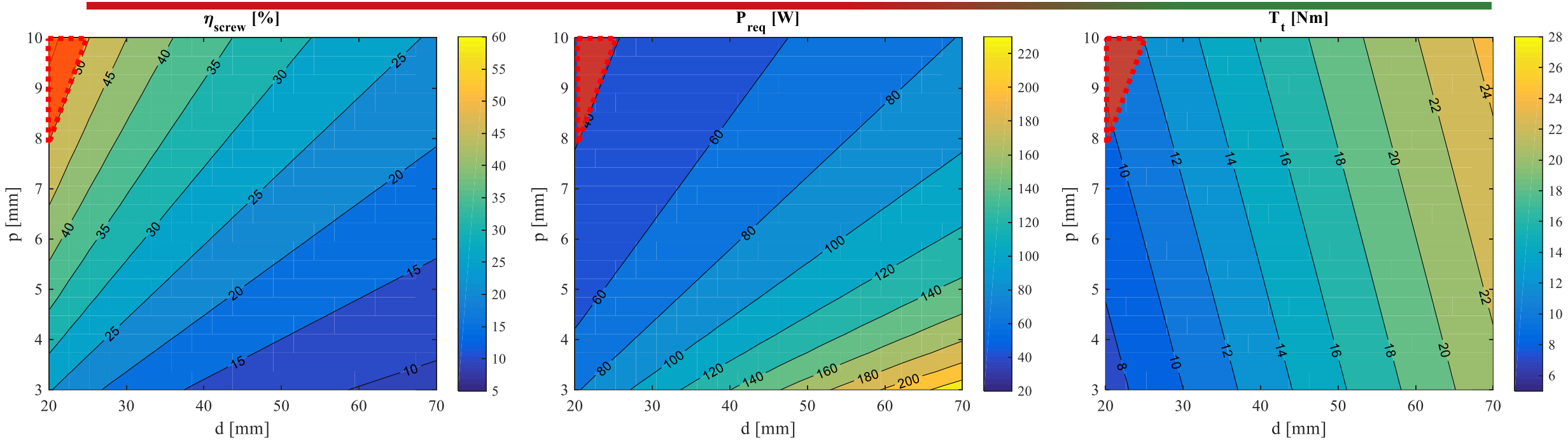
$$P_{req,EM} = \frac{F_n}{\eta_{tot}} \cdot \frac{s}{t}$$

- ประสิทธิภาพการส่งสัญญาณสามารถประมาณได้
- ประสิทธิภาพของสกรูสามารถคำนวณได้จากค่าต่างๆ ของเส้นผ่านศูนย์กลางและระยะพิทช์

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

ขั้นตอนการออกแบบ

การคำนวณตัวแปร



- ยิ่งเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เท่าไร ประสิทธิภาพก็ยิ่งเล็กลงเท่านั้น กำลังและแรงบิดที่ต้องการเพิ่มขึ้น;
- การเลือกกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า;
- การเลือกอัตราส่วนลดการส่ง.

ข้อจำกัดที่ไม่สามารถย้อนกลับได้

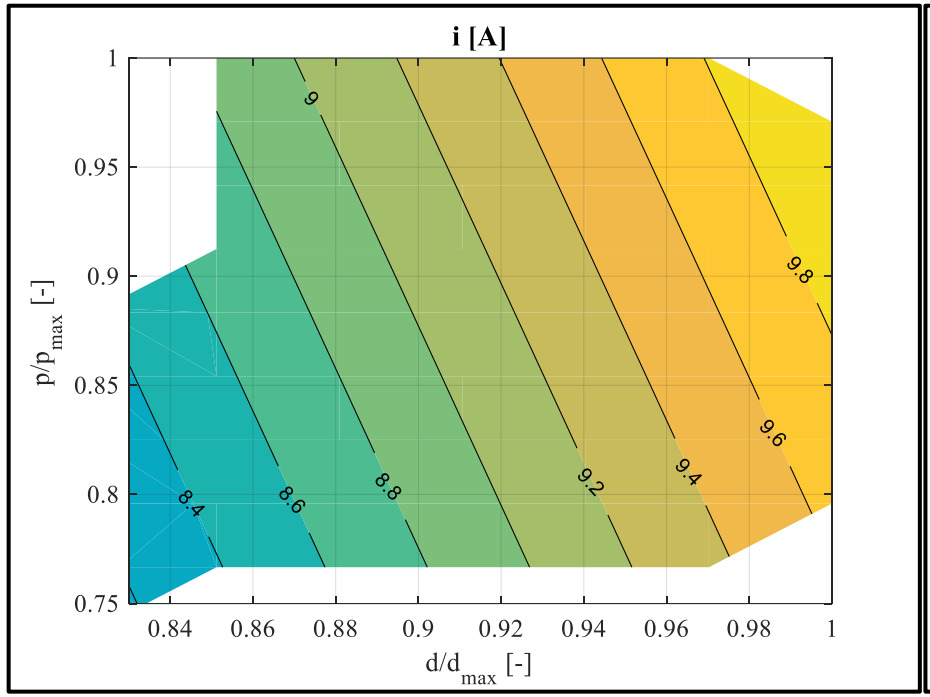
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

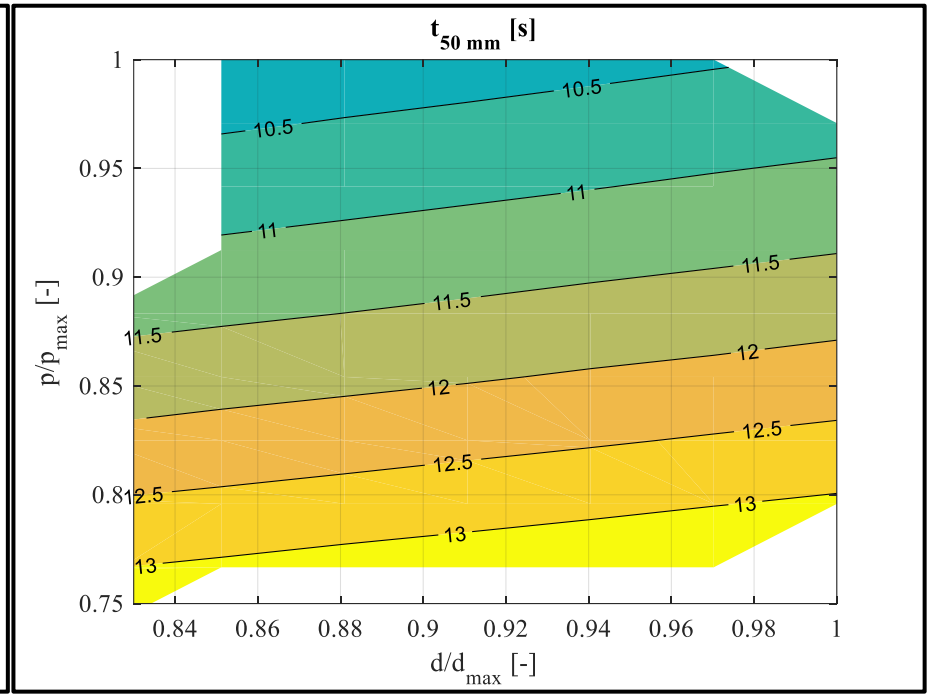
ขั้นตอนการออกแบบ

ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพ – ช่วงล่างด้านหน้า (McPherson)

ข้อจำกัด

$$\begin{cases} \eta_s < 50\% \\ d_{in,s} > d_{tube} \\ i < i_{th} \\ t_{50\,mm} < t_{max} \end{cases}$$

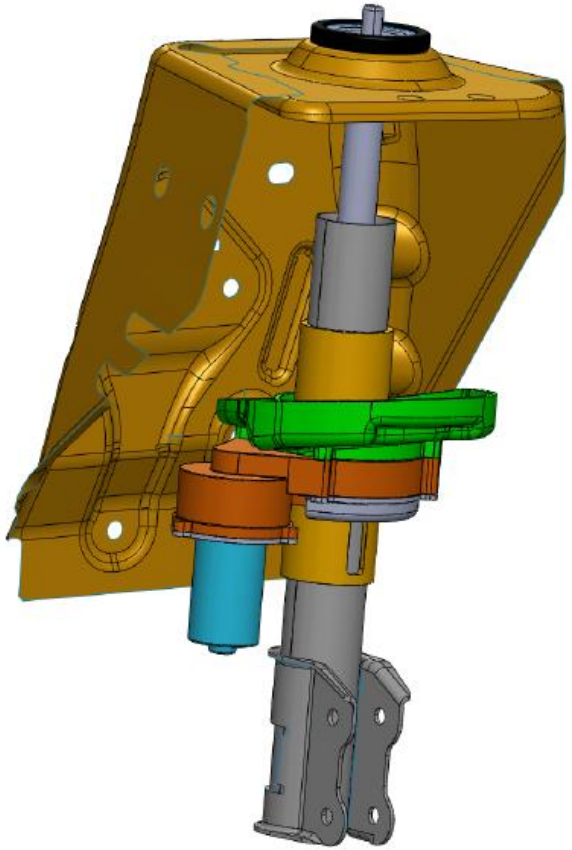


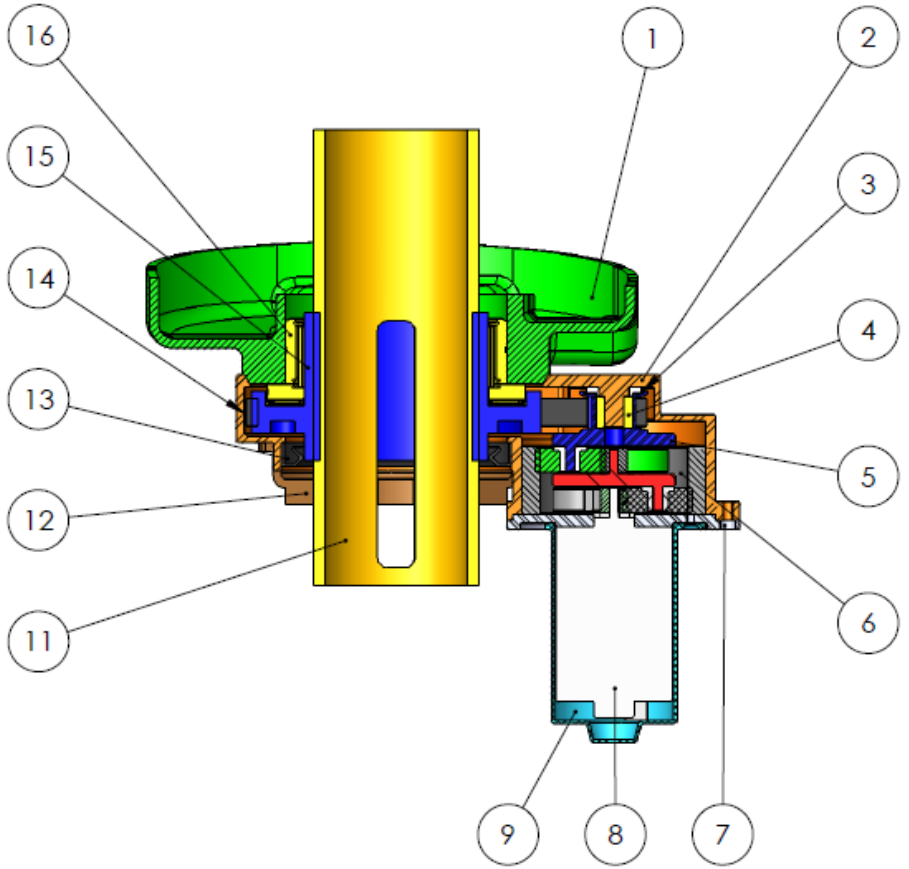


Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

การออกแบบต้นแบบ

ช่วงล่างด้านหน้า (McPherson)

