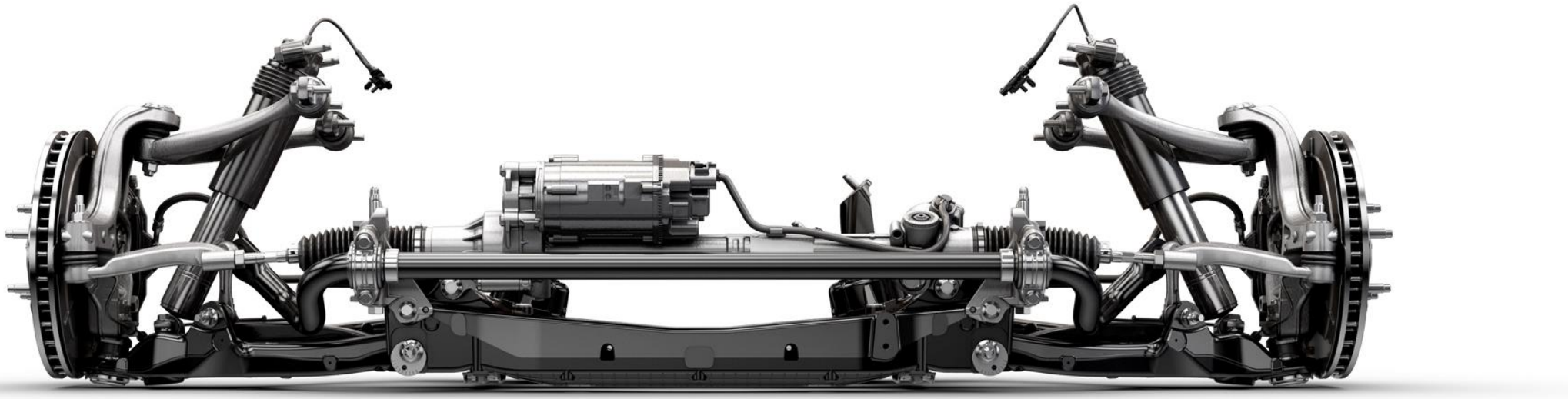
سیستم تعلیق



مقدمه

سیستم تعلیق از مهم‌ترین زیر سیستم‌های خودرو به حساب می‌آید و عملکرد مناسب خودرو حین شتابگیری، ترمزگیری، عبور از ناهمواری‌های جاده و مانورهای سریع با طراحی این بخش امکان‌پذیر است. راحتی سفر از طراحی مناسب سیستم تعلیق حاصل می‌شود. همچنین با سیستم فرمان در تعامل است.

وظایف سیستم تعلیق :

- ایجاد نرمی عمودی برای پیروی چرخ‌ها از ناهمواری‌های جاده و جداسازی بدنه از ناهمواری‌های جاده
- واکنش در برابر نیروهای ایجادشده توسط تایر که شامل نیروهای طولی (شتاب و ترمز)، نیروهای کناری (چرخش) و گشتاورهای رانشی می‌باشد.
- نگهداری چرخ‌ها در زوایای مناسب فرمان و کمبر نسبت به سطح جاده
- مقاومت در برابر غلتش بدنه
- قرارپذیری مناسب (قراردهی تایر در تماس با جاده با کمینه تغییرات در بار چرخ)

ویژگی‌هایی که باید در طراحی سیستم تعلیق لحاظ گردد به قرار زیر است:

- هزینه
- سنگینی و جانمایی
- قابلیت ساخت و سادگی سرهم‌بندی (مونتاژ)

cost
package

cost
package

cost
package

cost
package

cost
package
handling

cost
package
handling

handling

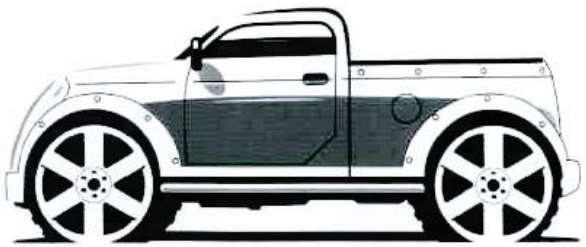
handling

comfort
handling

comfort
handling

comfort
cost

loading
comfort
cost

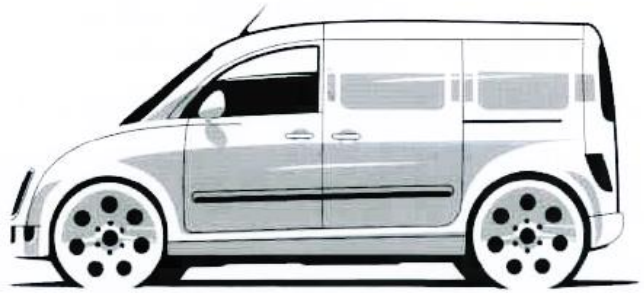


comfort
loading
travel

loading
travel

travel
comfort

travel
loading
comfort



cost
loading

loading
cost

تعلیق اکسل صلب

راحت‌ترین روش برای متصل کردن یک جفت چرخ، نصب کردن آن‌ها بر روی یک اکسل صلب است. اکسل صلب سپس باید به بدنه متصل شود به نحوی که بتواند جابجایی بالا و پائین در راستای محور z و پیچش حول محور x را ممکن سازد.

راه‌های بسیاری با استفاده از مکانیزم‌ها و فنرها برای میسر ساختن نیازهای سینماتیکی و دینامیکی است. یکی از روش‌های اولیه استفاده از فنرهای ورقی است که از میان توسط یک گیره به اکسل و از دو سر بدنه متصل شود. هیچ جابجایی عرضی و چرخش حول محور z در این حالت میسر نخواهد بود.

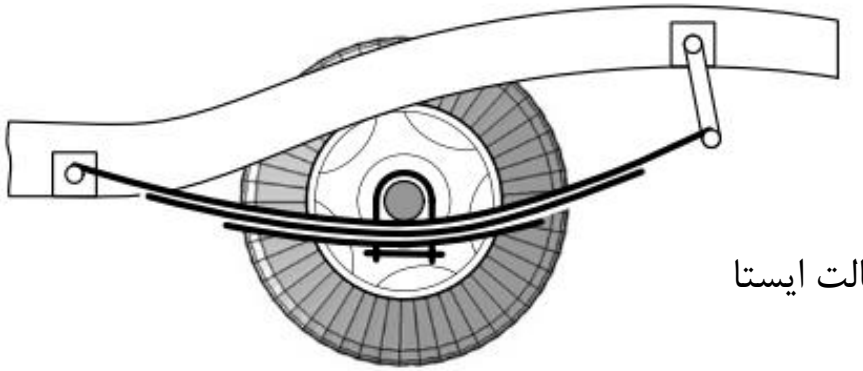
تعلیق Hotchkiss

سیستم تعلیق اکسل صلب با فقط دو فنر ورقی (فویلی) چند لایه به سیستم درایو هاچکیس معروف است. در این سیستم جرم فنربندی شده شامل جرم‌های سوار شده بر روی فنرهاست و شامل جرم بدنه خودرو نیز می‌شود. جرم‌های فنربندی نشده شامل چرخ، اکسل و ترمزها خواهد بود.

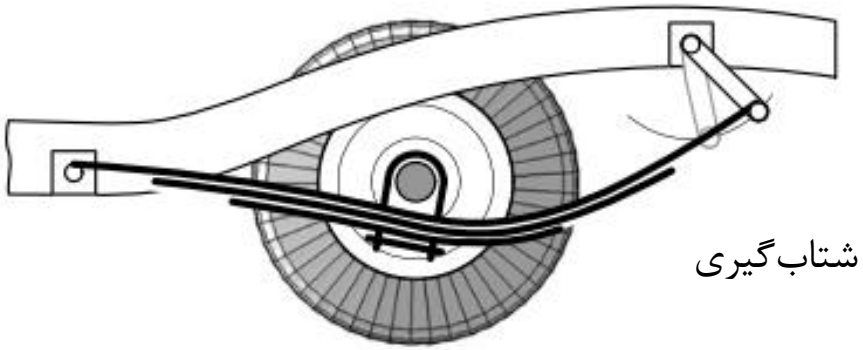
مشکل فنرهای ورقی (فویلی) انعطاف‌پذیری آن‌هاست و اینکه جابجایی آن‌ها تحت بارگذاری سبب جابجایی اکسل و چرخ‌ها می‌شود. فنرها باید تحت بار فقط در جهت عمودی انعطاف داشته باشند ولی طبیعت فنرهای ورقی پیچش و خمش تحت بار است. در نتیجه برای تحمل بار شتاب‌گیری و ترمزگیری مناسب نمی‌باشند و تحت این بارها به شکل S تغییرشکل می‌دهند و جابجایی اکسل رخ می‌دهد.

فنرهای طویل‌تر راحتی سفر بیشتر دارند.

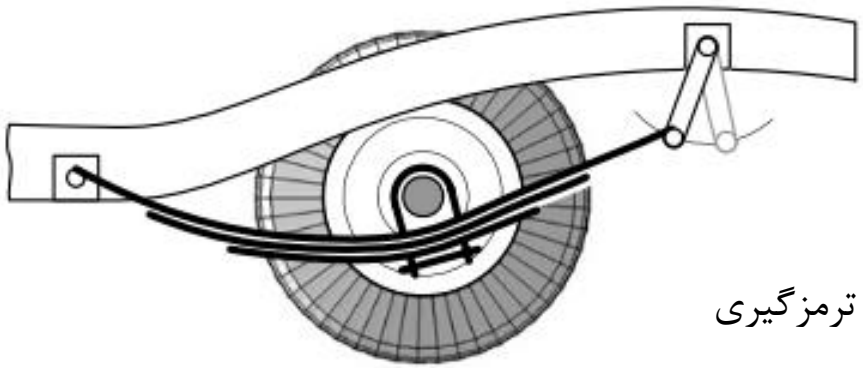
چرخ‌های جلو نیاز به فضا برای چرخش به چپ و راست دارند و به همین دلیل فنرهای تخت برای اکسل جلو مناسب نیست.



حالت ایستا



حالت شتاب‌گیری



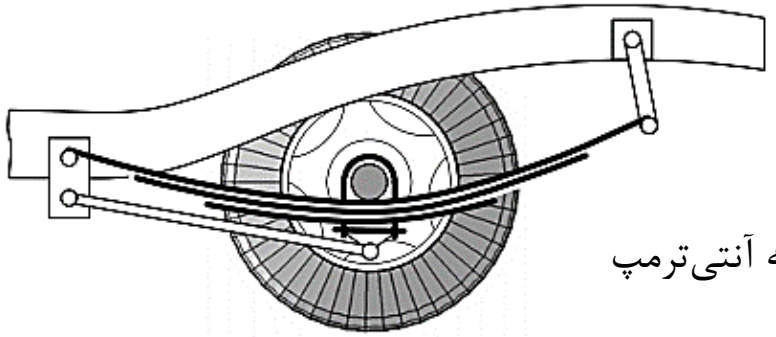
حالت ترمزگیری

افزودن اتصالات دیگر

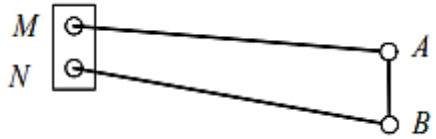
برای کاهش اثر بارهای افقی و جلوگیری از S شکل شدن فنر فویلی میله آنتی ترمپ (anti-tramp) به این سیستم افزوده شد. مدل سینماتیکی این سیستم معادل یک مکانیزم ۴ میله‌ای است که در شکل روبرو نشان دادن شده است.

برای ایجاد مقاومت عرضی و پیچشی از مکانیزهای مثلثی استفاده شد.

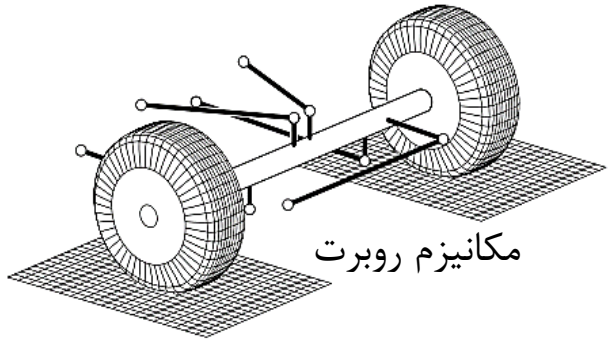
برای کاهش نرخ فنریت از میله پنهارد (Panhard Arm) استفاده شد. و نهایتاً مکانیزم‌های مدرن جایگزین شد.



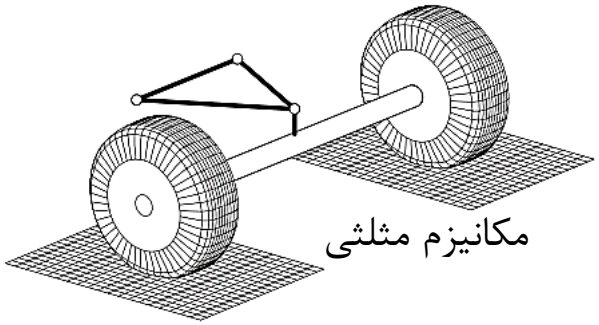
افزودن میله آنتی‌ترمپ



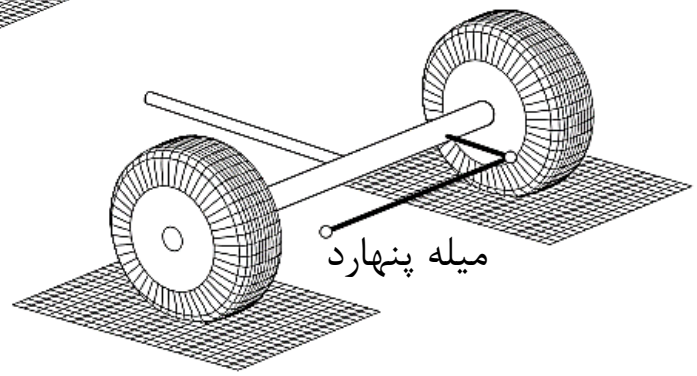
مکانیزم ۴ میله‌ای



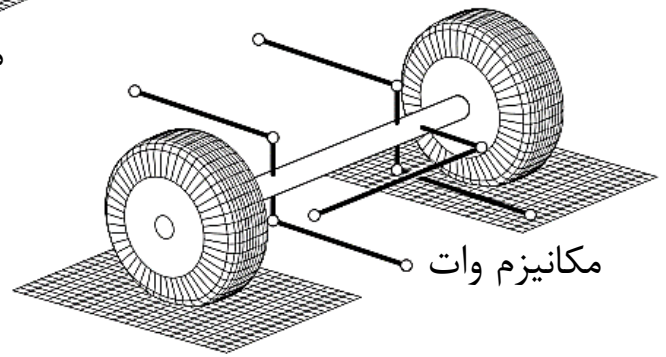
مکانیزم روبرت



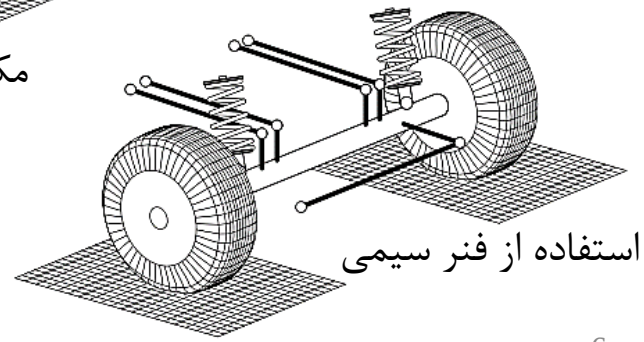
مکانیزم مثلثی



میله پنهارد



مکانیزم وات



استفاده از فنر سیمی

تفاوت Damper، Shock Absorber، Strut

Damper

هر ماده (جامد و غیرجامد) یا جزئی که قابلیت جذب ارتعاش را داشته باشد. می‌تواند از فلز، پلاستیک یا ترکیبی از هر دو ساخته شده باشد. همانند لاستیک دور درب‌ها، واشرهای فنری، دسته موتورها و ...

Shock Absorber

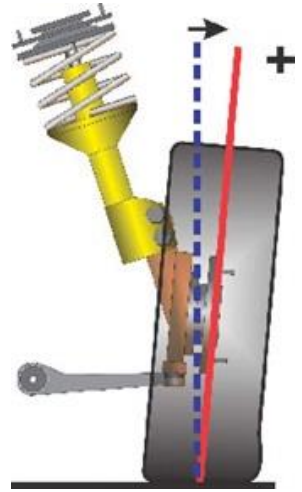
یک دستگاه مکانیکی یا هیدرولیکی است که برای جذب ضربات و ارتعاشات ناشی از سیستم تعلیق طراحی شده و بسته به نوع آن‌ها از انواع آن استفاده می‌شود. البته در برخی خودروها به‌عنوان دسته موتور هم کارایی دارد.

Strut

به‌طور کلی استرات به جزئی از سازه گفته می‌شود که بتواند در راستای طولی محورش، فشار را تحمل کند. در مبحث خودرو استرات از یک ضربه‌گیر (Shock Absorber) و یک فنر تشکیل شده است.

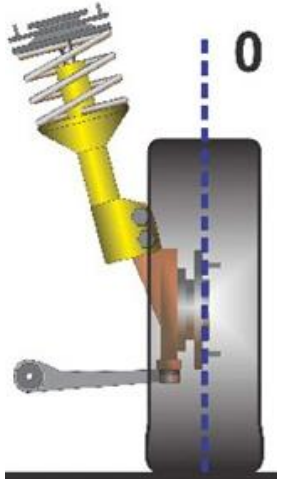
زاویه کمبر (Camber Angle)

- تنظیم کردن زاویه کمبر به چسبندگی خودرو به سطح جاده در حین شتاب‌گیری خط مستقیم و پیچیدن کمک می‌کند.
- تغییر زاویه کمبر باعث تغییر سطح تماس تایر با جاده می‌شود که بر روی دینامیک فرمان‌پذیری تاثیر مستقیم دارد.
- زیادتر کردن زاویه کمبر باعث سایش بیشتر تایرها می‌شود.
- زاویه کمبر با جابه‌جایی عمودی چرخ (Travel) تغییر می‌کند.



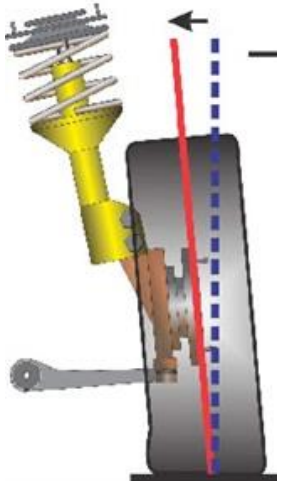
Positive Camber

- کمبر مثبت بالای تایر را به خارج متمایل می‌کند
- کاهش تیز فرمانی
- کاهش تعادل دینامیکی خودرو
- افزایش تعادل محور با بارگذاری سنگین‌تر



Zero Camber

- جلوگیری از سایش تایر
- افزایش عمر دیواره تایر
- افزایش لیز خوردن خودرو نسبت به حالات دیگر

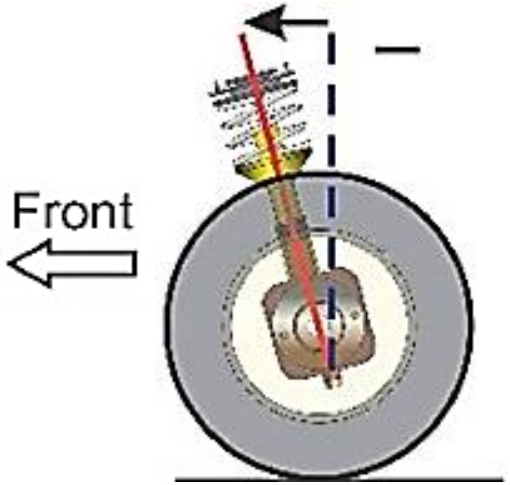


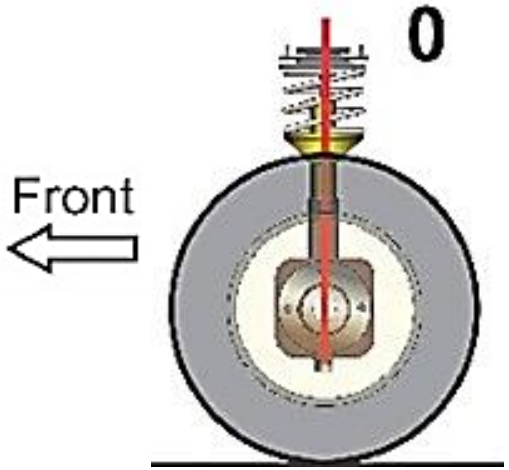
Negative Camber

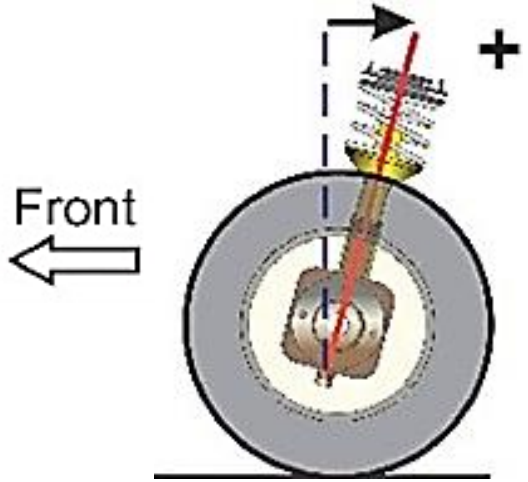
- کمبر منفی بالای تایر را به داخل متمایل می‌کند
- کاهش کُند فرمانی
- افزایش چسبندگی خودرو در پیچ‌ها
- کاهش چسبندگی در شتاب‌گیری خط مستقیم

زاویه کستر (Caster Angle)

- پیچش اکسل و چرخ حول محور اکسل کستر (Caster) و زاویه‌ای که با خط قائم می‌سازد زاویه کستر نامیده می‌شود.
- زاویه کستر مثبت باعث اعمال کردن گشتاور بروی چرخ در حال پیچیدن است. این گشتاور باعث می‌شود تا با حرکت خودرو و با رها کردن فرمان، فرمان به حالت صاف برگردد و خودرو به حرکت مستقیم ادامه دهد.
- تمامی خودروها در محور جلو زاویه کستر مثبت دارند.
- **زاویه کستر+** باعث تعادل بیشتر در سرعت‌های بالا می‌شود ولی به ازای آن، کُند فرمانی را پدید می‌آورد.
- **زاویه کستر صفر** باعث تیز فرمانی می‌شود.
- **زاویه کستر منفی** استفاده نمی‌شود ولی به‌طور فرض اگر بررسی کنیم، خودرو با هر سرعتی در هر حالتی بسیار نامتعادل بوده و مستعد واژگونی است.







دسته‌بندی سیستم تعلیق از جهت سیستم‌های کنترلی

تعلیق غیر فعال (Passive Suspension)

بدون هر گونه سنسور و سیستم کنترلی

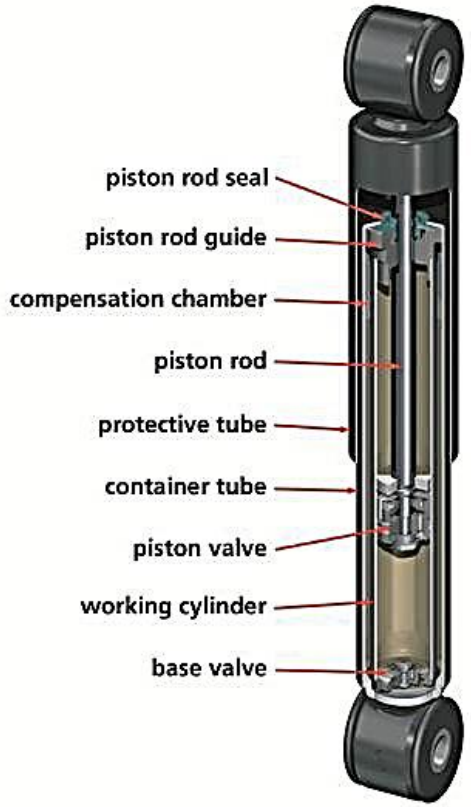
- قابلیت تنظیم سفتی و نرمی سیستم تعلیق به‌صورت دستی
- قابلیت تنظیم ارتفاع خودرو به‌صورت دستی
- مجهز به shock absorber های هیدرولیکی
- بدون قابلیت پیش‌بینی و یا آنالیز هر رفتار
- مناسب برای رانندگی در مسابقات
- ارزان قیمت

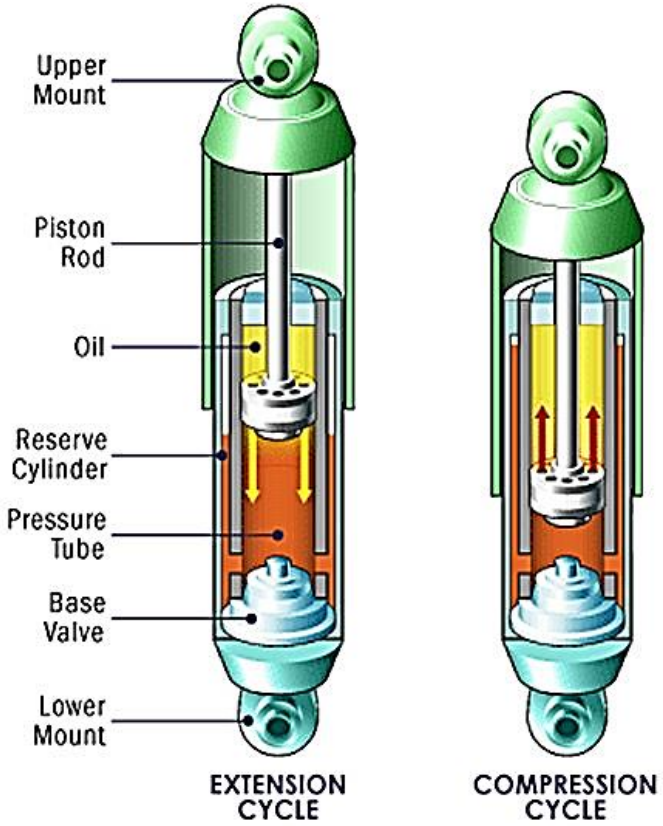
تعلیق فعال (Active Suspension)