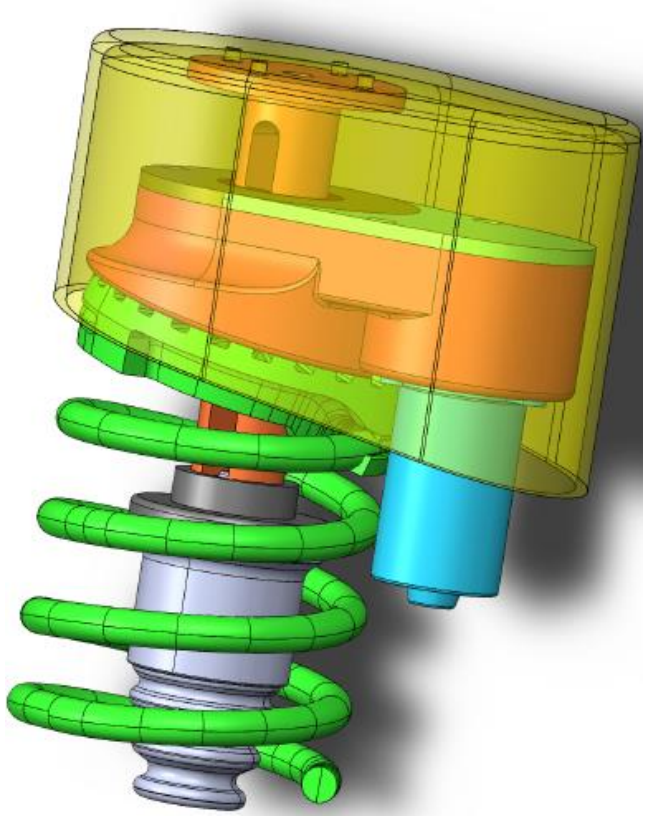


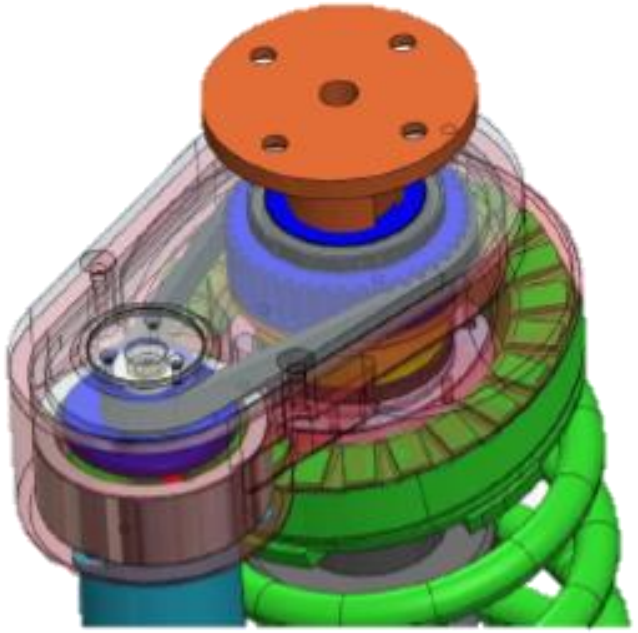


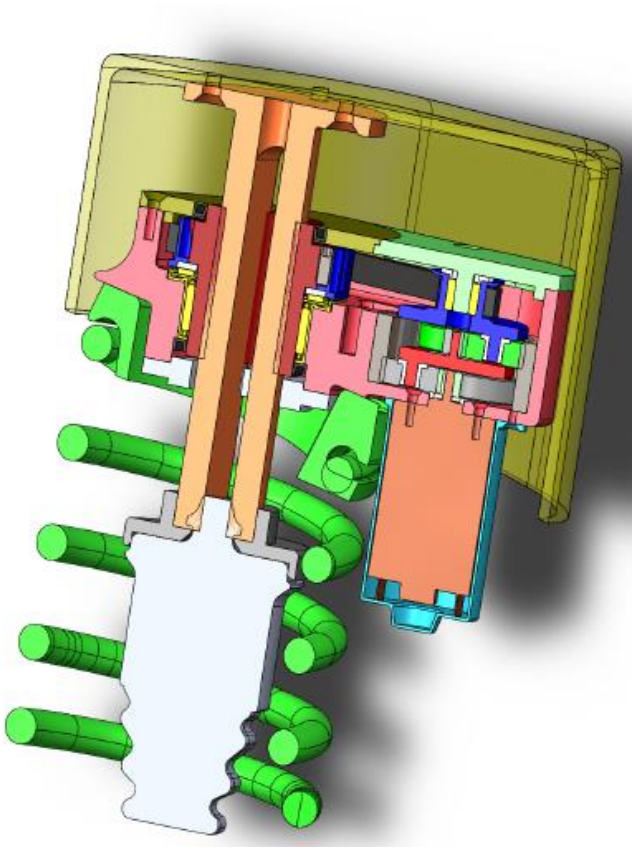
ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Spring holder	1
2	Motor support	1
3	Pulley bushing	1
4	Needle bearing	1
5	Small pulley+carrier	1
6	Geartrain assembly	1
7	Motor support cover	1
8	DC electric motor	1
9	Motor cover	1
10	Shock absorber tube	1
11	Power screw	1
12	Anti rotation system	2
13	Sealing ring	1
14	Timing HTD Belt	1
15	Large pulley	1
16	Combined bearing	1

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

ระบบกันสะเทือนหลัง



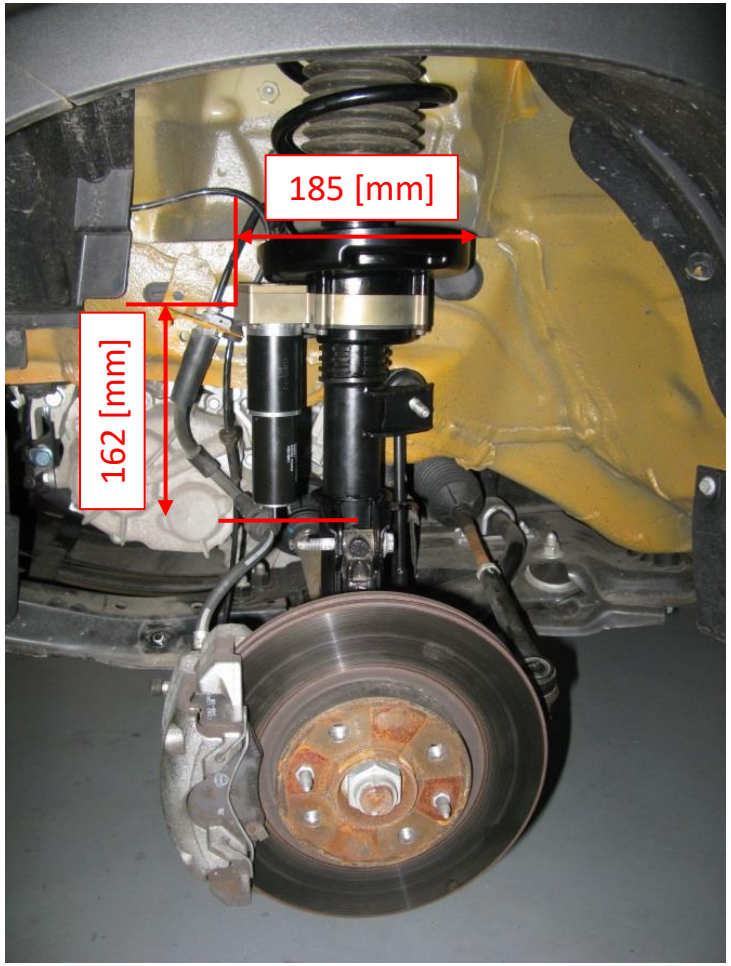




Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

การสร้างต้นแบบ

ส่วนประกอบช่วงล่างด้านหน้า

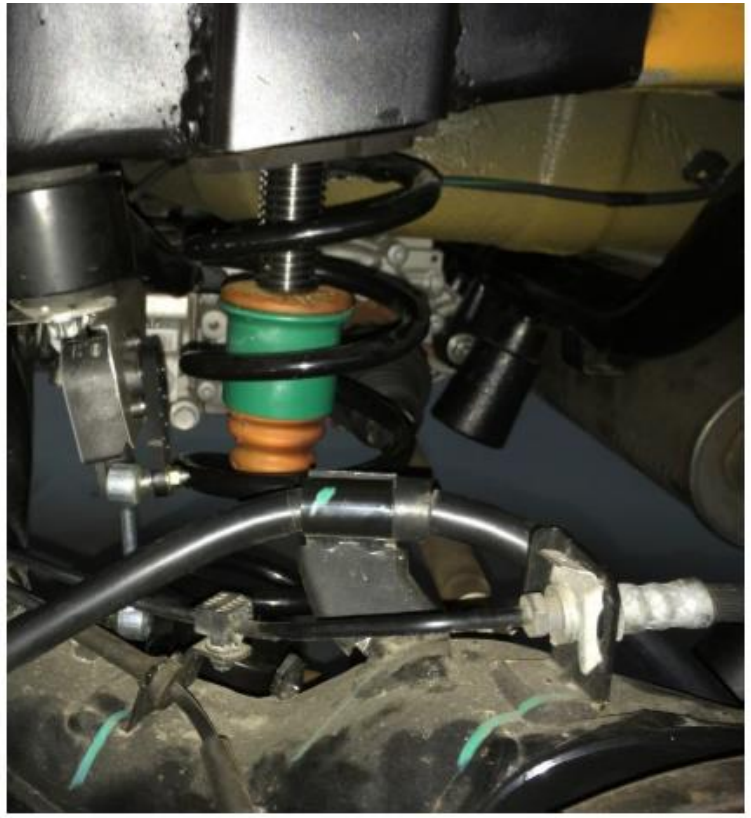


- มวลเพิ่มทั้งหมด = 2.2 kg (unsprung mass)

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

การสร้างต้นแบบ

ส่วนประกอบช่วงล่างด้านหลัง

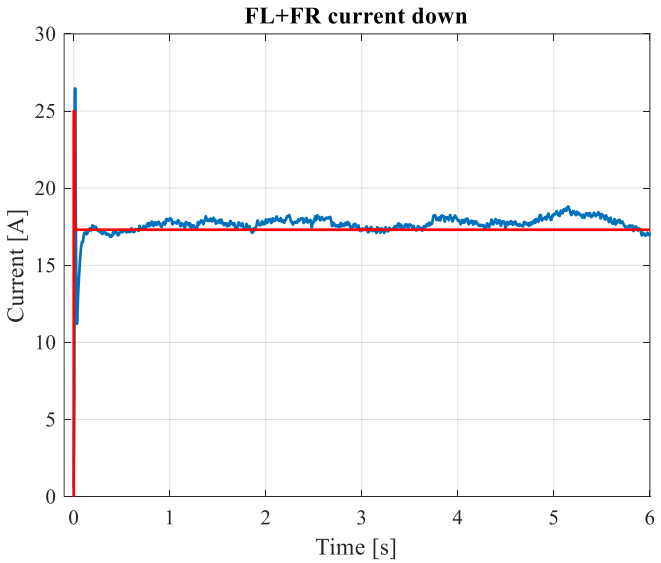


- Total added mass= 2.1 kg (sprung mass)

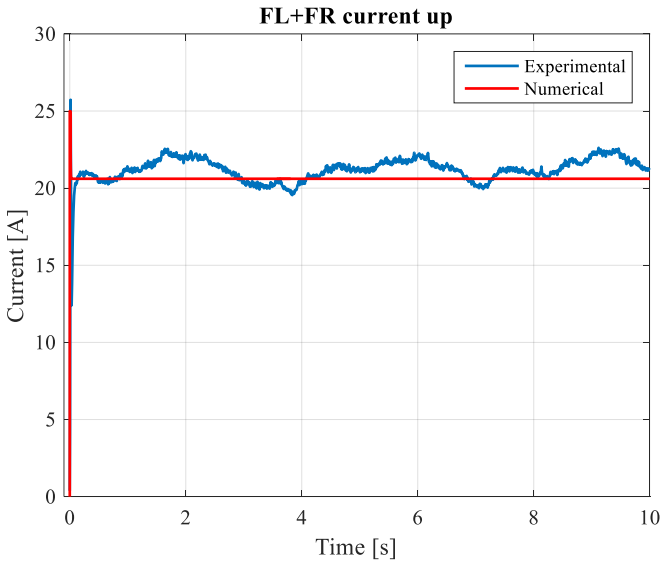
Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

การตรวจสอบการทดลอง

การดูดซับกระแสไฟช่วงล่างด้านหน้า



$$i_{mean} = 17\ A$$
$$P_{mean} = 200\ W$$



$$i_{mean} = 21\ A$$
$$P_{mean} = 250\ W$$

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

บทสรุป

- ระบบกันสะเทือนแบบปรับความสูงดูเหมือนจะเป็นเทคโนโลยีที่มีแนวโน้มว่าจะลดการใช้เชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษ โดยเพิ่มคุณสมบัติอย่างเช่น การออกแบบออฟโรด และการเข้าถึงได้;
- ระบบกระตุ้นการทำงานของเครื่องกลไฟฟ้าแสดงให้เห็นถึงการประนีประนอมที่ดีที่สุดระหว่างผลประโยชน์และต้นทุนในอุปกรณ์ปรับความสูง;
- จำเป็นต้องมีการออกแบบแบบบูรณาการเพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างขนาด น้ำหนัก และการใช้พลังงาน;
- การทดสอบทดลองที่ดำเนินการกับต้นแบบได้เน้นถึงประเด็นสำคัญ เช่น ประสิทธิภาพของสกรู อุปกรณ์ป้องกันการหมุน และบรรจุภัณฑ์;
- การกระตุ้นที่แตกต่างดูเหมือนจะเป็นสร้างความสมดุลที่ดีในแง่ของประสิทธิภาพ ความทนทาน และบรรจุภัณฑ์