- دارای انواع سنسورها و سیستم‌های کنترلی
- قابلیت تنظیم سفتی و نرمی سیستم تعلیق به‌صورت دستی و اتوماتیک
- قابلیت تنظیم ارتفاع خودرو به‌صورت دستی و اتوماتیک
- مجهز به shock absorberهای مغناطیسی و پنوماتیکی
- قابلیت استفاده از سنسورها برای پیش‌بینی رفتار
- قابلیت جلوگیری از صدمات وارده به سیستم تعلیق و شاسی
- قابلیت آنالیز سطح جاده از ۱۰۰ تا ۴۰۰۰ بار در ثانیه
- دارای راحتی بالا در اکثر شرایط
- مناسب برای رانندگی‌های عادی
- گران قیمت

سیستم تعلیق غیرفعال Passive Suspension

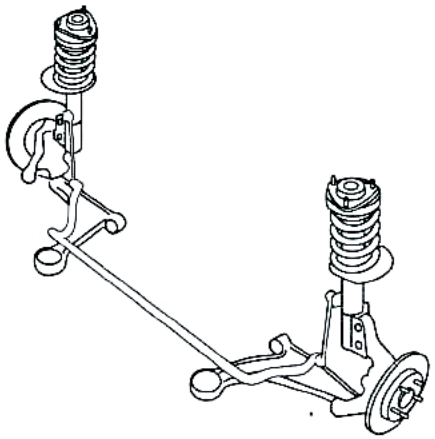
- به علت صرفه اقتصادی بیشتر سیستم‌های تعلیق از نوع غیرفعال‌اند.
- تعلیق‌های غیرفعال شامل تعدادی از اجزای رایج می‌باشند که دارای مشخصه‌های فنریت یا میرا کنندگی بوده و حرکاتی مستقل از زمان دارند.
- به عبارتی اجزای غیرفعال تنها می‌توانند بخشی از انرژی را در قسمتی از سیکل کاری سیستم تعلیق جذب و یا در قسمتی دیگر تلف نمایند.
- مثلاً تایری ممکن است تماسش را با سطح جاده از دست بدهد. دراین صورت سیستم تعلیق با فشرده یا باز کردن فنر عکس‌العمل نشان می‌دهد.
- شیوه‌ی عملکرد این سیستم همانطور که بر کیفیت سفر و رانندگی تاثیر گذار است، باعث انتقال ضربه و لرزش به اتاق خودرو نیز می‌شود.



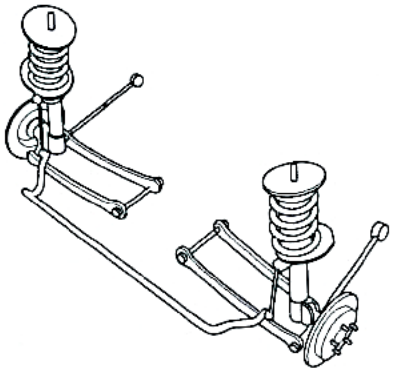


دسته‌بندی و انواع تعلیق

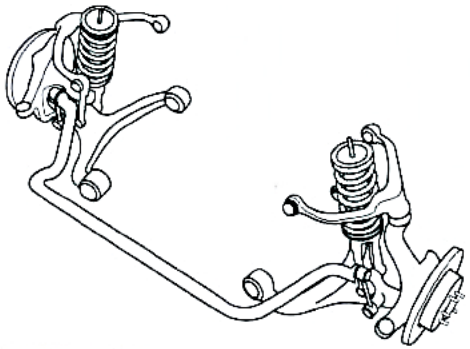
McPHERSON STRUT



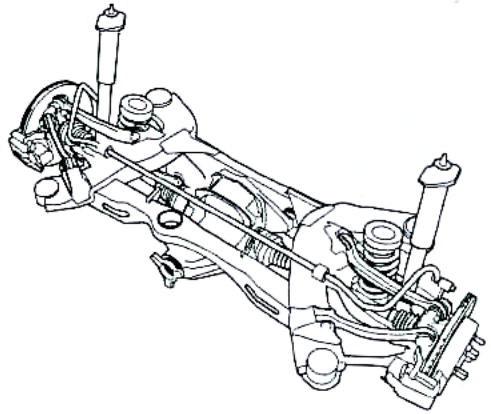
CHAPMAN STRUT



SLA / COIL

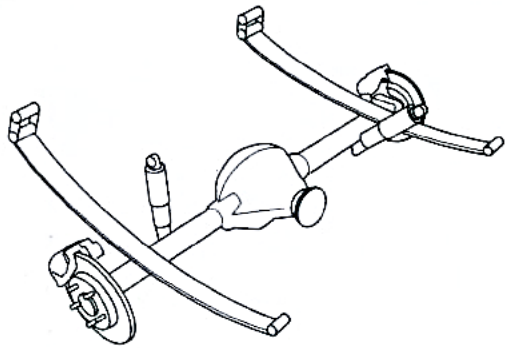


MULTI-LINK / COIL

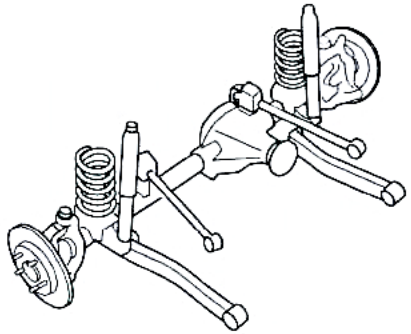


INDEPENDENT SYSTEMS

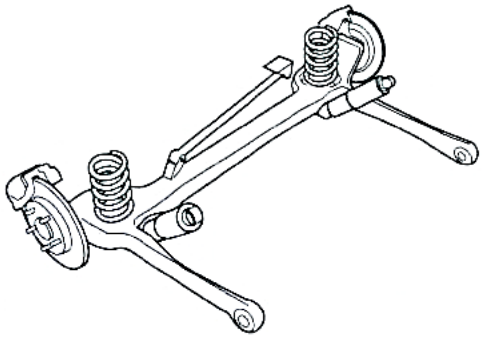
SOLID AXLE / LEAF SPRING



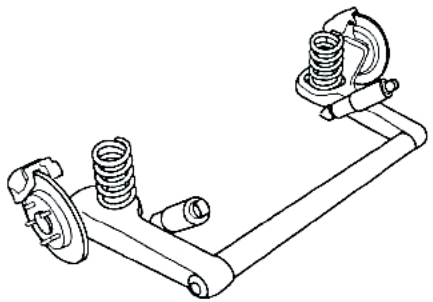
LINK / COIL



SOLID AXLE / TRAILING LINK



TRAILING ARM / COIL

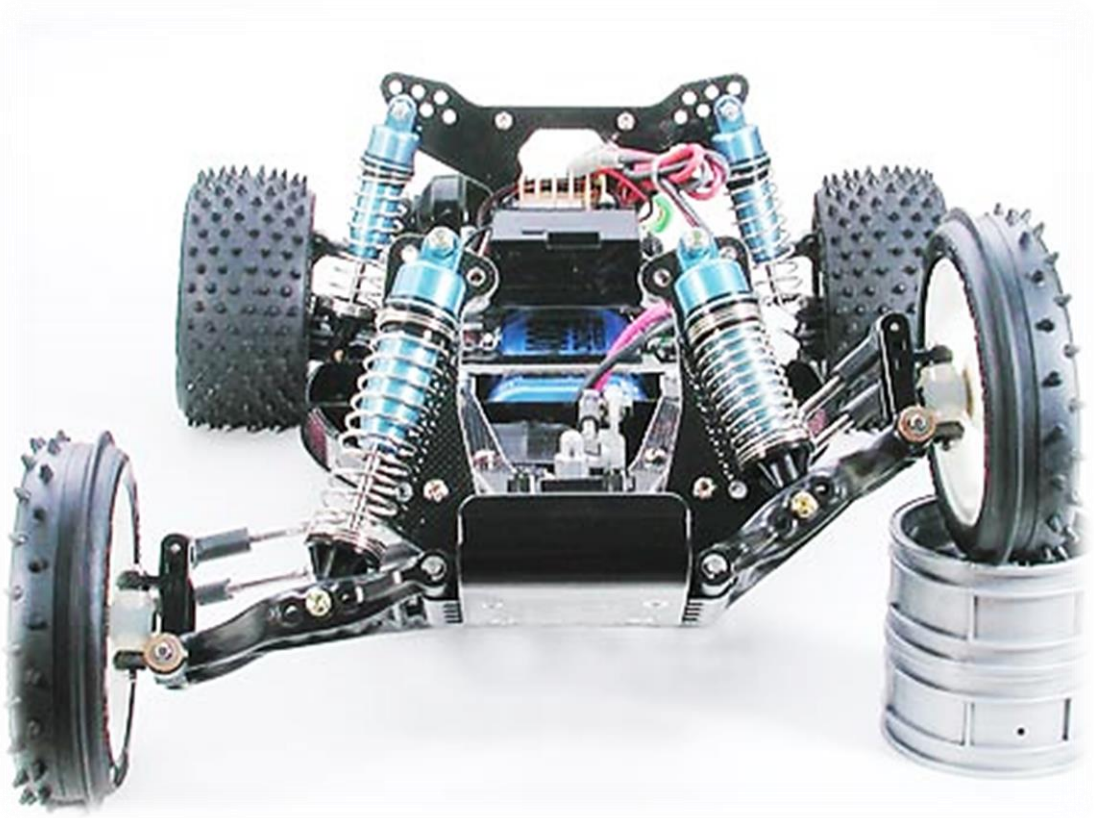


NON-INDEPENDENT SYSTEMS

سیستم تعلیق مستقل

در این سیستم حرکت و جابه‌جایی قائم هر چرخ مستقلا انجام می‌شود و در عمل هر چرخ به‌صورت جداگانه و مستقل ارتعاش می کند و ارتعاشات یک چرخ به چرخ دیگر منتقل نمی‌شود.

مهم‌ترین قطعات آن اتصالات و مفصل‌های سیبکی است. برای مثال سیستم‌های مک‌فرسون و دوجناقی سیستم تعلیق مستقل هستند.



مزایا:

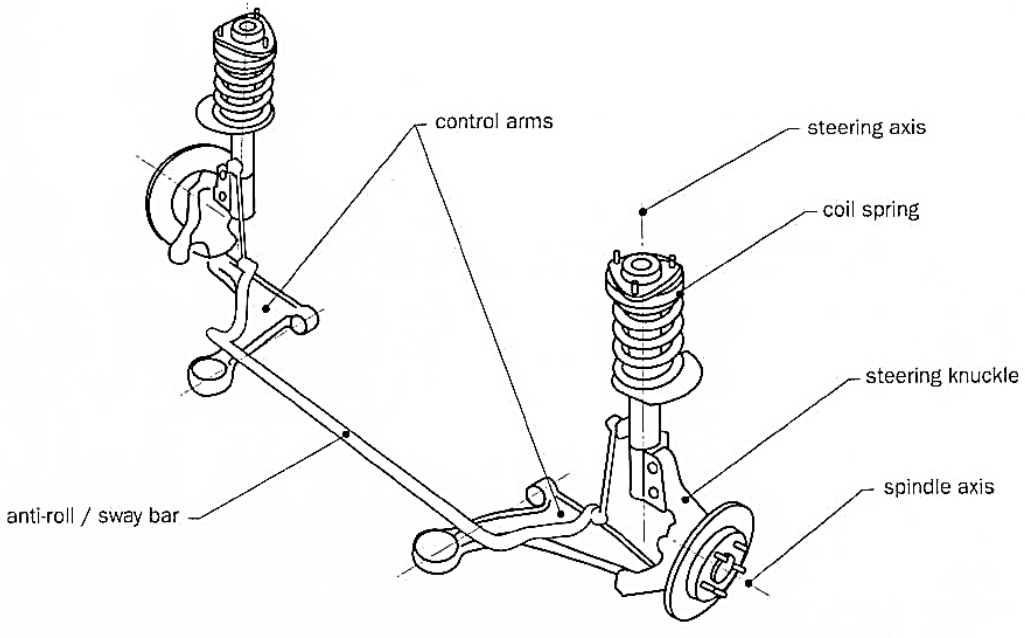
- اشغال فضای کمتر و وزن کمتر
- سطح اتکا بیشتر
- آسیب کمتر سیستم فرمان
- تعادل فرمان در پیچ جاده‌ها

معایب:

- نوسانات زیاد چرخ
- تغییرات زیاد زاویه چرخ
- لاستیک‌سایی بیشتر
- با استفاده در محور عقب خودروهای RWD، شتاب خطی خودرو تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

سیستم تعلیق MacPherson

این سیستم در سال ۱۹۴۵ توسط ارل مک‌فرسون، مهندس ارشد کمپانی شورولت طراحی شد که در آن از یک بازوی پایینی تشکیل شده که حرکات طولی و جانبی را کنترل می‌کند. بیشتر در ماشین‌های سواری به کار می‌رود.

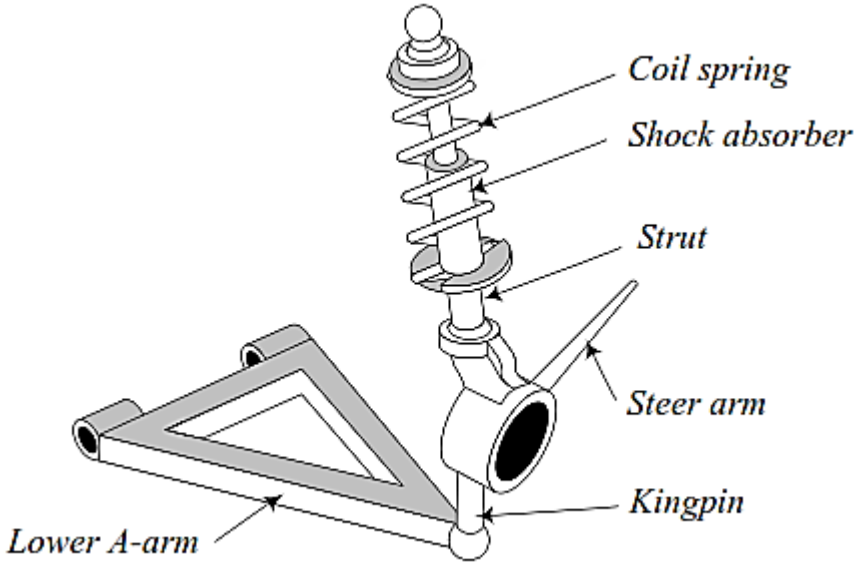


مزایا:

- قطعات کم، هزینه ساخت پایین و پخش بارهای وارد بر سیستم تعلیق روی بدنه خودرو
- این سیستم با جانمایی مناسب برای خودروهای FWD قابل استفاده است.
- حصول راحتی سفر و حفظ پایداری خودرو روی جاده

معایب:

- امکان تنظیم‌پذیری عرضی خودرو پس از نصب را ندارد. همچنین طراح اختیار کمی برای محاسبه طراحی تغییرات کمبر و ارتفاع نقطه واژگونی خودرو دارد.
- در این سیستم وقتی تایرها بالا می‌آیند، تغییرات کمبر آنها کم است. به علاوه کمبر ایجاد شده در چرخ خارج پیچ نامطلوب بوده که امکان واژگونی را افزایش می‌دهد.
- ارتعاشات زیادی توسط این سیستم به بدنه منتقل می‌شود. با توجه به لزوم پایین بودن صدای این خودروها هزینه اضافی را برای سیستم‌های کاهنده صدا تحمیل خواهد کرد.



سیستم تعلیق Chapman

این سیستم در سال ۱۹۵۶ توسط کالین چپمن بریتانیایی برای تیم Lotus F1 طراحی شد و پس از موفقیت آن مستقیماً از انواع مختلف آن برای خودروهای اسپرت، SUV و ... استفاده شد.

تفاوت این سیستم با سیستم مک‌فرسون این است که استرات در مک‌فرسون نیاز به control arm پایینی دارد، در حالی که سیستم چپمن بر روی درایو شفت با کمک یک میله سوار می‌شود.

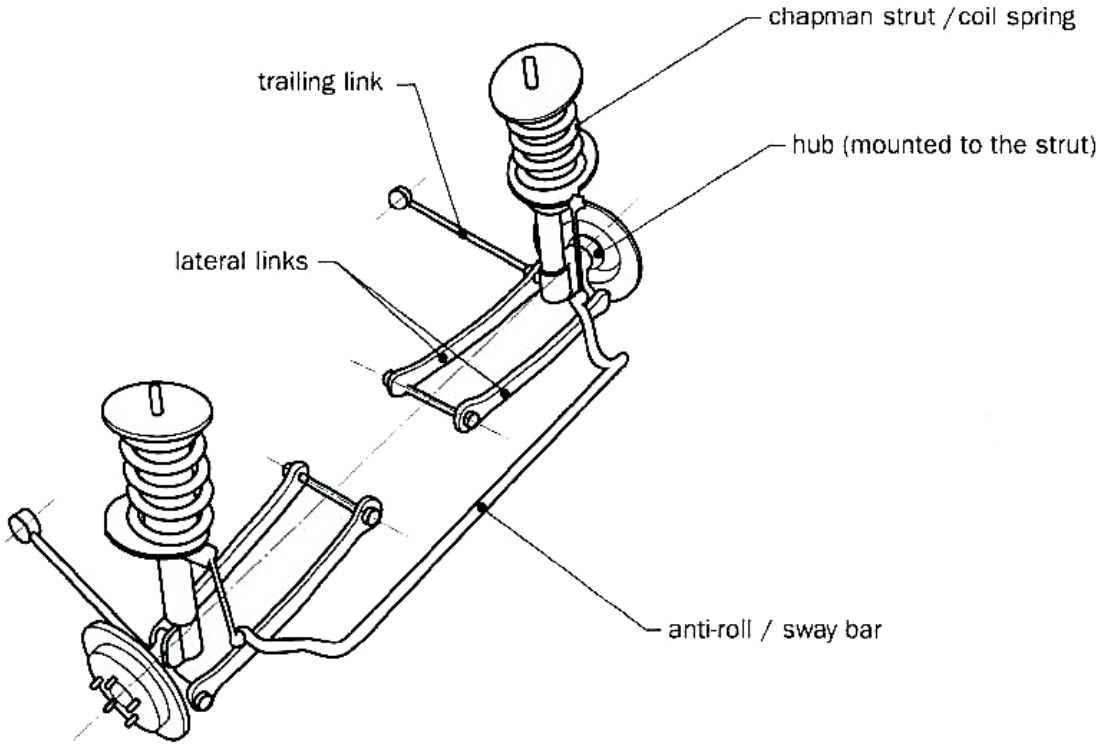
Lotus 12

مزایا:

- قطعات کم، هزینه ساخت پایین و پخش بارهای وارد بر سیستم تعلیق روی بدنه خودرو.
- قابلیت استفاده بر روی انواع زیادی از خودروهای مسابقه‌ای، جاده‌ای شاسی بلند و کوتاه با کمترین تغییرات

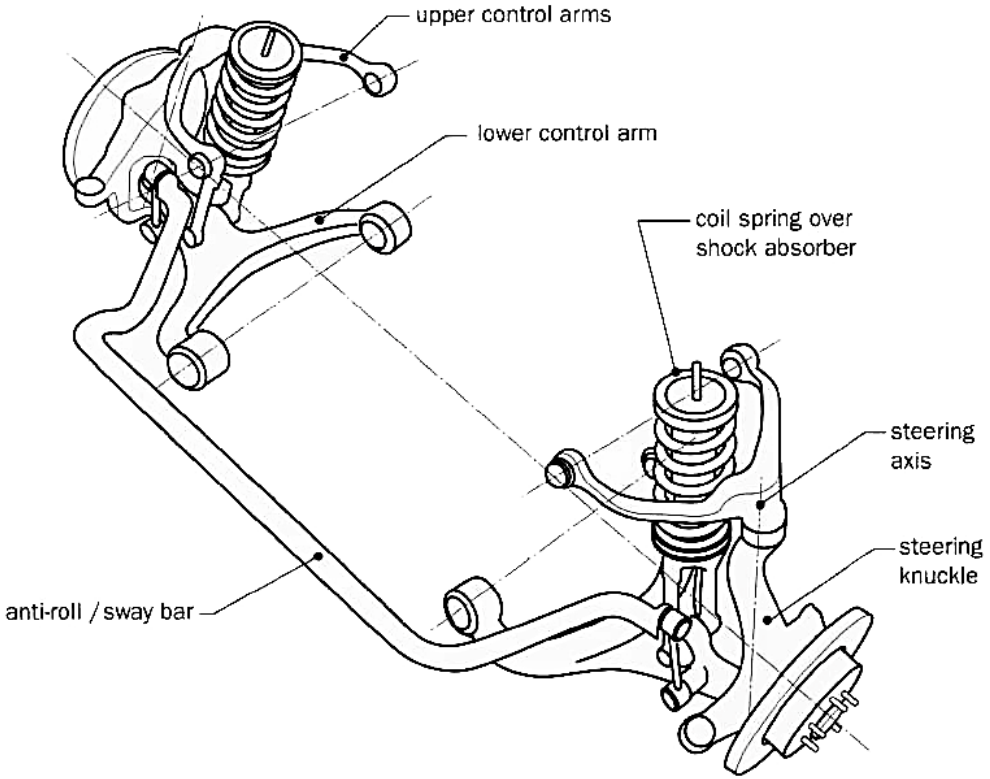
معایب:

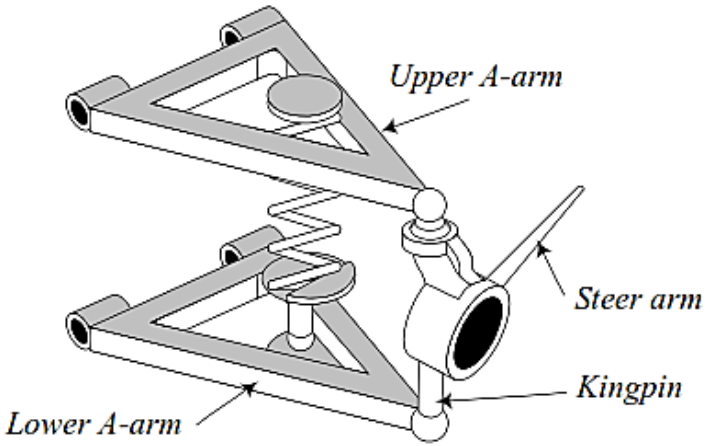
- از راحتی کمتری برخوردار است.
- فقط برای خودروهای RWD کاربرد دارد.



سیستم تعلیق دوجناقی SLA (short long arms)/Double Wishbone

این سیستم که در سال ۱۹۳۴ توسط کمپانی سیتروئن معرفی شد. از دو بازوی A شکل تشکیل شده که به سگدست متصل می‌شوند و ارتباط میان تایر با بدنه را برقرار می‌کنند و فنرها به صورت عمودی روی سگدست نصب می‌شوند.





مزایا:

- عدم تاثیرپذیری چرخ‌های طرفین از یکدیگر است.
- مناسب‌بودن راحتی و پایداری ماشین روی سطوح ناهموار.
- انتقال ارتعاش کمتر به بدنه نسبت به مک‌فرسون
- ایجاد کمبر منفی در چرخ خارج پیچ و در نتیجه پایداری و نیروی جانبی بیشتر برای فرمان‌دهی بهتر نسبت به مک‌فرسون
- این سیستم به طراح این امکان را می دهد تا travel ، camber، caster و roll center را تنظیم کند.

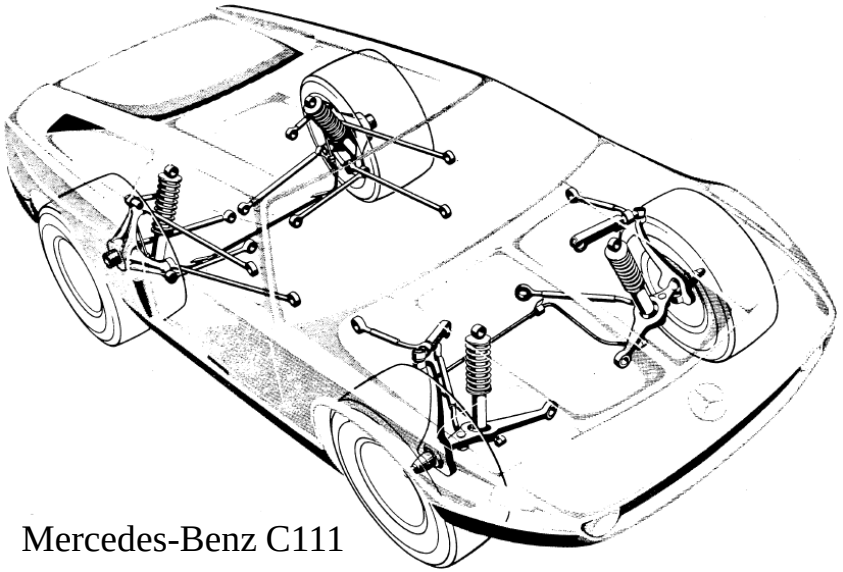
معایب:

- مشکل تغییرات track که باعث سایش تایر و عدم تعادل در فرمان‌پذیری می‌شود.
- البته این اثر را می‌توان با ایجاد هندسه مناسب برای تعلیق جبران کرد.
- این سیستم از سیستم مک فرسون پیچیده‌تر بوده و هزینه ساخت آن بیشتر است

سیستم تعلیق Multi-link

این سیستم در دهه ۱۹۶۰ توسط کمپانی مرسدس‌بنز بروی خودروی C111 معرفی شد و تا امروز نیز روی اکثر محصولات این کمپانی استفاده می‌شود.