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

การปรับปรุง

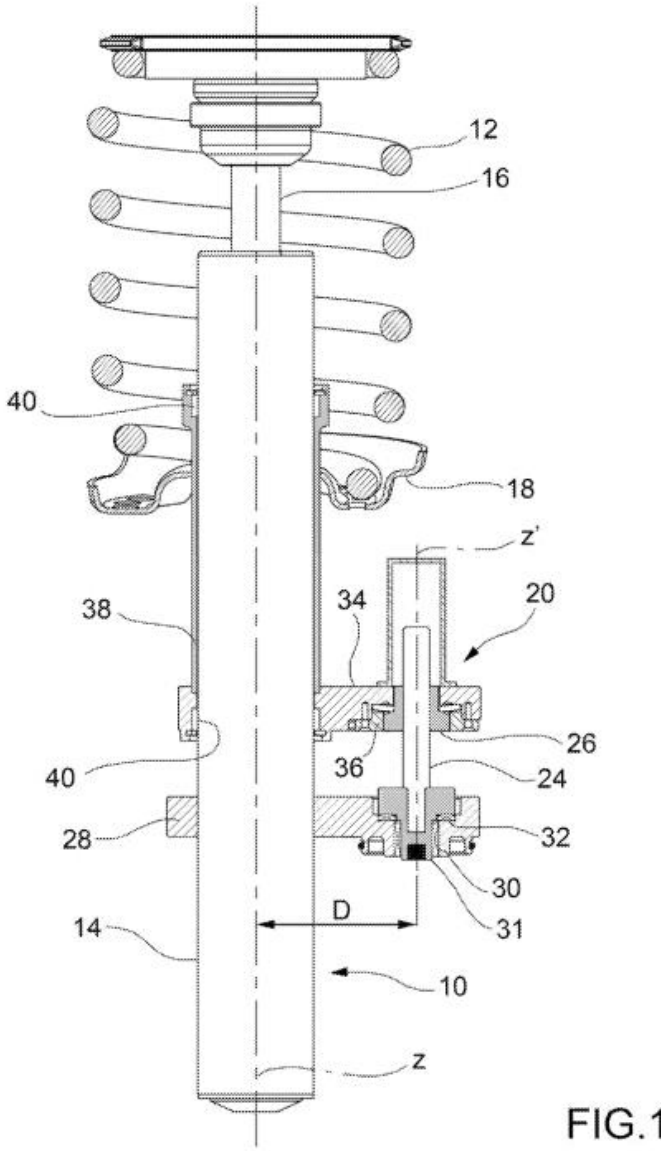
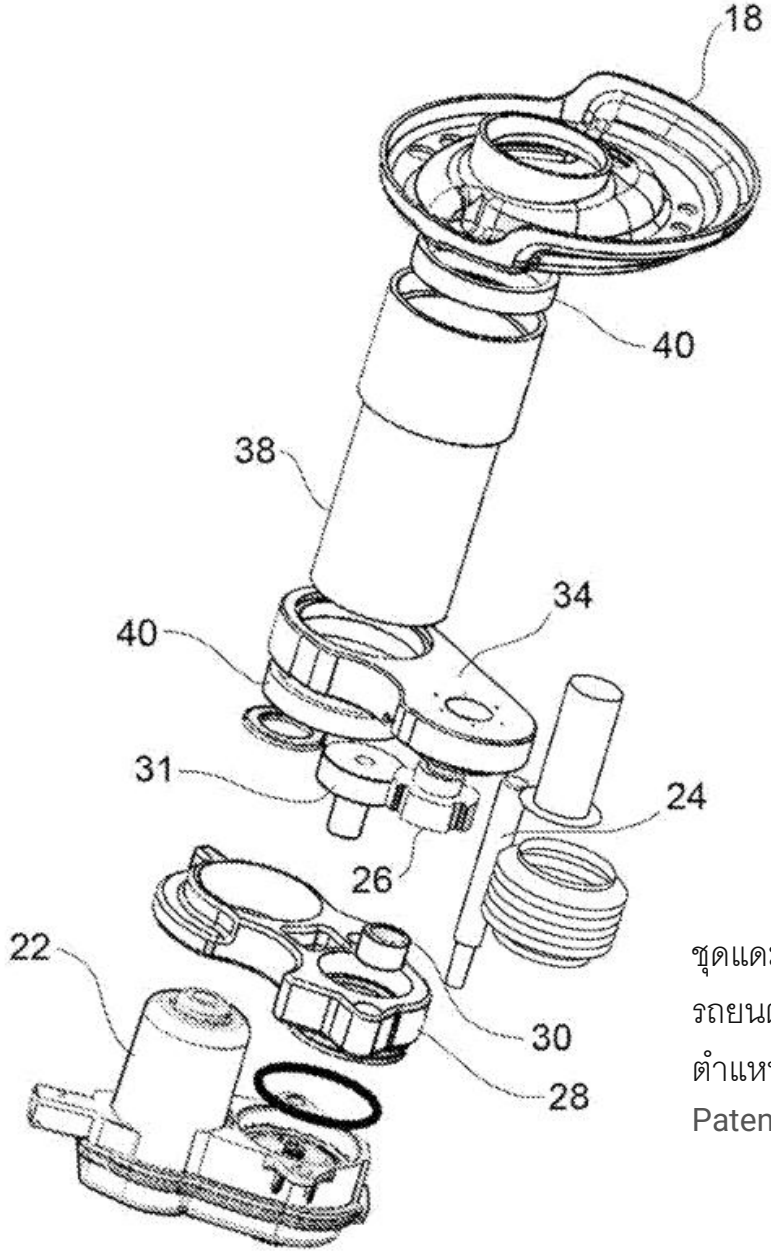


FIG.1



ชุดแดมเปอร์และสปริงสำหรับระบบกันสะเทือนรถยนต์ที่มีอุปกรณ์ปรับทางกลไฟฟ้าสำหรับปรับตำแหน่งแนวตั้งของสปริง

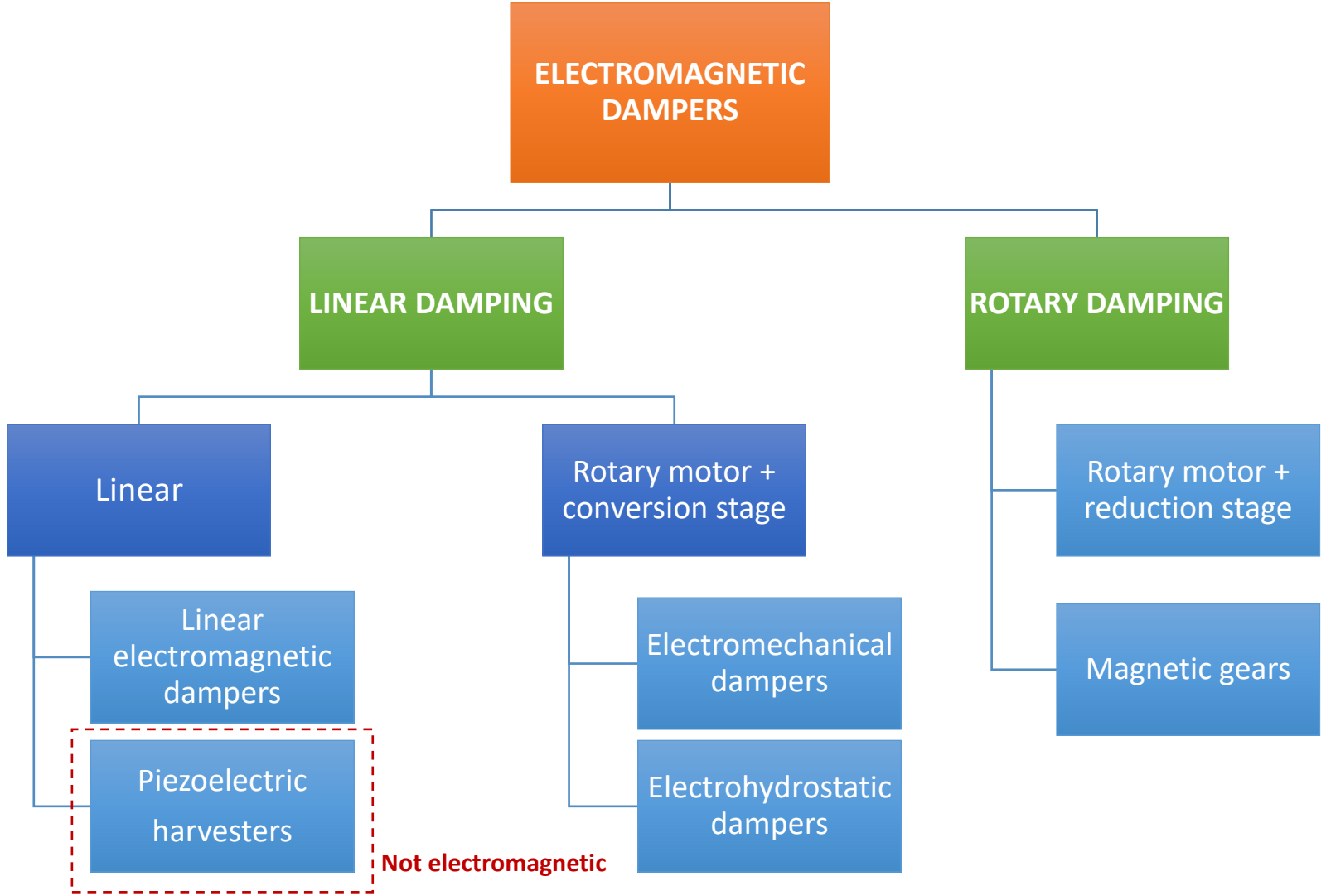
Patent: WO2019097461A1

Co-fun
Erasmus+ F
of the European Union

ระบบควบคุมช่วงล่างแบบหมุนเวียน

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

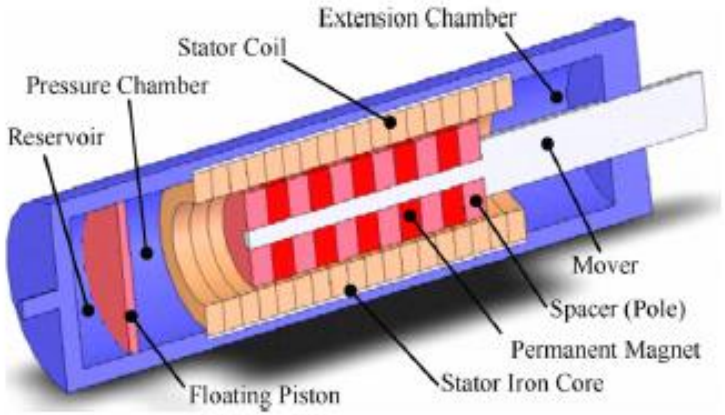
การจำแนกประเภทของแดมเปอร์แม่เหล็กไฟฟ้า



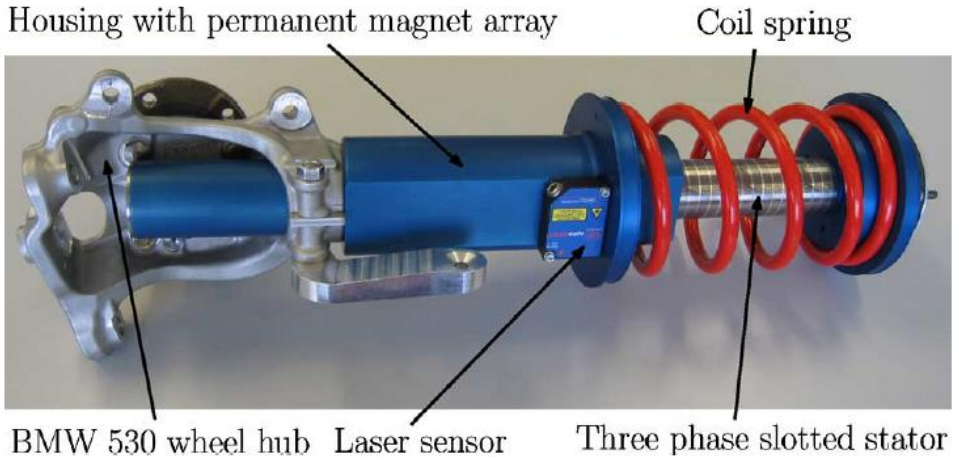
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Dampers แม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเส้น

Ebrahimi et al. เสนอตัวลดแรงสั่นสะเทือนเชิงเส้นที่มีความหนาแน่นของพลังงานต่ำ เนื่องจาก 80% ของการทำ damping เกิดขึ้นด้วยวิธีการแบบ passive ในขณะที่อีก 20% ที่เหลือเป็นแบบ active แม่เหล็กไฟฟ้าแบบ active .



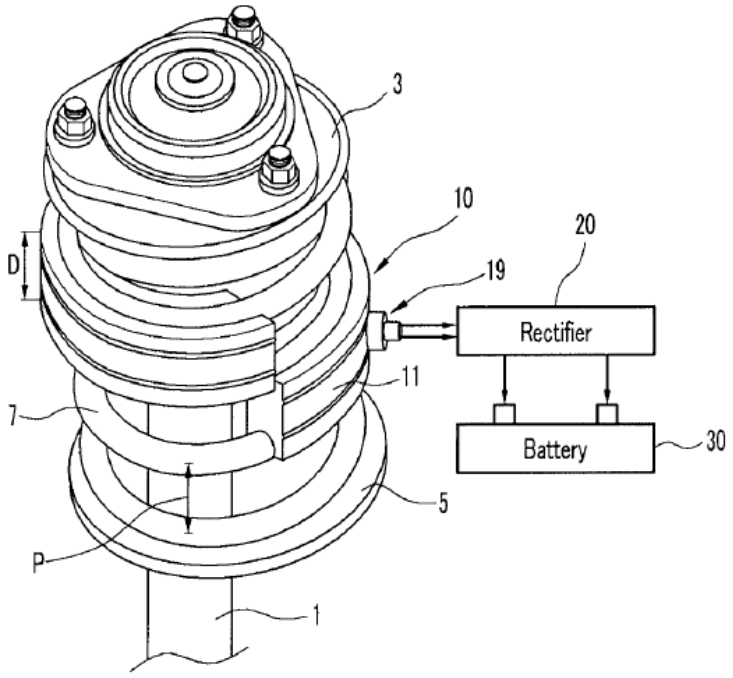
Paulides et al. เสนอตัวหน่วงเชิงเส้นเพื่อใช้ควบคู่ไปกับองค์ประกอบที่กระจายตัว พวกเขาสามารถให้แรง RMS ที่ 1 kN และ 2.5 kN ของแรงสูงสุด อุปกรณ์ต้องการพลังงานไฟฟ้า 40-50 W เนื่องจากการควบคุมแบบ active.



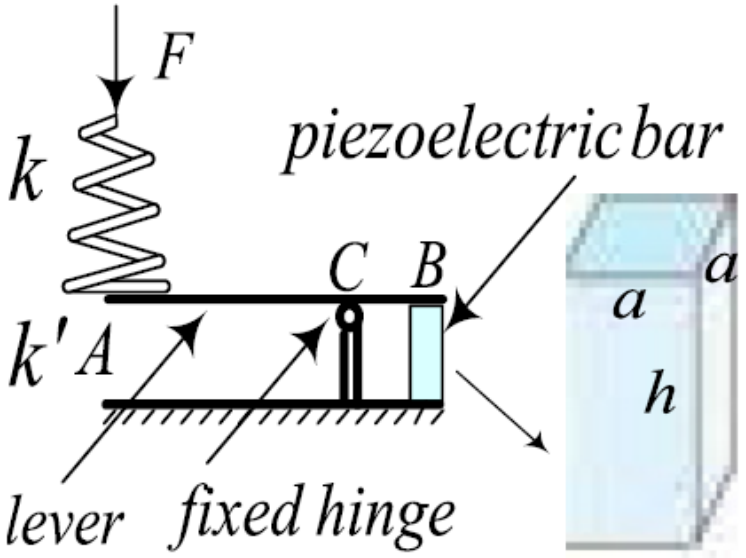
Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Piezoelectric Harvesters

Hyundai จดสิทธิบัตรโซลูชันอาเรย์แบบเพียโซอิเล็กทริกสำหรับติดตั้งบนคอยล์สปริงและเก็บเกี่ยวกำลังจากการเคลื่อนที่เชิงเส้น พวกเขาไม่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับพลังที่เก็บเกี่ยว



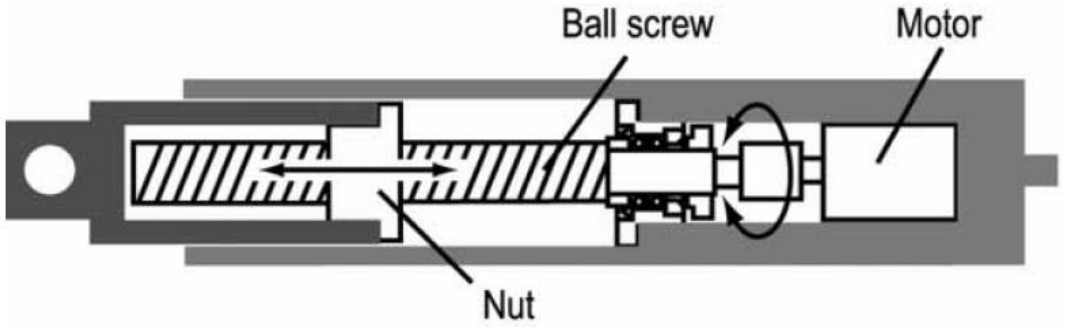
Xie and Wang ขอแนะนำให้ใช้แท่งเพียโซอิเล็กทริกระหว่างมวลสปริงและแขนช่วงล่างเพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนที่ของช่วงล่างด้วยหนึ่งแถบขนาด 15x15x100 mm, อุปกรณ์สามารถรับกำลัง RMS 738 W ที่วิ่งผ่าน ISO D profile at 35 km/h.



Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Electromechanical Dampers

Ball screw solutions



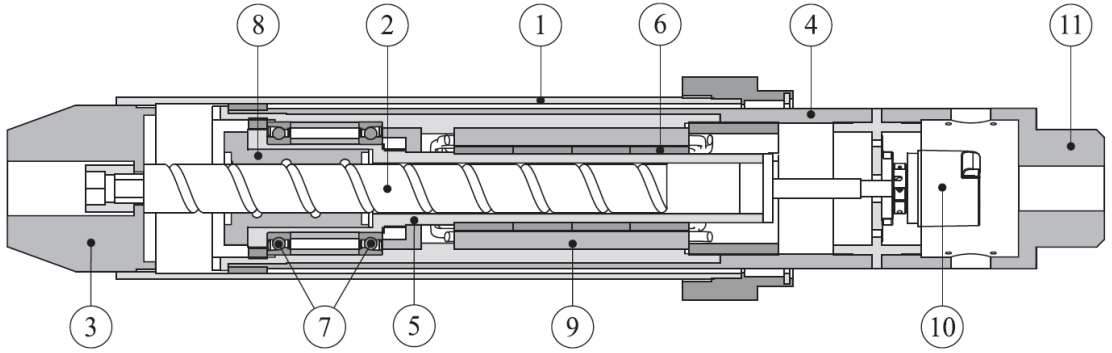


Figure 3. Shock absorber detailed section view. (1) Outer housing, (2) screw, (3) bottom cap, (4) inner housing, (5) rotor, (6) permanent magnets, (7) ball bearings, (8) nut, (9) stator, (10) encoder, (11) top cap.

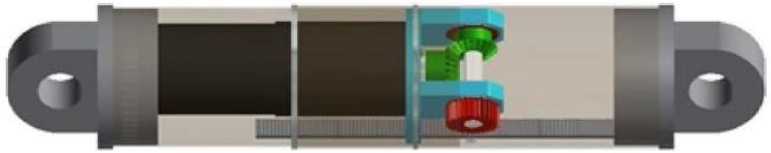
Kawamoto et al. rotating screw solution for passenger cars.

Tonoli et al. rotating nut solution for off road vehicles.

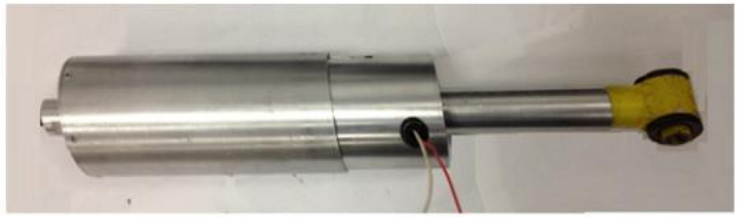
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Electromechanical Dampers

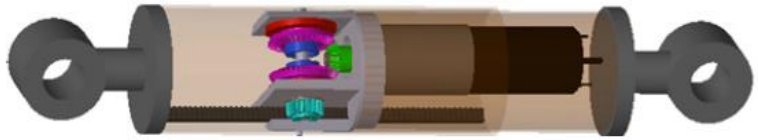
Rack pinion solutions (Zuo et al.)



Non-rectified solution ให้กำลังเฉลี่ย 19.2 วัตต์เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 48 กม./ชม. บน “ถนนในมหาวิทยาลัยที่ค่อนข้างราบรื่น” (probably between ISO B and ISO C).



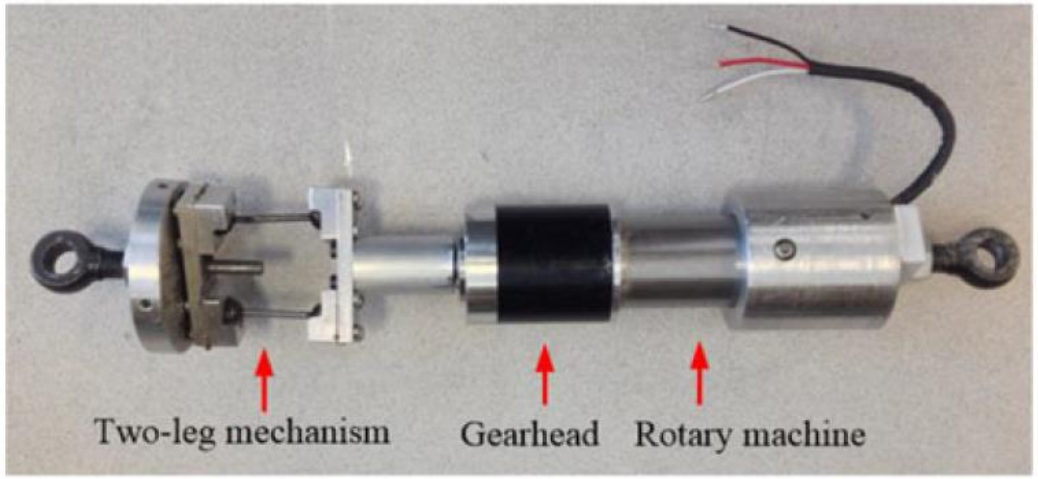
Rectified solution ให้กำลังเฉลี่ย 15.2 วัตต์เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 25 กม./ชม. บน "ถนนในมหาวิทยาลัยที่ค่อนข้างราบเรียบ" (probably between ISO B and ISO C).



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Electromechanical Dampers

กลไกสองขา



Maravandi et al. นำเสนอกลไกคันโยกสองขาเพื่อแปลงเชิงเส้นเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุน.

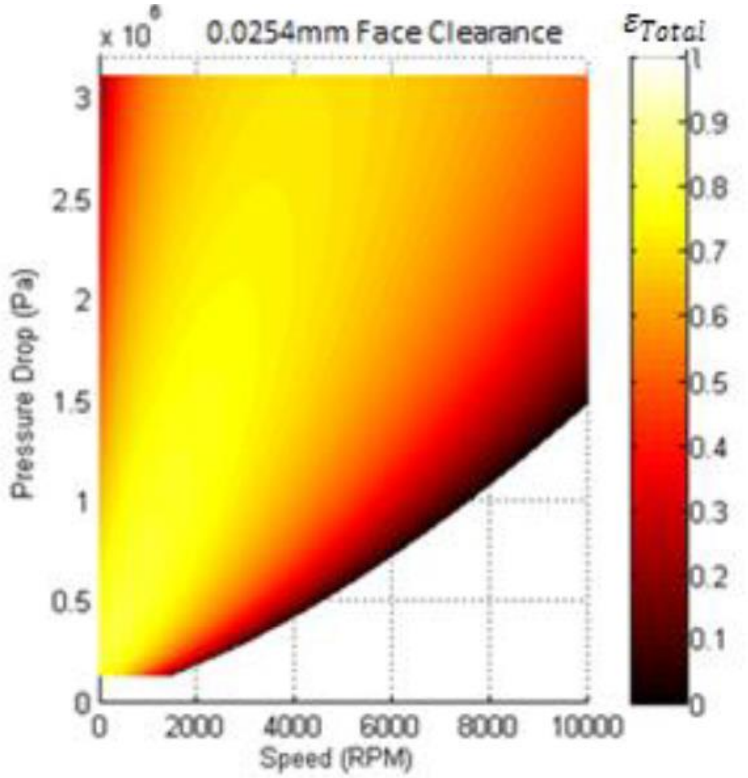
การทดสอบด้วยเครื่องปั่นแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการแปลงโดยรวมของ 0.59.

อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ต้องใช้กระปุกเกียร์เพื่อขยายการหมุนและจังหวะถูกจำกัดโดยความเอียงของขาทั้งสองข้าง.

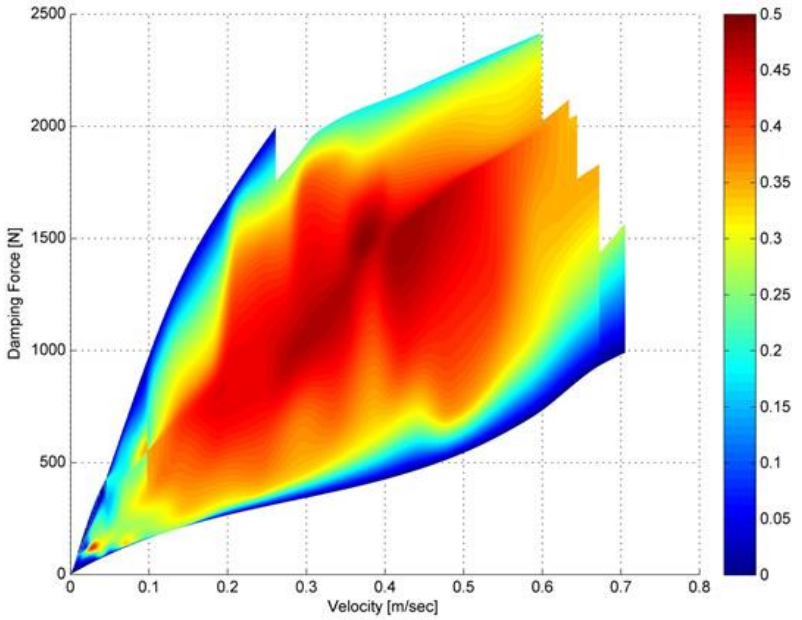
Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Electrohydrostatic Dampers

- **Levant Power** นำเสนอสิทธิบัตรจำนวนมากและเอกสารการประชุมบางส่วนในบริบทของ electrohydrostatic dampers.



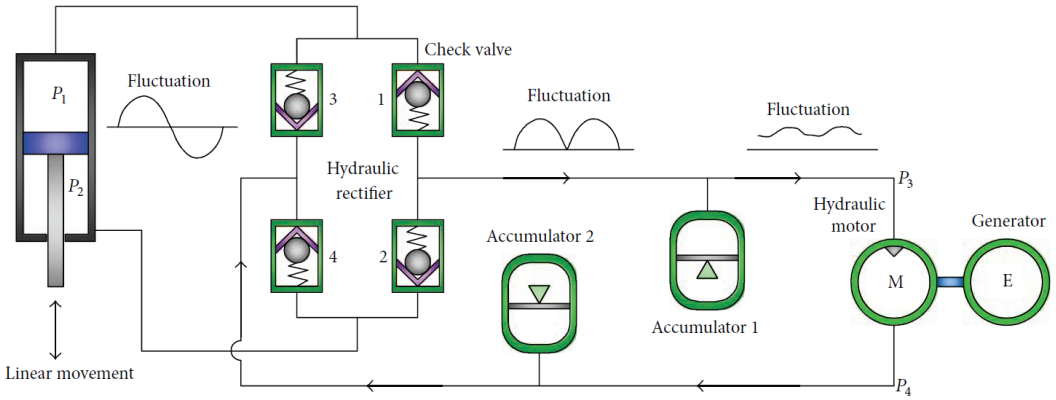
กระดาษของพวกเขาแสดงประสิทธิภาพของปั๊มสูง (สูงสุด 0.8 ทางกล + ไฮดรอลิก) ที่ได้รับจากการจำลอง.
อย่างไรก็ตาม เว็บไซต์ของพวกเขาแนะนำพล็อตประสิทธิภาพโดยรวมต่อไปนี้ โดยที่ max. ค่า 0.5.



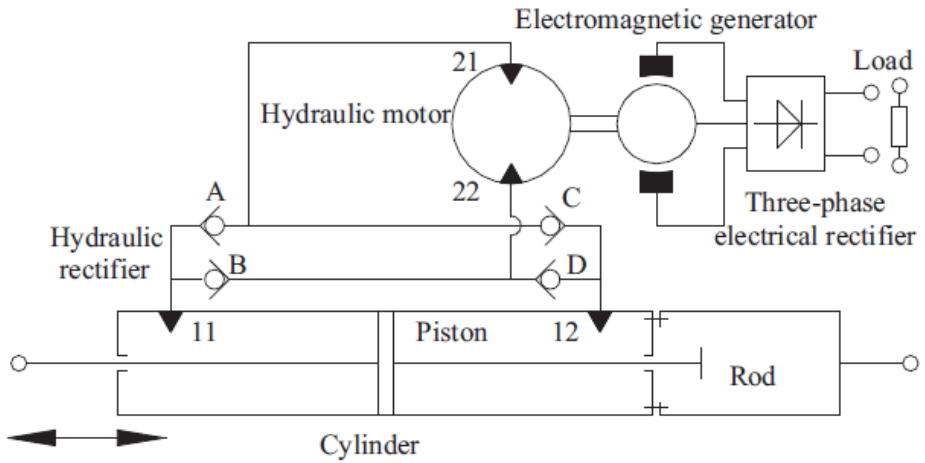
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Electrohydrostatic Dampers

Rectified solutions



Fang et al. นำเสนอผู้สาธิตเทคโนโลยีที่สามารถให้ประสิทธิภาพการแปลงโดยรวมของ 16.5%.

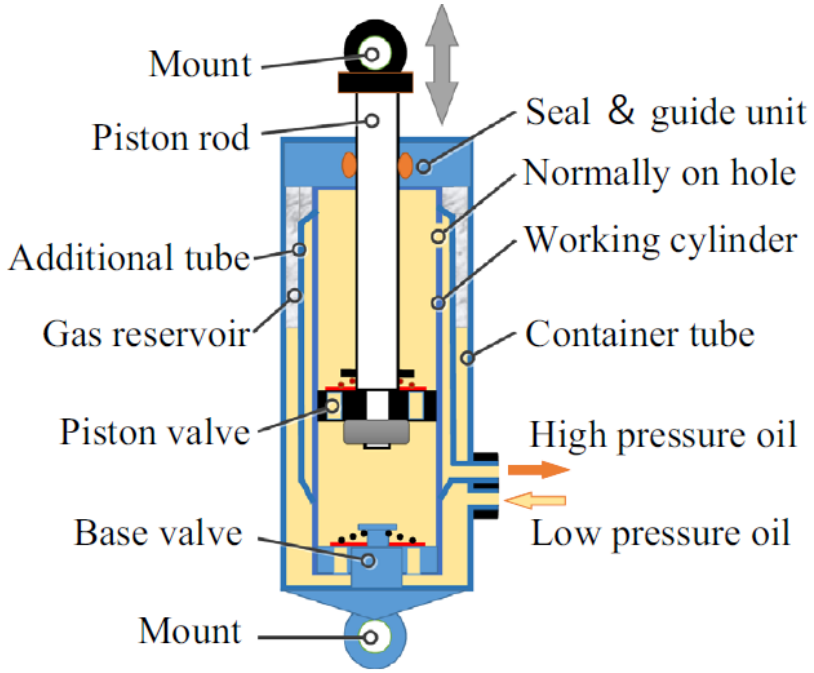


Li et al. นำเสนอต้นแบบที่มีประสิทธิภาพการแปลงรวมของ 39%

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Electrohydrostatic Dampers

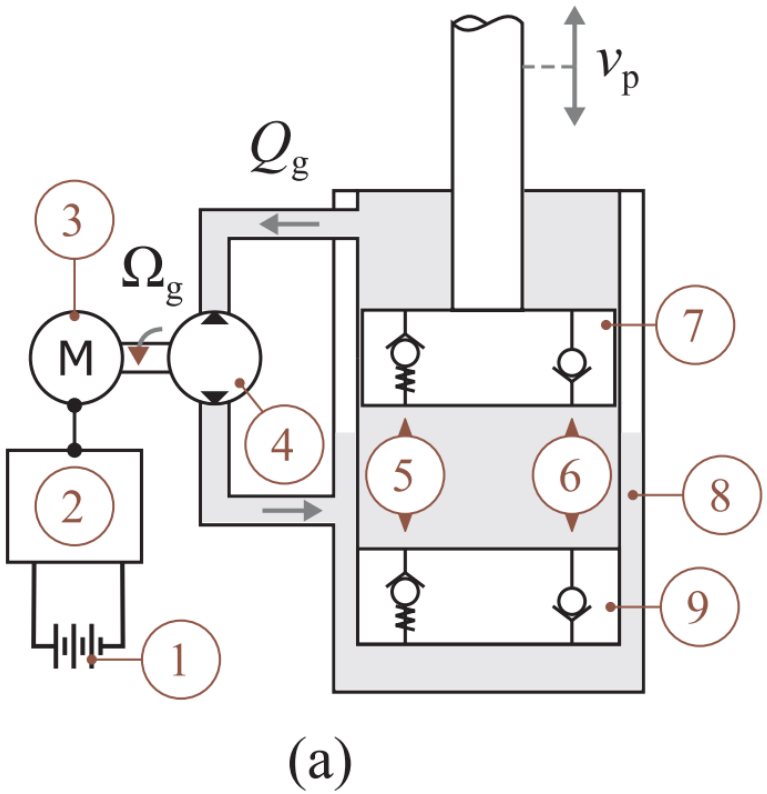
Rectified solutions



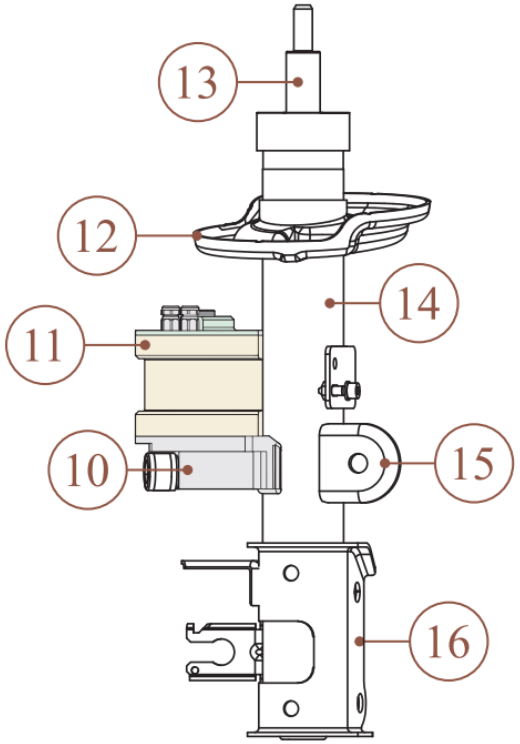
Zhang et al. กำหนดประสิทธิภาพไฮดรอลิกที่ดีที่สุดของโช้คอัพแบบสามท่อ (73%) ผ่านการสร้างแบบจำลองและการจำลองโดยละเอียดเมื่อใช้กับเลย์เอาต์แดมเปอร์แม่เหล็กไฟฟ้า.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

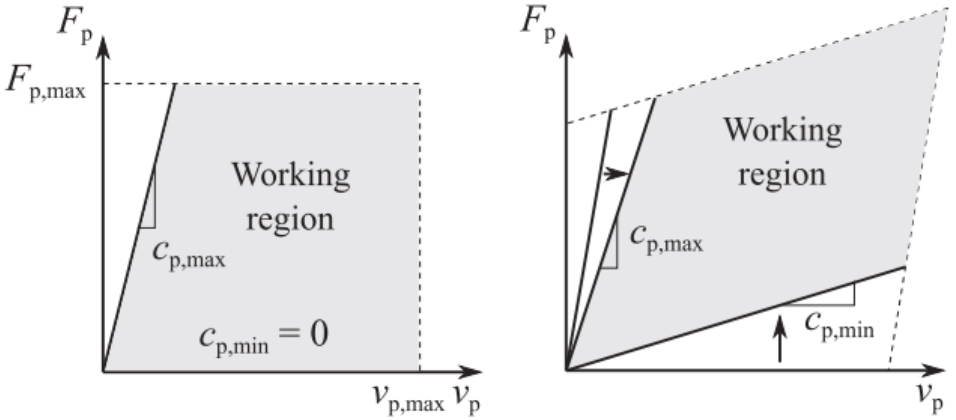
Electrohydrostatic Damper



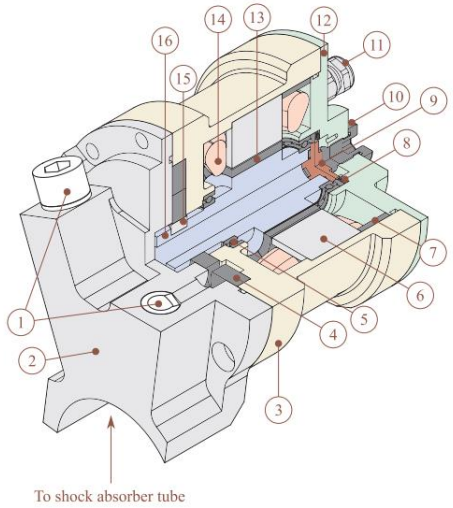
(a)