طراحی Multi-link به‌طور متداول برای سیستم‌های مستقل استفاده می‌شود که دارای تعداد سه یا بیشتر بازوهای عرضی و تعداد یک یا بیشتر بازوهای طولی است. این بازوها لزوماً دارای طول یکسان نیستند و می‌توانند از زوایای حالت عادی خود بسیار فاصله بگیرند.



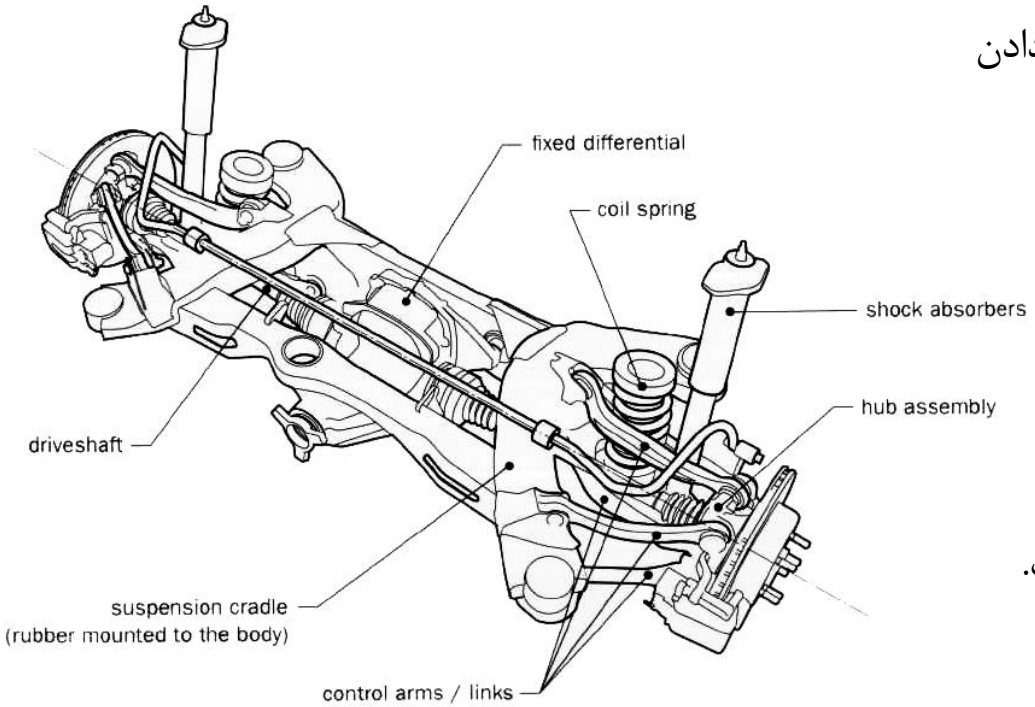
Mercedes-Benz C111

مزایا:

- مزیت این سیستم راحتی بسیار بالا و فرمان‌پذیری عالی آن نسبت به سایر سیستم‌ها است.
- برعکس سایر سیستم‌ها در طراحی این سیستم می‌توان یک پارامتر را بدون تغییر دادن سایر پارامترها تغییر داد و این موضوع فقط بخاطر لینک‌های متعدد است.
- قابلیت این سیستم برای تغییرات وسیع زوایای مختلف اتصالات که آن را برای رانندگی در سطوح بسیار ناهموار حتی مناسب‌تر از سایر سیستم ها می‌سازد.

معایب:

- هزینه ساخت بسیار بالای و پیچیدگی این سیستم نسبت به سایر سیستم‌ها.
- هماهنگ کردن و بهینه‌سازی این سیستم بدون مدل‌سازی کامپیوتری بسیار دشوار است.
- بارگذاری روی این سیستم باعث کاهش کارایی و مطلوب بودن این سیستم می‌شود.



سیستم تعلیق غیرمستقل

در این نوع سیستم تعلیق، تایرها از طریق یک اکسل به‌هم متصل می‌شوند. در نتیجه حرکت هر چرخ متأثر از چرخ دیگر خواهد بود. ضرایب میرایی کمک فنرها و سختی فنرها ثابت است. این نوع سیستم تعلیق در خودروهای باری سنگین برای تحمل بار به کار می‌رود. این نوع سیستم تعلیق قادر به تحمل نیروها درراستای جانبی و طولی نخواهند بود و فقط می‌توانند نیروهای در راستای حرکت عمودی (Travel) چرخ را تحمل کنند.

مزایا:

- سادگی مونتاژ، تعداد کم اجزای تشکیل دهنده و هزینه تمام شده.
- قابلیت تحمل بارهای سنگین را دارند.
- سایش لاستیک‌ها به خاطر ثابت بودن زاویه کمبرچرخ‌ها حداقل می شود.
- تعادل فرمان در جاده‌های صاف و شتاب‌گیری بهتر نسبت به سیستم مستقل

معایب:

- در این سیستم‌ها به دلیل اینکه دیفرانسیل و پلوس‌ها جزیی از وزن سیستم تعلیق محسوب می‌شوند، باعث اعمال نیروهای زیادی به بدنه می‌شوند و در نتیجه به فنرهای بزرگی برای نگه داشتن تایرها روی جاده نیاز است، که این کار مستلزم صرف هزینه‌های اضافی است.
- به دلیل اتصال چرخ‌ها به یکدیگر، وقتی یکی از چرخ‌های ماشین وارد ناهمواری می‌گردد، باعث می‌شود نیرو به چرخ دیگر منتقل شود و در نتیجه تحت تاثیر ارتعاشات ایجاد شده یک ممان ژیروسکوپی حول محور فرمان می‌گردد، که باعث خود فرمانی شده و پایداری خودرو را در پیچ‌ها کاهش می‌دهد.
- در این نوع تعلیق امکان تنظیم‌پذیری چرخ‌ها برای ارضای پارامتر مورد نظر طراح وجود نخواهد داشت.
- به دلیل وزن زیاد و فضای زیادی که اشغال می‌کنند مشکلات جانمایی دارند.

سیستم تعلیق Solid Live Axle (Coil Spring)

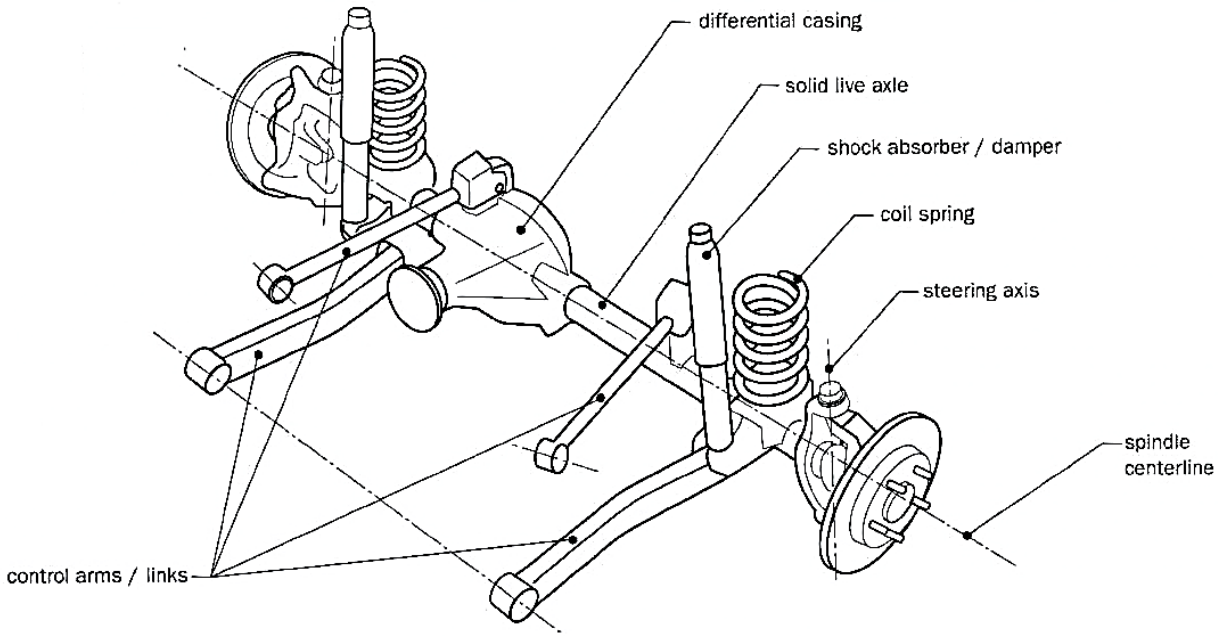
این سیستم تقریبا با پیدایش و استفاده از shock absorberها اختراع شد و عمدتاً در خودروهای شاسی بلند 4WD استفاده می‌شود که برای سطوح بسیار ناصاف مانند کوه، صخره و ... مناسب است.

مزایا:

- در سطوح ناهموار و در سرعت‌های پایین بسیار مناسب است.
- نسبت به سایر سیستم‌های مستقل دارای قابلیت جایگذاری بهتری است.
- آماده برای کاربردهای سنگین

معایب:

- چون این سیستم عملاً در زیر موتور و جعبه دنده قرار می‌گیرد، ارتفاع مرکز جرم خودرو بالا رفته که باعث عدم تعادل در پیچ جاده می‌شود.

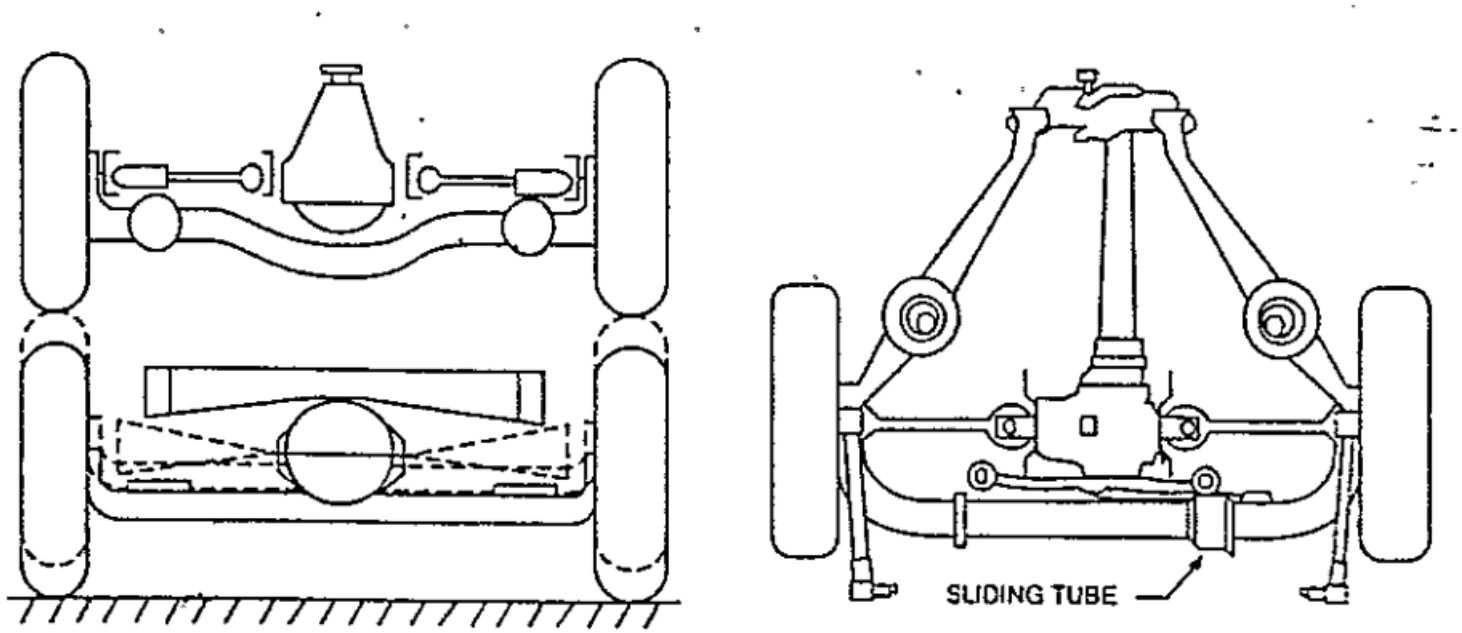


سیستم تعلیق DeDion

این سیستم تعلیق در سال ۱۸۹۴ توسط دو دیون و جرج باتون ساخته‌شد. این سیستم با وجود اینکه کاربرد کمی دارد اما به شکل‌های مختلفی طراحی شده است. در شکل زیر یک نوع از این سیستم مشاهده می‌شود که شامل یک لوله‌ی عرضی می‌باشد که بین دو چرخ محرک و میل پلوس و دیفرانسیل نصب‌شده به شاسی قرار گرفته است.