(b)



(a) ideal map (b) expected map

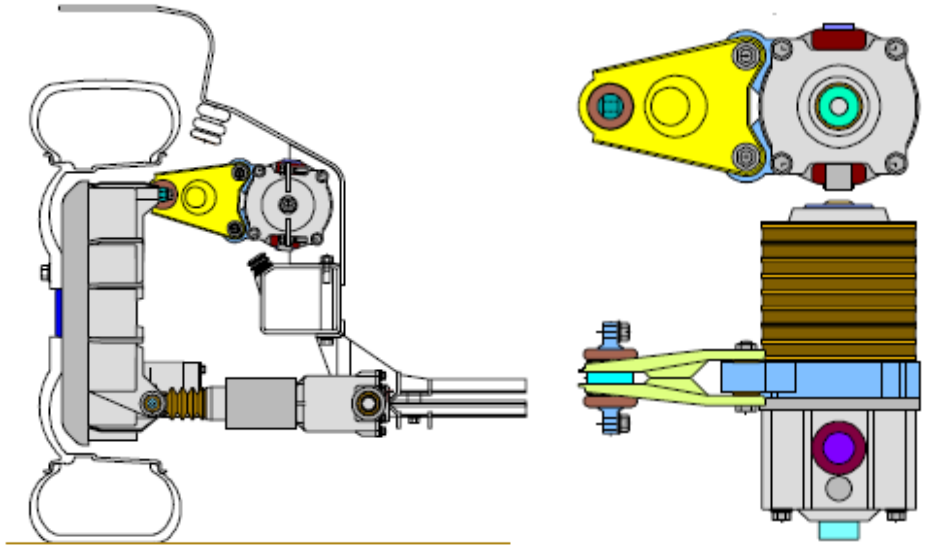


การออกแบบที่เหมาะสมที่สุดและการกำหนดคุณลักษณะของชุดมอเตอร์ปั๊มสำหรับโช้คอัพแบบหมุนเวียนพลังงาน

Renato Galluzzi*, Yijun Xu, Nicola Amati, Andrea Tonoli

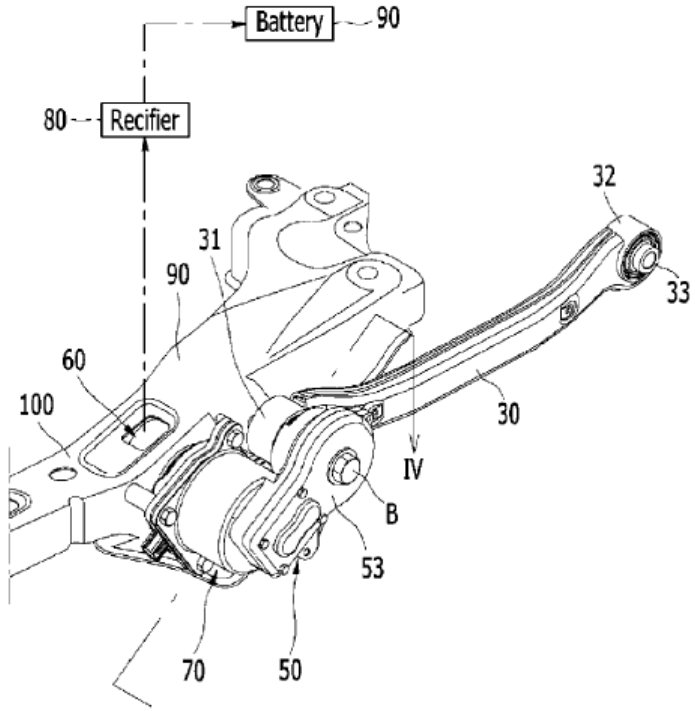
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Rotary Dampers



ชุดสปริงแดมเปอร์แบบหมุนของ **Volvo Damping** เป็นแบบกึ่งแอคทีฟ (ของเหลว MR) หนึ่งในรูปแบบ **rotary** แรกๆ.

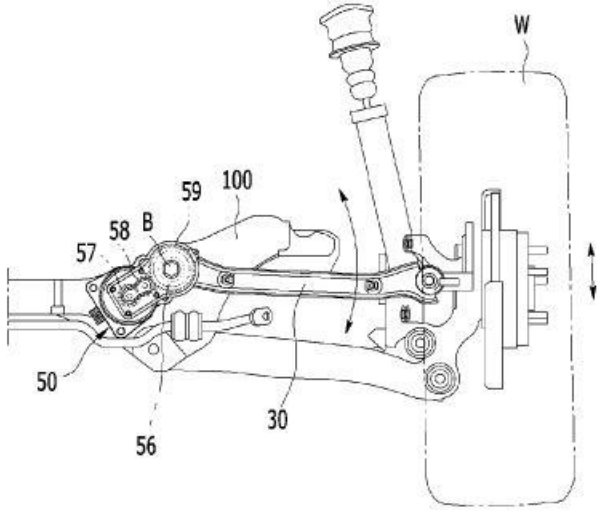
Hyundai rotary damper unit.
Motor + Reduction Stage.

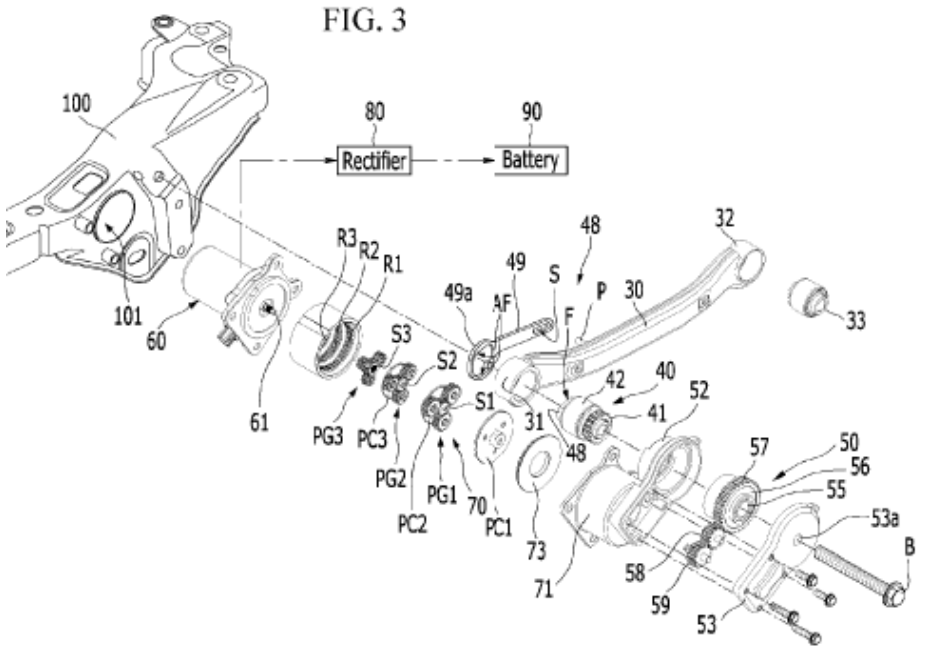


Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

State of Art – Electromechanical Rotary Damper

Hyundai [DE102013225356]



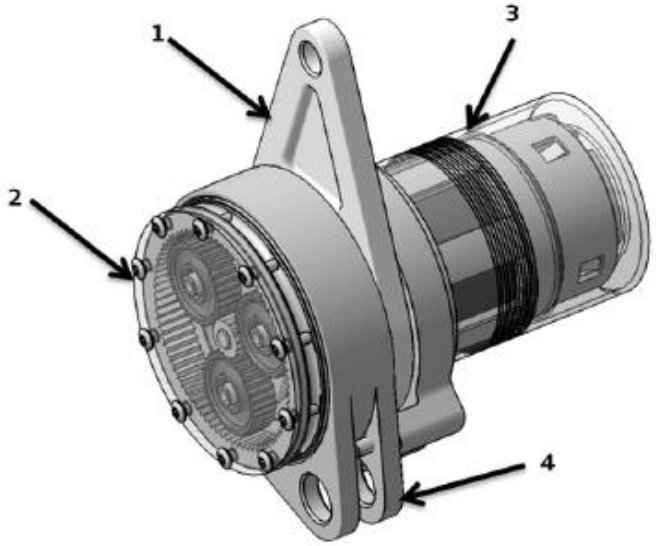


- คลัตช์ทางเดียว 56. อาจกำหนดค่าให้ส่งกำลังในการกระแทกหรือดีดตัวกลับได้

- กระปุกเกียร์:
- 1 สเตจแกนขนาน (57, 59)
- +
- 3 planetary set Stages (PC1-PG3)

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Rotary Dampers (Motor + Reduction Stage)



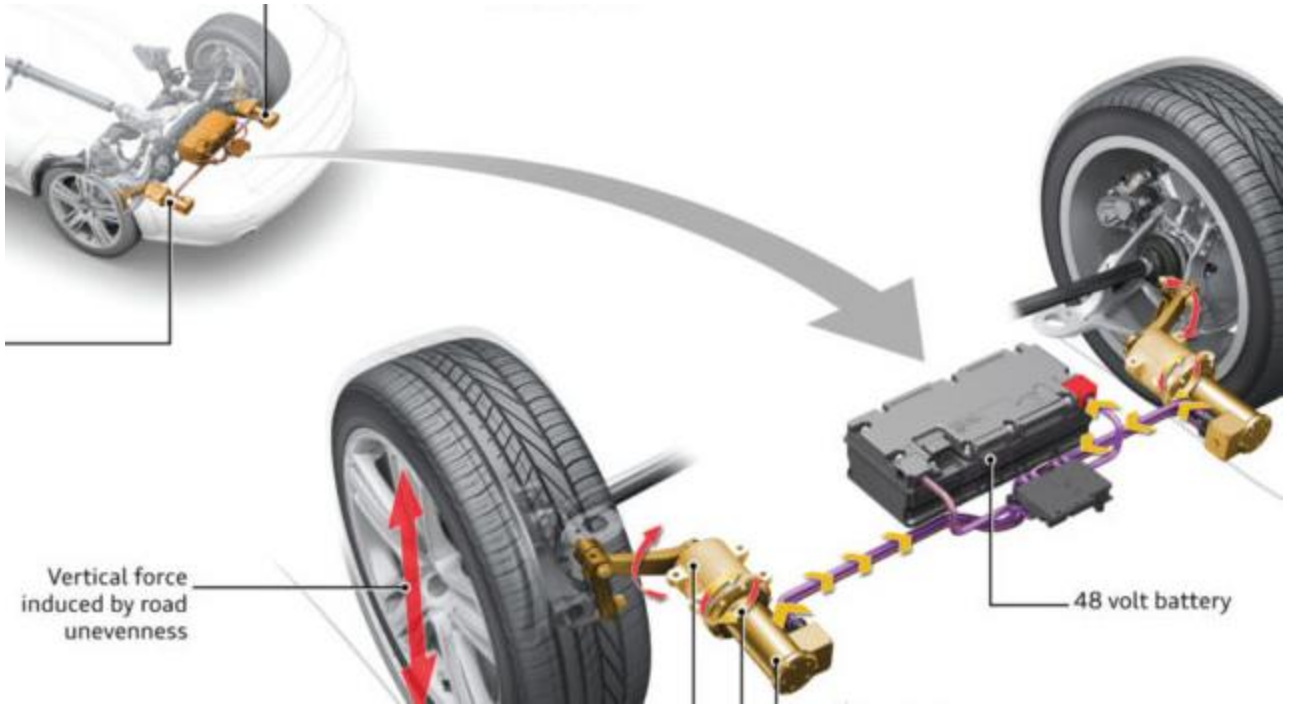
Audi eROT

1. คันบังคับ

2. กระปุกเกียร์ดาวเคราะห์สองขั้นตอน

3. เครื่องจักรไฟฟ้า

AUDI อ้างว่ากำลัง 100-150 **W** จาก 4 มุมที่วิ่งบนถนนในเยอรมัน โดยประหยัดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 3 **gCO2/km**



Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

ระบบควบคุมการหมุนแบบแอคทีฟ

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

วิเคราะห์ระบบ ARC

- ระบบแอคชูเอเตอร์ไฟฟ้าไฮโดรสแตติกเชิงเส้น
- ระบบตัวกระตุ้นไฟฟ้าไฮโดรสแตติกโรตารี
- ระบบตัวกระตุ้นเครื่องกลไฟฟ้าแบบหมุน
- ระบบตัวกระตุ้นแบบเครื่องกลไฟฟ้าเชิงเส้นตรง
- ระบบตัวกระตุ้นแบบเครื่องกลไฟฟ้าเชิงเส้นตรงที่ไม่ใช่เชิงเส้น

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

ระบบ ARC Hydrostatic ไฟฟ้า

Land Rover Range Rover (2016 model) “Dynamic Response” system. Rotary Electric Hydrostatic ARC system by Delphi.