این سیستم گرچه در زمانی که تولید شد بسیار مورد استقبال قرار گرفت ولی دیری نپائید که با سیستمی که کمپانی پنهارد ارائه کرد، جایگزین شد.

این سیستم از عدم تعادل بسیار زیادی برخوردار بود و کمپانی پنهارد توانسته بود صرفاً با اضافه کردن یک میله بروی اکسل، تعادل عرضی بهتری برقرار کند و همین باعث منقرض شدن این سیستم شد.



سیستم‌های تعلیق Solid Live/Beam Axle (Leaf Spring)

این سیستم اولین بار توسط کمپانی فرانسوی Panhard ارائه شد و علاوه بر مصارف تجاری به‌علت استحکام بالا و قیمت پایینی که داشت برای مصارف نظامی هم استفاده شد، به‌طوری که کمپانی Panhard کاملاً به صنایع نظامی روی آورد و تا امروز هم مشغول است.

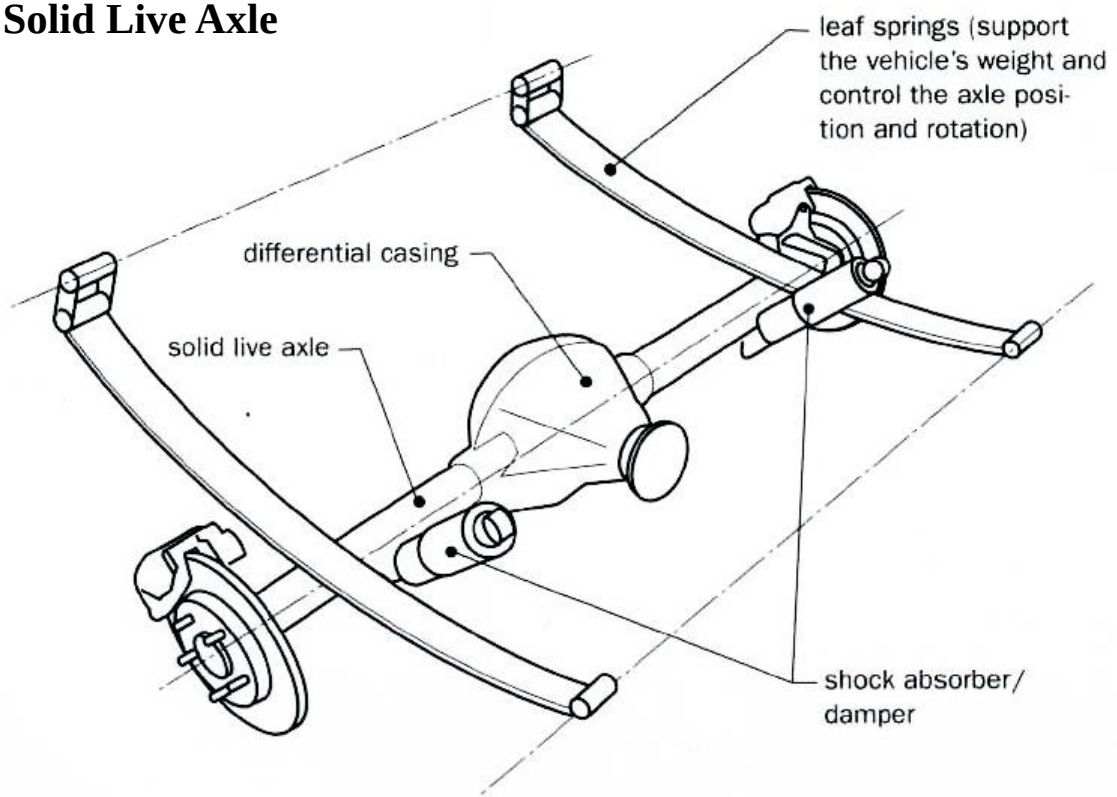
مزایا:

- استحکام بالا و قیمت بسیار پایین
- سرعت در تولید و مونتاژ قطعات
- قابلیت بارگذاری بالا

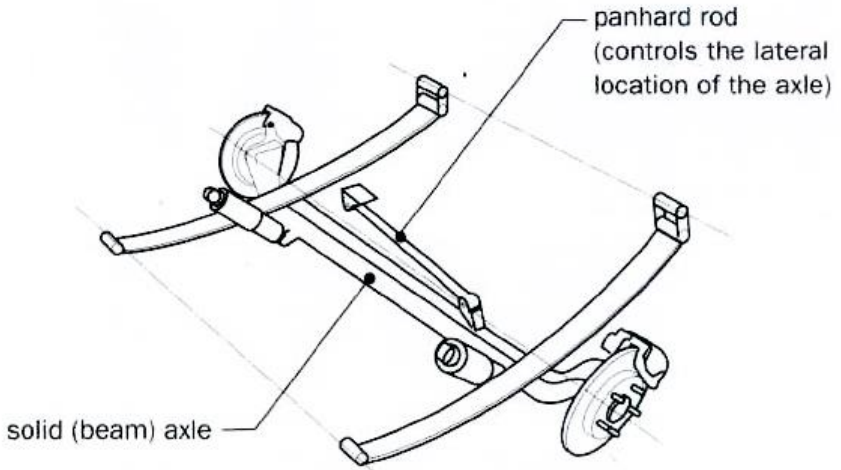
معایب:

- سواری نه چندان خوش‌آیند هنگام سبک باری
- نداشتن چسبندگی کافی تایرها به زمین

Solid Live Axle



Solid Beam Axle



سیستم‌های تعلیق Trailing Arm

این سیستم حتی در صنعت هواپیمایی هم استفاده می‌شود. ساختار آن به این صورت است که دو بازو که در طرفین به چرخ‌ها متصل هستند، با اتصال یک میله میانی به همدیگر برای ایجاد تعادل عرضی و استحکام بیشتر متصل می‌شوند. این سیستم بیشتر در خودروهای کوچک و برای چرخ‌های عقب مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سیستم اولین با توسط کمپانی رنو (Renault) در دهه ۱۹۷۰ معرفی شد.

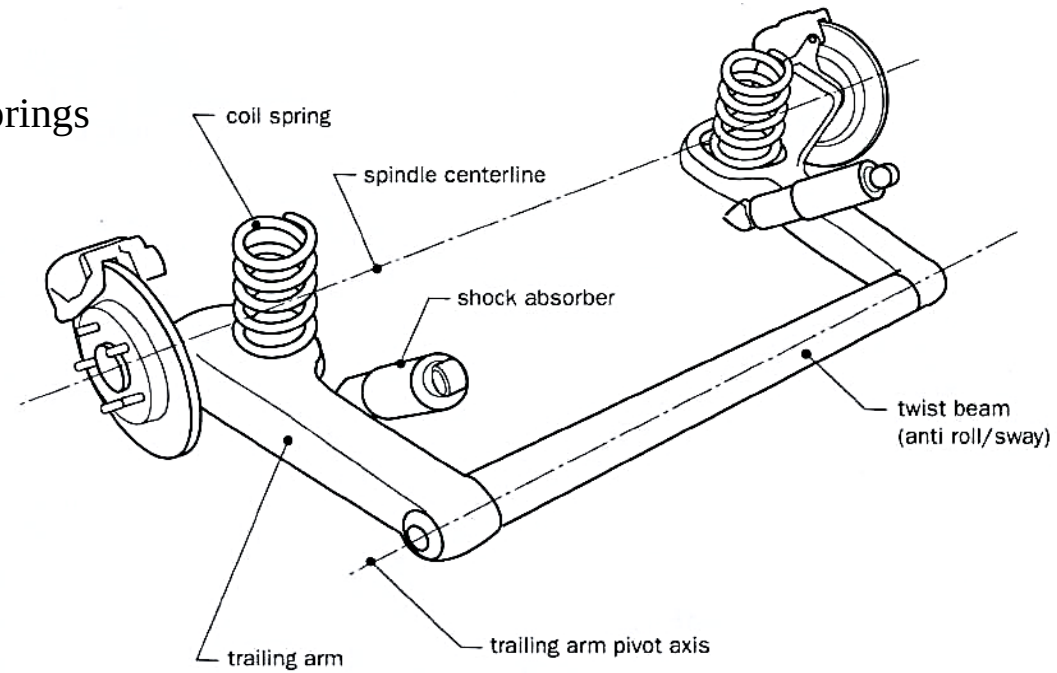
مزایا:

- جاگذاری بسیار کم و قابلیت استفاده در خودروهای کوچک برای چرخ‌های عقب
- تعمیرات آسان و هزینه کم
- وزن بسیار کم نسبت به سایر تعلیق‌های غیرمستقل

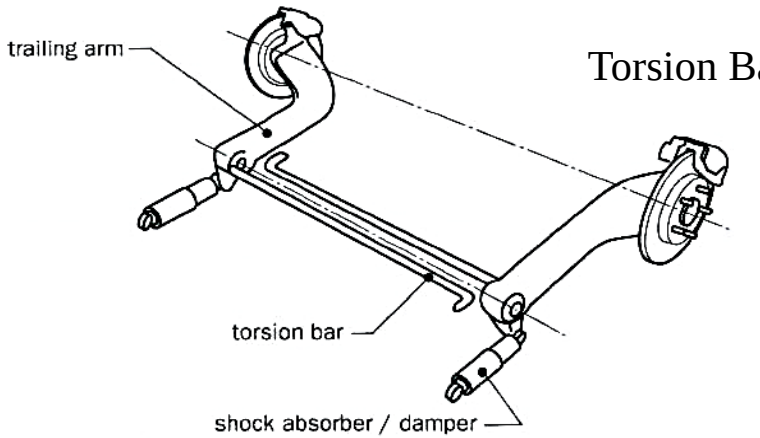
معایب:

- تحمل بارگذاری‌های سنگین را ندارد
- نداشتن چسبندگی کافی تایرها به زمین
- نداشتن قابلیت اعمال تنظیمات

Coil Springs



Torsion Bar Springs



Peugeot 206 class

Top speed 210 km/h

0-100 9.5 sec

Layout front wheel drive front engine

Power output 108 hp

Curb weight 1120 kg

Length 3,835 mm

Width 1,652 mm

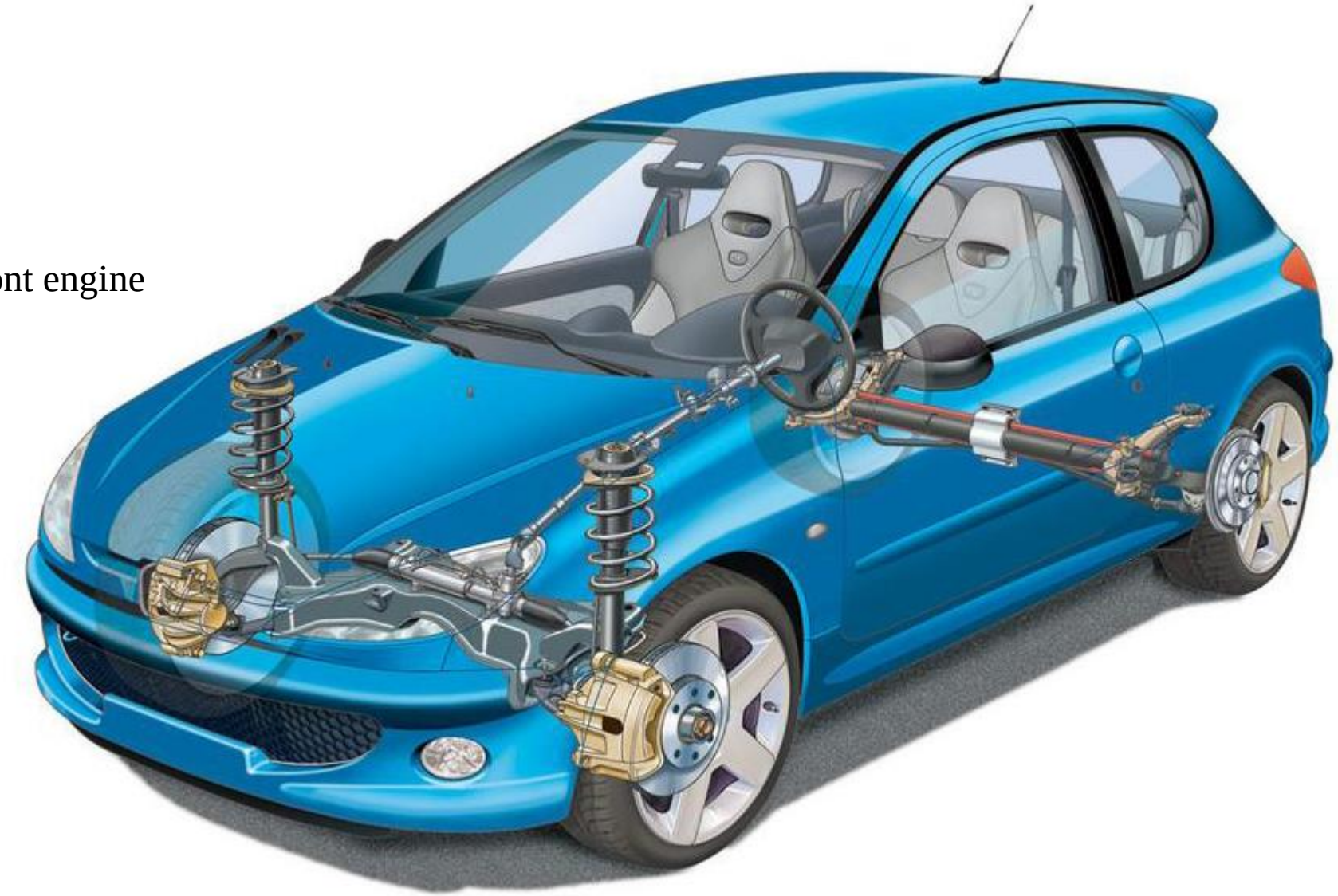
Height 1,428 mm

Ride Height: 133 mm

Wheel Base 2,442 mm

Camber: 0º @ all wheels

Castor: +3º18’ Front



Suspension type: Macpherson on Front, passive

Trailing Arm with Torsion bar and Dampers on Rear, passive

Ford Festiva (KIA Pride & Mazda 121)

Top speed 180 km/h

0-100 9.5 sec

Layout front wheel drive front engine

Power output 75 Hp

Curb weight 740 kg

Length 3,475 mm

Width 1,605 mm

Height 1,460 mm

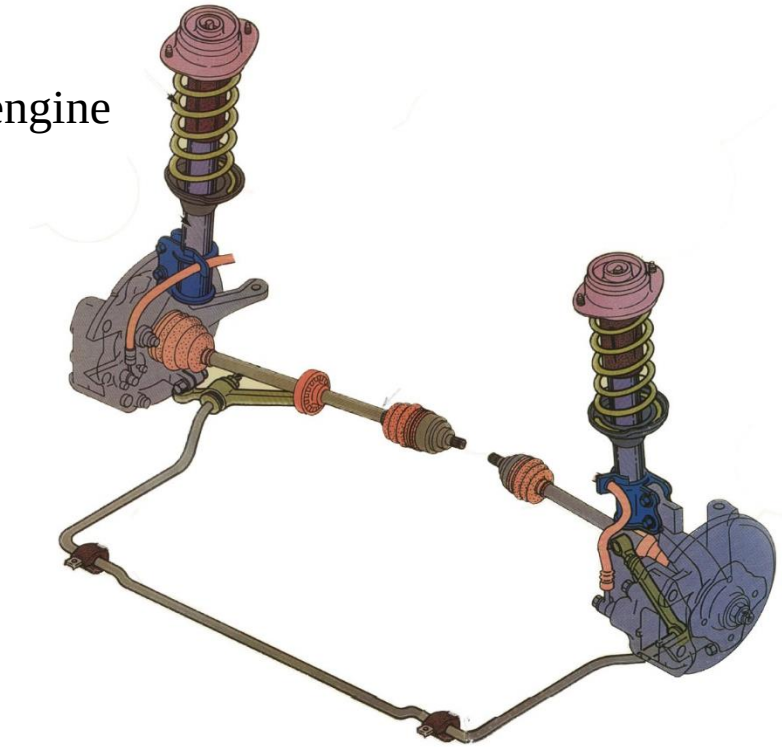
Ride Height 160 mm

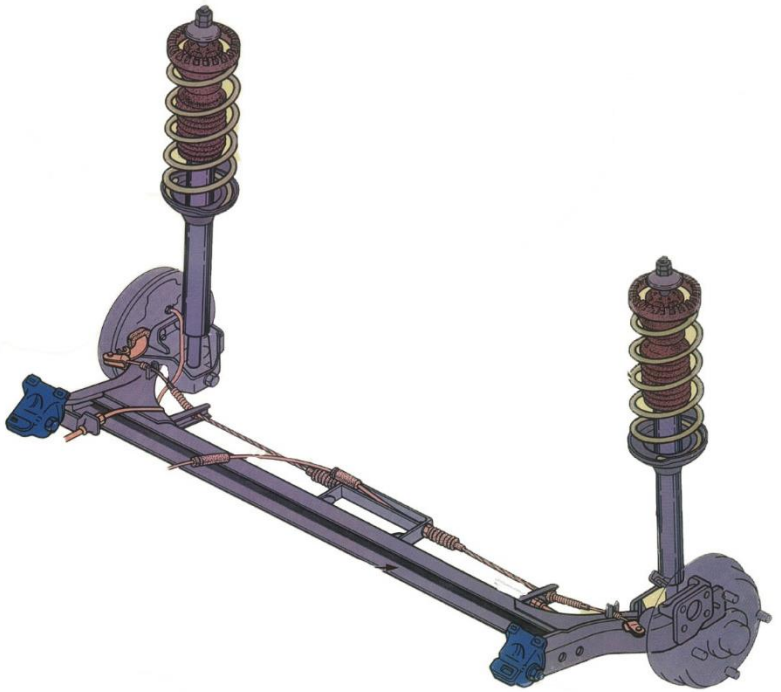
Wheel Base 2,295 mm

Camber: +0.5º @ all wheels

Castor: +1º Front

Suspension type: Macpherson on Front, passive





Trailing Arm with Torsion bar and struts on Rear, passive

Peugeot RCZ

Top speed 250 km/h

0-100 5.9 sec

Layout Front wheel drive Front engine

Power output 266 Hp

Curb weight 1394 kg

Length 4290 mm

Width 1845 mm

Height 1359 mm

Ride Height: 111 mm

Wheel Base 2612 mm

Camber: -0º24’ @ Front , -1º42’@Rear

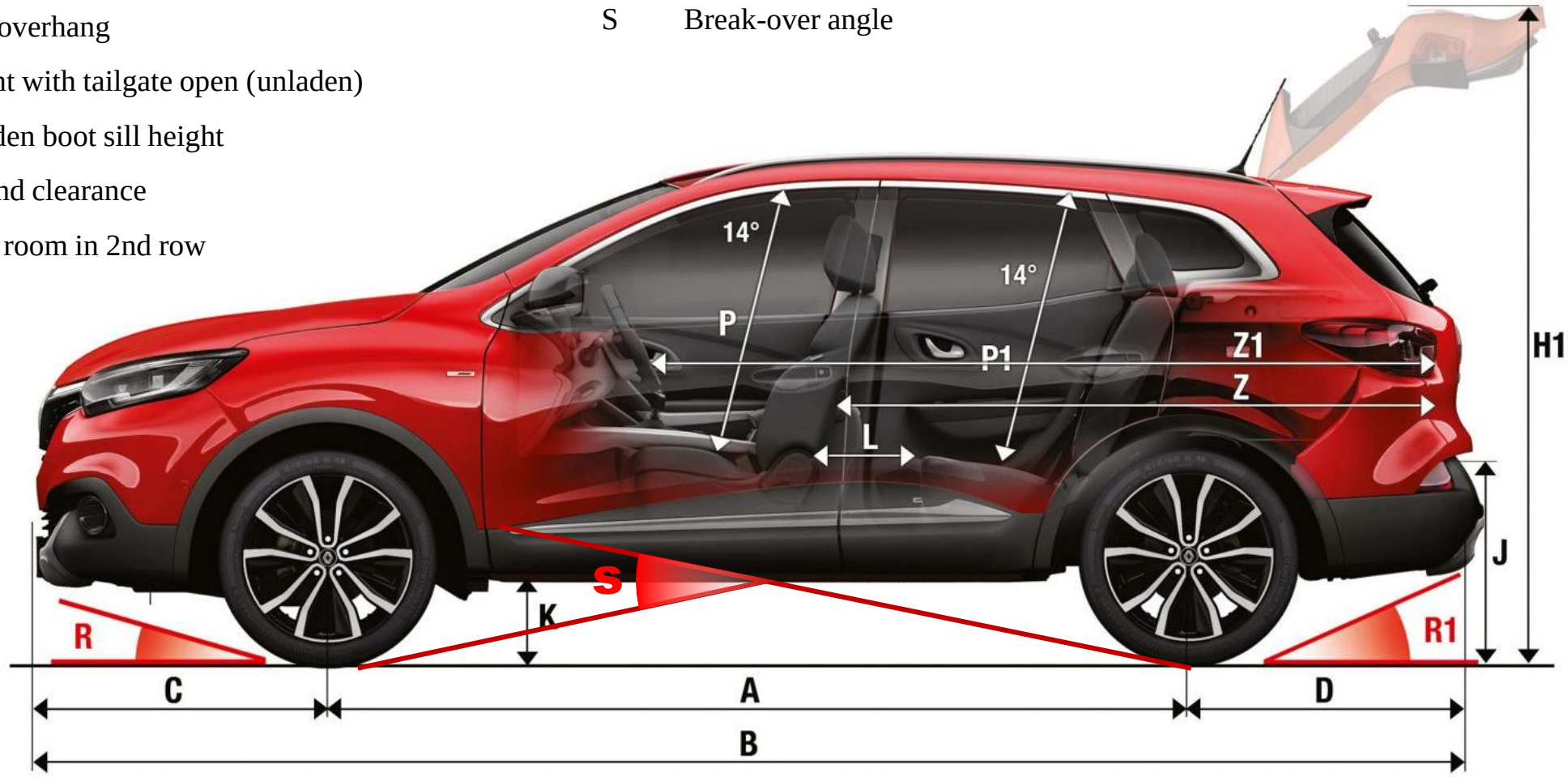
Castor: +5º24’ Front

Suspension type: Macpherson on Front, passive

Trailing Arm with Torsion bar and Dampers on Rear, passive

ابعاد خودرو از نمای جانب

A	Wheelbase
B	Overall length
C	Front overhang
D	Rear overhang
H1	Height with tailgate open (unladen)
J	Unladen boot sill height
K	Ground clearance
L	Knee room in 2nd row
P/P1	Headroom at 14° in 1st/2nd row (front/rear seats)
Z	Max. loading length bench seat folded up/down
R/R1	Approach Angle/Departure Angle in degrees
S	Break-over angle



نمایش فیلم
سیستم تعلیق

جلسه دوم سیستم تعلیق

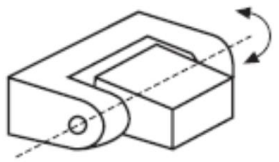
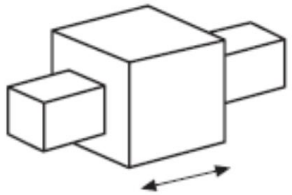
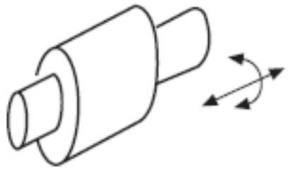
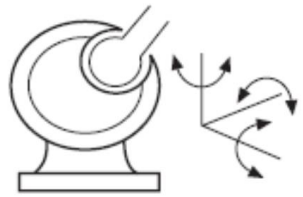
درجات آزادی

وجود مفصل‌ها در هر مکانیزم قیودی در برابر حرکت مکانیزم ایجاد می‌کند و نوع آن در تعیین درجات آزادی سیستم حائز اهمیت است. درجه آزادی هر سیستم با استفاده از معادله گروبنر محاسبه می‌شود:

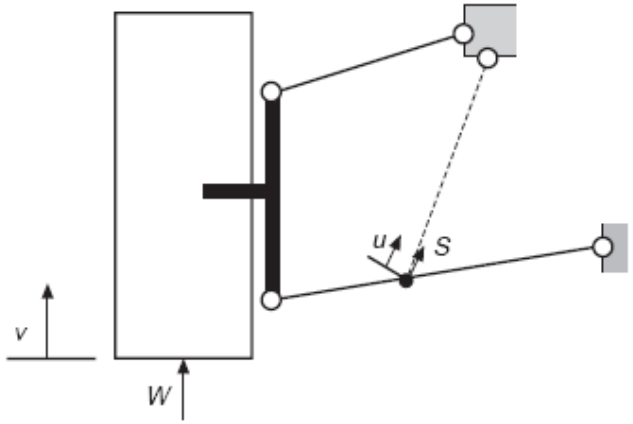
$$Dof= N\times6 - (R\times5 + Q\times4 + S\times3)$$

که در آن N تعداد عضوها، R تعداد مفصل‌های لولایی و مفصل‌های کشوی، S تعداد مفصل‌های کروی و Q تعداد مفصل‌های یونیورسال است.