แรงดันสูงสุด = 185 บาร์
อัตราลาด = 400 บาร์/วินาที
ความเร็วปั๊ม = 11250 RPM
ระยะยุบตัวล้อหน้า 260 มม.

https://youtu.be/XulkFsUnw64

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

ระบบไฮดรอลิก ARC

BMW X5 M และ X6 M มีคุณสมบัติ
ระบบ BMW Dynamic Drive (เวอร์ชันเก่า)
ซึ่งประกอบด้วยตัวกระตุ้นไฮดรอลิกแบบโรตารี่ที่วาง
อยู่ตรงกลางของเหล็กกันโคลง

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Source: BMW

ระบบ ARC เครื่องกลไฟฟ้าแบบหมุน - Schaeffler

Schaeffler Design 1 – 12 V

บีเอ็มดับเบิลยู ซีรีส์ 7 ระบบ Schaeffler ARC (รุ่น BMW Dynamic Drive ใหม่) แทนที่ระบบ ARC แบบโรตารี่ไฮดรอลิกของรุ่นก่อนหน้า

นอกจากนี้ Rolls-Royce Phantom ยังติดตั้งระบบ Schaeffler ARC Design 1

Source: BMW

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

ระบบ ARC เครื่องกลไฟฟ้าแบบหมุน - Schaeffler

Schaeffler Design 2 – 48 V

ระบบ ARC ติดตั้ง Audi SQ7 พร้อมด้วย Bentley Bentayga และ Bentley Mulsanne

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Source: Schaeffler

ระบบ ARC แบบโรตารี่ไฟฟ้า - ZF

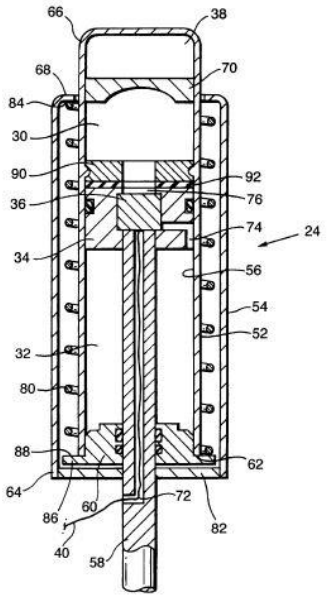
ระบบ ARC profile VI ได้รับการติดตั้งใน Porsche Cayenne และ Porsche Panamera และเป็นแกนหลักของ Porsche Dynamic Chassis Control (PDCC)

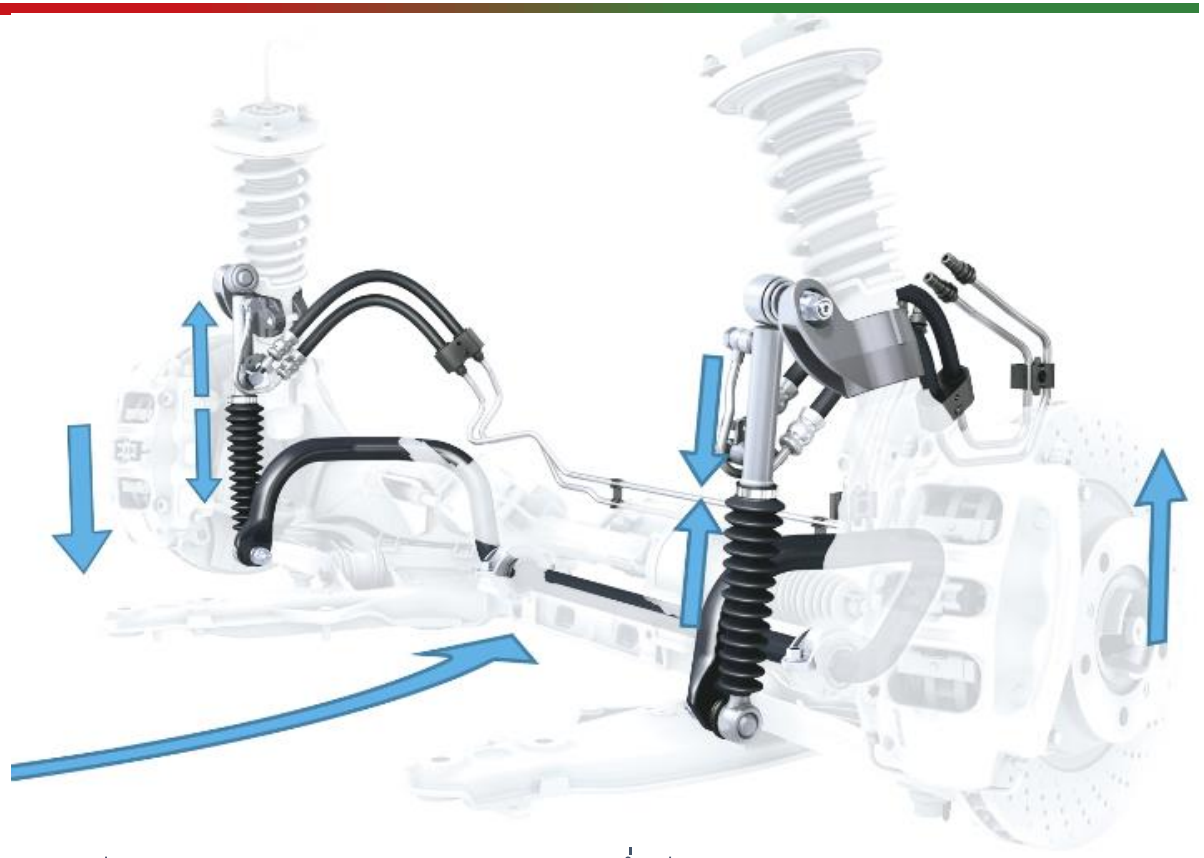
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Source: ZF

ระบบแอคชูเอเตอร์ไฟฟ้าไฮโดรสแตติกเชิงเส้น

แท่งลูกตุ้มถูกแทนที่ด้วยแอคชูเอเตอร์เชิงเส้นตรงแบบไฮดรอลิกแบบคู่ซึ่งออกแรงแรงบิดบนเหล็กกันโคลง ทนทานต่อโมเมนต์การหมุนของตัวรถ



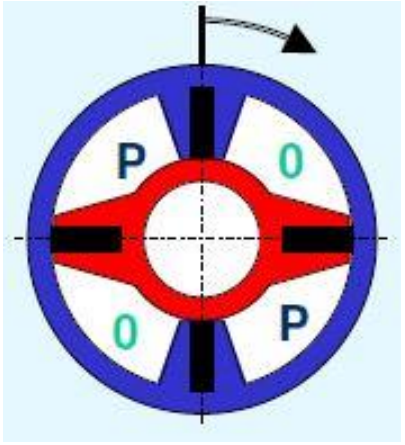


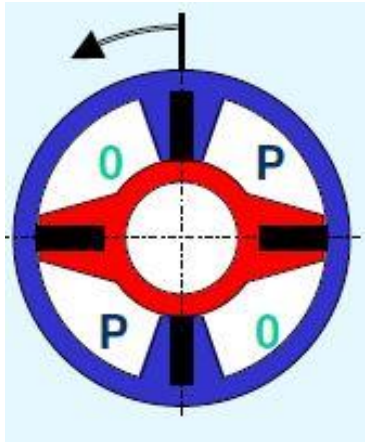
แอคชูเอเตอร์ของเดลฟีเป็นของตัวเองสำหรับระบบ ARC ซึ่งมีห้องอัดแก๊ส ลูกสูบลอย สปริงอัด วาล์วควบคุมด้วยไฟฟ้าระหว่างห้องอัดและรีบาวด์ และเจาะตามก้านลูกสูบ

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

ระบบตัวกระตุ้นไฟฟ้าไฮโดรสแตติกโรตารี

ตัวกระตุ้นโรตารีแบบทำหน้าที่สองทางถูกวางไว้ตรงกลางของแถบป้องกันการหมุน
แอคทูเอเตอร์จะหมุนทอร์ชันบาร์ทั้งสองส่วน โดยปรับแรงบิดที่ส่งมาจากบาร์เพื่อชดเชยการถ่ายเทโหลดระหว่างทางโค้ง



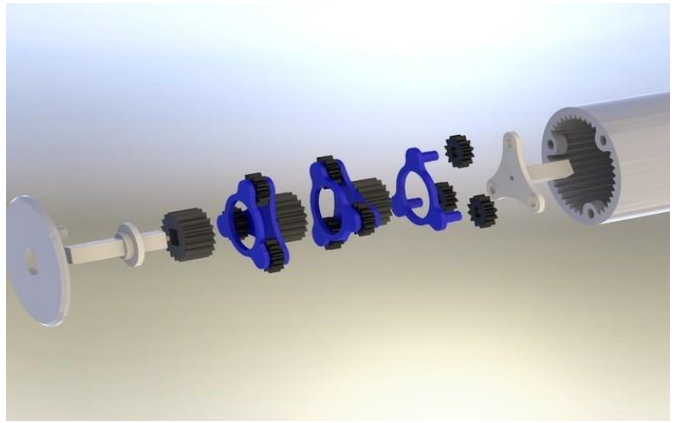


โมเมนต์ป้องกันการหมุนที่กระทำโดยตัวกระตุ้นแบบโรตารี่ในแถบป้องกันการหมุนเป็นฟังก์ชันของความแตกต่างของแรงดันภายในแอคทูเอเตอร์

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

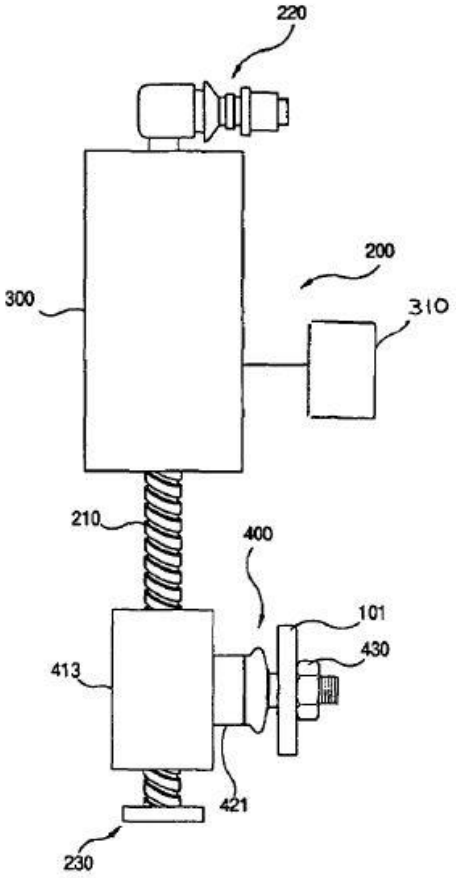
ระบบตัวกระตุ้นเครื่องกลไฟฟ้าแบบโรตารี่

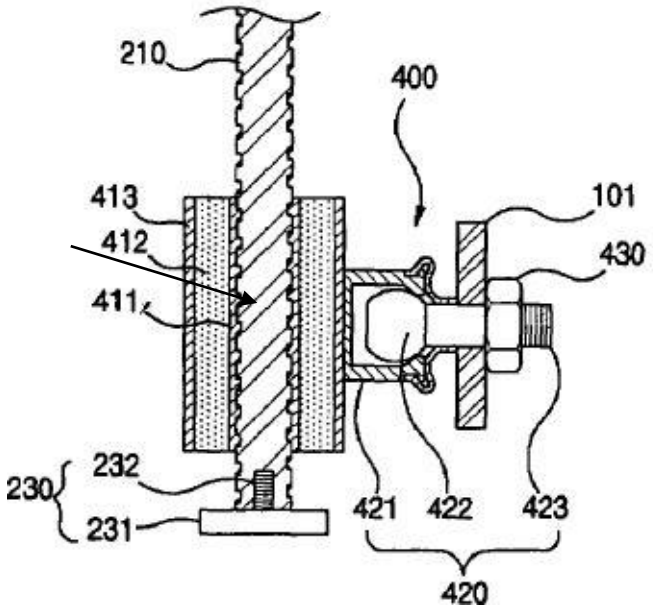
ระบบ ARC นี้มีมอเตอร์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับเกียร์ทดรอบเพื่อต่อต้านการเคลื่อนที่แบบหมุน มอเตอร์ไฟฟ้าและเกียร์ทดรอบจะรวมกันเป็นตัวกระตุ้นระบบกันโคลง ซึ่งอยู่ตรงกลางของเหล็กกันโคลง
กลไกลดเกียร์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือชุดเกียร์อีไพไซโคลดัลแบบหลายขั้นตอน เช่นเดียวกับชุดเฟือง 3 ขั้น



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

ระบบตัวกระตุ้นทางกลไฟฟ้าเชิงเส้นตรง



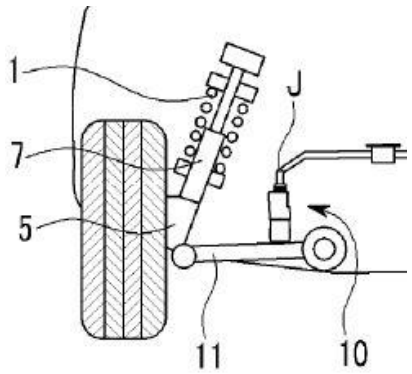


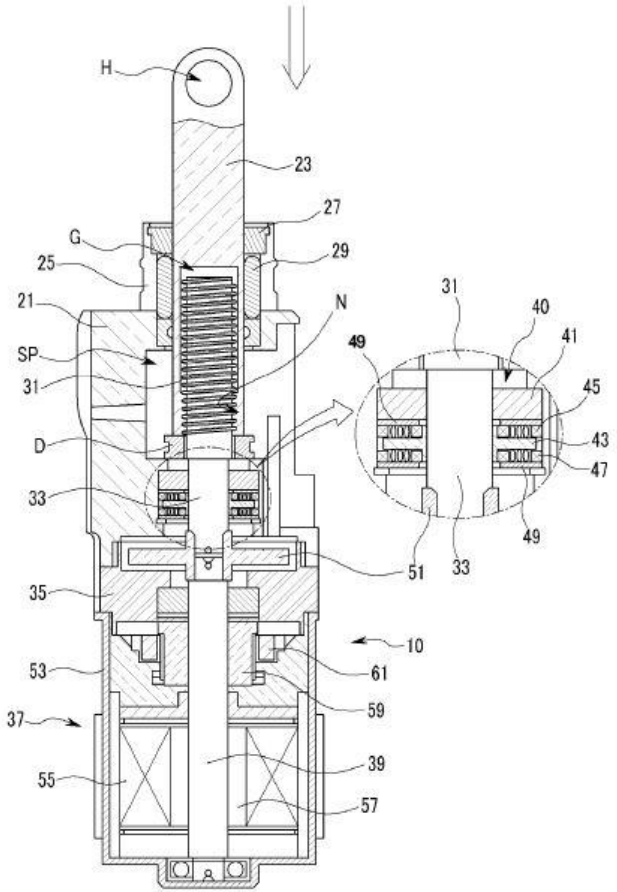
ระบบของฮุนไดเอง
เหล็กกันโคลง (101) เชื่อมต่อกับรางกลไกข้อต่อแบบลูกปืน (420) กับตัวกระตุ้นแบบกลไกทางไฟฟ้าเชิงเส้น ซึ่งประกอบด้วยแกนสกรู (210) และมอเตอร์ไฟฟ้า (300) เชื่อมต่อกับข้อต่อรางสตรัทช่วงล่าง (220) .

เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าหมุน การเคลื่อนที่แบบหมุนของเฟืองขับของมอเตอร์จะถูกแปลงเป็นการเคลื่อนที่แบบสลับกันของแกนสกรู ซึ่งทำให้เกิดการโก่งตัวของปลายเหล็กกันโคลงที่สร้างโมเมนต์ป้องกันการหมุน

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

ระบบตัวกระตุ้นทางกลไฟฟ้าเชิงเส้นตรง





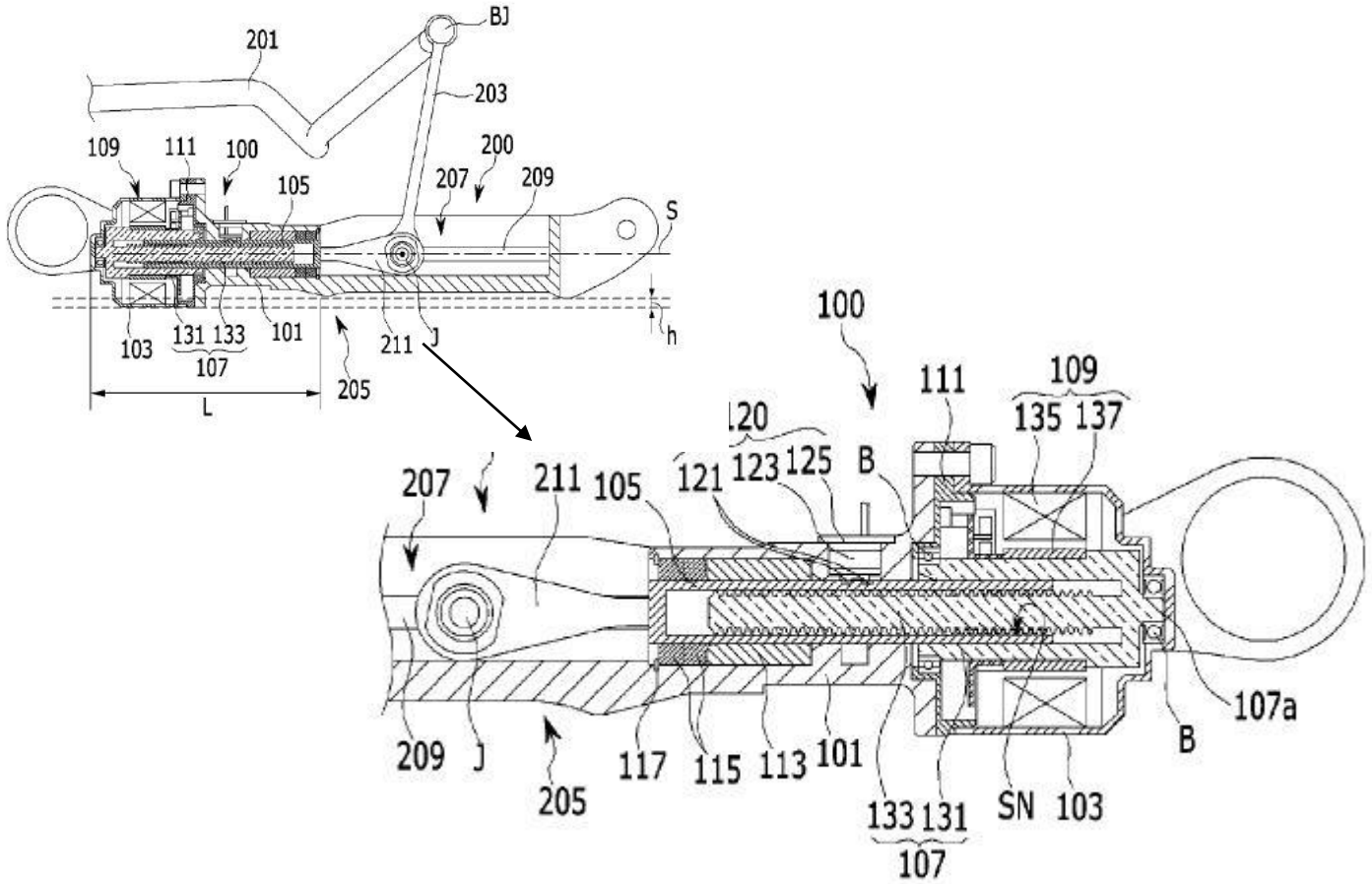
ระบบของฮุนไดเอง

แอคทูเอเตอร์ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อน (37) ที่ทำให้เพลาหมุน (39) ที่เชื่อมต่อกับเพลาหมุนสกรู (33) ผ่านคัปปลิ้ง (51) เพลาหมุนของสกรูเชื่อมต่อกับปลายด้านล่างของลีดสกรู (31) ตามแนวแกน

ลีดสกรูหมุนในเกลียวของร่องสกรู G ที่เกิดขึ้นในพื้นผิวด้านในด้านล่างของตัวส่งสัญญาณกำลัง (23) ซึ่งเชื่อมต่อกับปลายเหล็กกันโคลงผ่านข้อต่อ J ที่วางไว้ในรูเชื่อมต่อ H

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

ระบบตัวกระตุ้นทางกลไฟฟ้าเชิงเส้นตรงที่ไม่ใช่เชิงเส้น



ระบบของฮุนไดเอง

แอคชูเอเตอร์เชื่อมต่อกับเหล็กกันโคลง (201) รางข้อต่อแบบลูกหมากด้วยตัวเชื่อมกันโคลง (203) แอคทูเอเตอร์มียูนิตราง (200) ซึ่งคอนเนคเตอร์ (211) ที่เชื่อมโยงกับปลายด้านล่างของตัวกันโคลงสามารถเลื่อนได้ ข้อต่อเคลื่อนที่โดยเพลาขับส่งกำลัง (105) ซึ่งแปลจากการหมุนของตัวโรตารี่สกรู (107) ที่เกิดจากมอเตอร์ไฟฟ้า (109) แอคทูเอเตอร์ติดอยู่กับแขนช่วงล่างของสตรัทช่วงล่าง (205) และทำหน้าที่ตามขวางตามทิศทางของตัวรถ

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

แลกเปลี่ยนตัวกระตุ้น

ARC actuator typologies	Linear Hydrostatic	Rotary Hydrostatic	Rotary Electro-mech	Linear Electro-mech	Non Linear Electro-mech
Layout	In place of pendulum bars	In the middle of stabilizer bar	In the middle of stabilizer bar	In place of one pendulum bar	In place of one pendulum bar
Energy demand	+ < hydraulic systems	+ < hydraulic systems	++ possibility to recover energy	+	+
Working angle	Left/Right total free stroke function of suspension architecture 1 actuator - 2 actuators +	Left/Right total free stroke guaranteed. +/- 50° angles +	Left/Right total free stroke guaranteed. +	Left/Right total free stroke function of suspension architecture 1 actuator -	Left/Right total free stroke function of suspension architecture. System rigidly attached to lower frame -

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

ปิดการซื้อขาย

ARC actuator typologies	Linear Hydrostatic	Rotary Hydrostatic	Rotary Electro-mech	Linear Electro-mech	Non Linear Electro-mech
Response time	-	-	+	+	+
Unsprung mass	-	+	+	++	++
Maintenance	- oil leakages, cavitation	- oil leakages, cavitation	+	+	+
Design and Installation	++	- big diameter	+	+	-
Performance	++	+++	+++	+	+
Fail safe characteristic	+ ≅ passive bar	+ ≅ passive bar	-	-	-
Cost	++	-	+	++	++

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

บรรณานุกรม

1. Genta G, Morello L. The automotive chassis: volume 1: Component design. Springer Science & Business Media; 2008.
2. Genta G, Morello L. The automotive chassis: volume 2: System design. Springer Science & Business Media; 2008.
3. Onori S, Serrao L, Rizzoni G. Hybrid electric vehicles: Energy management strategies. London: Springer; 2016.
4. Guzzella L, Sciarretta A. Vehicle propulsion systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2007 Jun.
5. Dietsche K, Klingebiel M. Bosch Automotive Handbook. 7th Edition, Robert Bosch GmbH. 2007.
6. Amati N, Tonoli A, Castellazzi L, Ruzimov S. Design of electromechanical height adjustable suspension. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 2018 Aug;232(9):1253-69.
7. https://patents.google.com/patent/WO2019097461A1/en Patent: WO2019097461A1 Damper and spring unit for a vehicle suspension provided with an electro-mechanical adjustment device for adjusting the vertical position of the spring
8. https://patents.google.com/patent/WO2017202811A1
9. Gysen BL, Paulides JJ, Janssen JL, Lomonova EA. Active electromagnetic suspension system for improved vehicle dynamics. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2009 Dec 18;59(3):1156-63.
10. Ebrahimi B, Bolandhemmat H, Khamesee MB, Golnaraghi F. A hybrid electromagnetic shock absorber for active vehicle suspension systems. Vehicle System Dynamics. 2011 Feb 1;49(1-2):311-32.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Engineering Knowledge Transfer Units to Increase Student´s Employability and Regional Development

https://www.facebook.com/unitederasmus/

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.598710-EPP-1-2018-1-AT-EPPKA2-CBHE-JP