انواع مکانیزم‌های متداول در سیستم تعلیق با درجه آزادی آن‌ها

Name of pair	Geometric form	Degrees of freedom
Revolute R		1
Prism P		1
Cylinder C		2
Sphere S		3

آنالیز نیروهای چرخ و فنر



W نیروی چرخ
S نیروی فنر
u تغییر شکل فنر
v تغییر شکل چرخ

- رابطه بین تغییر شکل فنر با چرخ رابطه غیرخطی است.
- ولی می‌توان ضریب سختی چرخ را با کمک ضریب سختی فنر تفسیر کرد :

نسبت تعلیق

$$R = \frac{S}{W}$$

ضریب سختی فنر

$$k_s = \frac{dS}{du} = d(RW) = R\frac{dW}{dv}\frac{dv}{du} + W\frac{dR}{dv}\frac{dv}{du}$$

بر اساس اصل کار مجازی:

$$S\,du = W\,dv \qquad R = \frac{S}{W} = \frac{dv}{du}$$

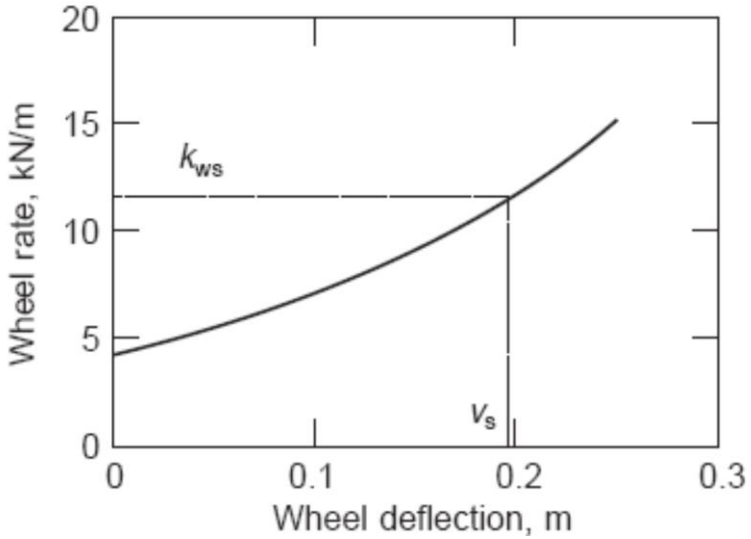
سختی چرخ

$$k_w = \frac{dW}{dv}$$

پس از جاگذاری روابط ضریب سختی فنر به صورت روبرو در می‌آید:

$$\longrightarrow \quad k_s = k_w R^2 + S\frac{dR}{dv}$$

فرکانس طبیعی با بارگذاری متغییر



ساده‌ترین حالت را برای یک نوسان میرا نشده:

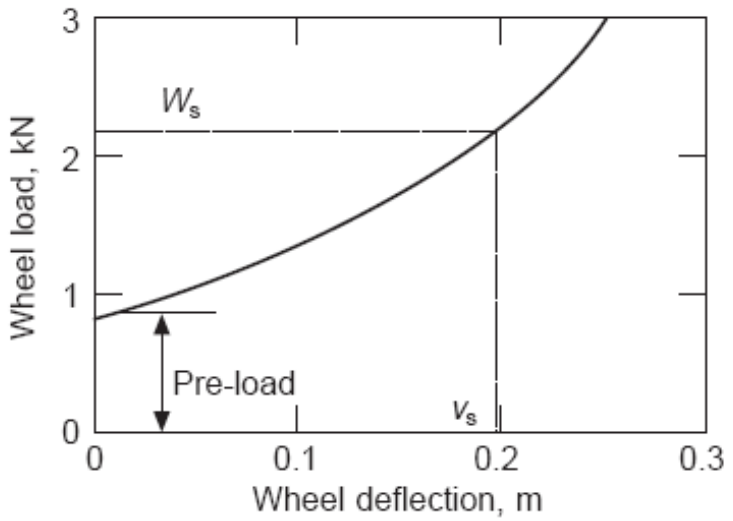
$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_w}{m_s}}$$

جابجایی استاتیکی:

$$\delta_s = \frac{m_s g}{k_w}$$

برای به‌دست آوردن ω_n، جابجایی استاتیکی باید ثابت باشد، پس با ترکیب روابط بالا:

$$\frac{W}{dW/dv} = \delta_s = \text{constant, or } \frac{dW}{W} = \frac{dv}{\delta_s}$$



بعد از انتگرال‌گیری از رابطه:

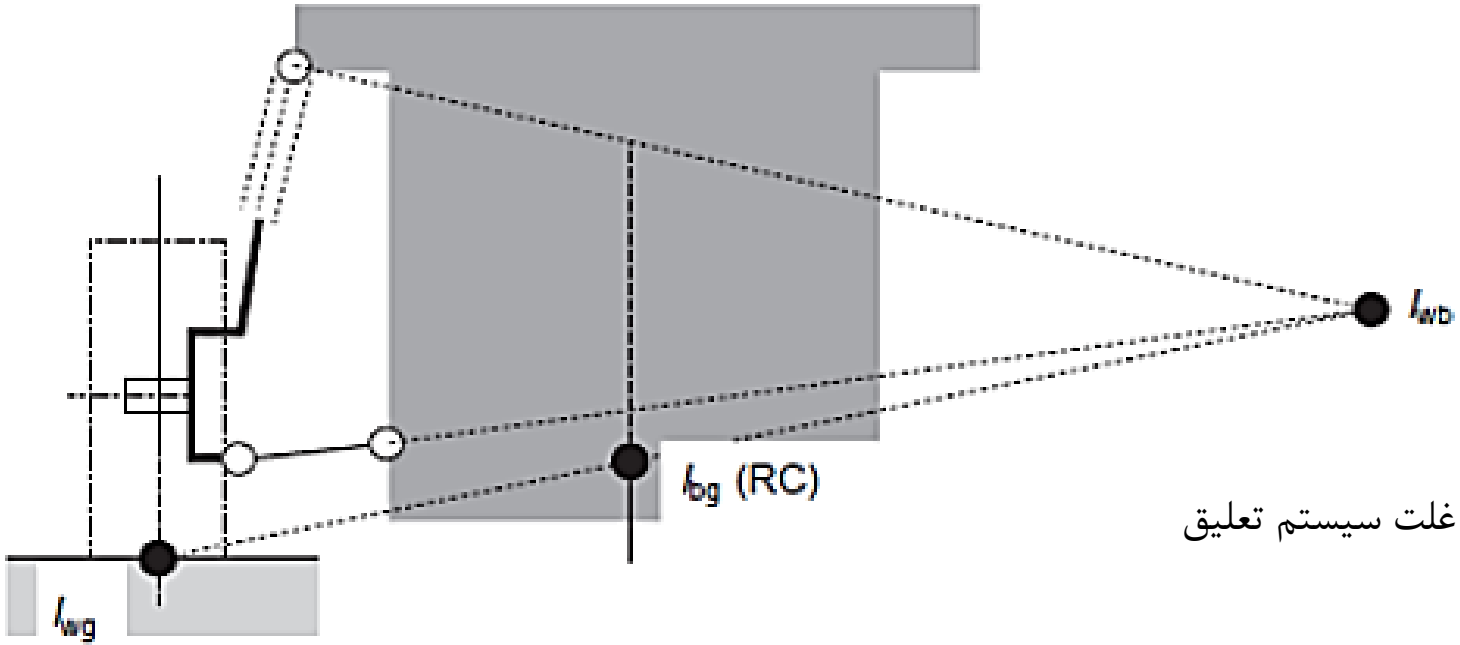
$$W = W_s e^{\frac{v - v_s}{\delta_s}}$$

بعد از جاگذاری مقدار k_w بدست می‌آید:

$$k_w = \frac{dW}{dv} = \frac{W_s}{\delta_s} e^{\frac{v - v_s}{\delta_s}}$$

مرکز غلت (Roll center)

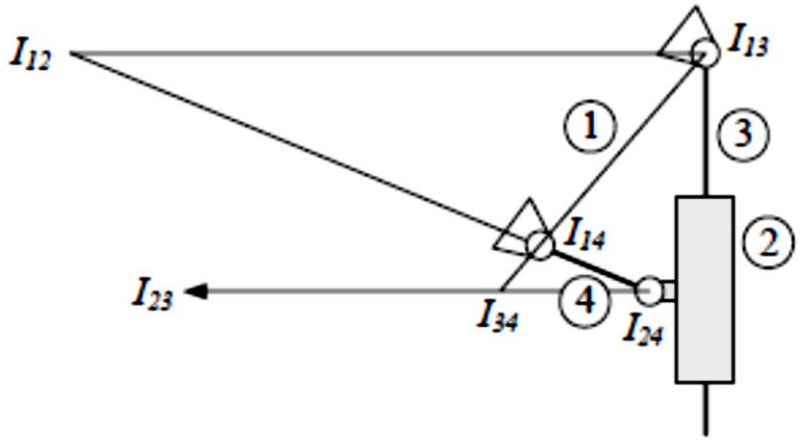
- مرکز غلت سیستم تعلیق مرکز آنی جرم فنربندی شده (بدنه) و زمین است. می‌توان بدنه، چرخ و زمین را به عنوان سه جسم مستقل در نظر گرفت.
- محور غلت خط آنی است که بدنه خودرو حول آن می‌غلتد و از اتصال مراکز غلت سیستم تعلیق جلو و عقب به‌دست می‌آید.
- مرکز آنی چرخ و زمین در محل تماس چرخ با زمین قرار دارد که با به‌دست آوردن مرکز آنی چرخ و بدنه، مرکز آنی بدنه و زمین نیز طبق قضیه‌ی کندی روی خط واصل قرار دارد.
- طبق شکل ۳-۱ سه مرکز آنی I_{wb}، I_{wg} و I_{bg} به دست خواهد آمد که I_{bg} همان مرکز غلت خودرو است.



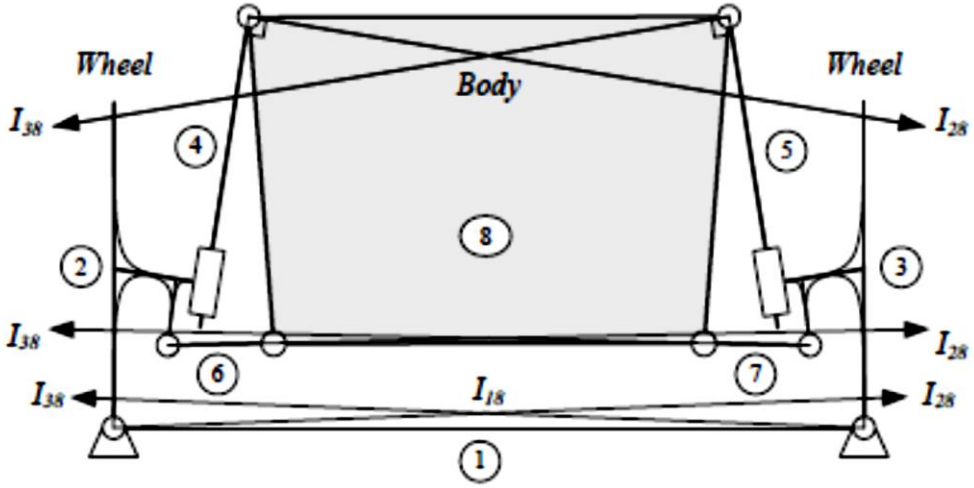
شکل ۳-۱ مرکز غلت سیستم تعلیق

مرکز غلت (Roll center) مک‌فرسون

- مکانیزم تعلیق مک‌فرسون یک مکانیزم لنگ و لغزنده واژگون است.
- مرکز آنی یک مکانیزم لنگ و لغزنده در شکل ۳-۳ را نشان داده شده است.
- نقطه I_{12} مرکز غلت سیستم تعلیق است که مرکز آنی چرخش چرخ (عضو ۲) نسبت به بدنه (عضو ۱) است.
- مکانیزم معادل سینماتیکی سیستم تعلیق مک‌فرسون در شکل ۳-۴ نشان داده شده است.
- مرکز غلت سیستم تعلیق و مرکز غلت بدنه مشاهده می‌شوند.
- برای به‌دست آوردن مرکز غلت نیمه جلو و عقب خودرو، مرکز غلت هر یک از تعلیق‌های جلو و عقب را مشخص نموده و سپس تقاطع خطوط مراکز غلت تعلیق‌ها و مرکز چرخ‌ها تعیین می‌شوند.



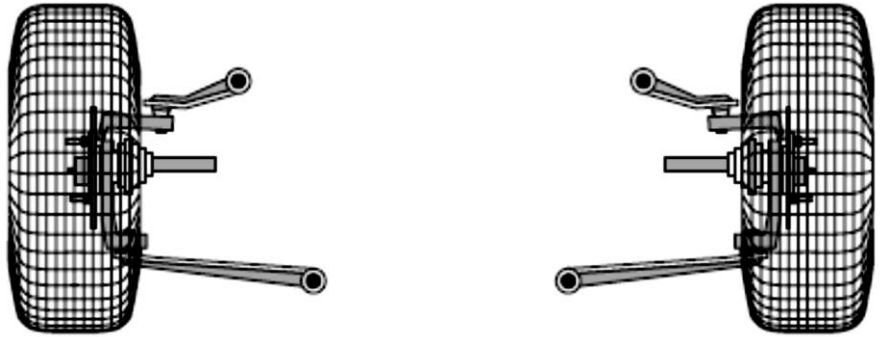
شکل ۳-۳ طرح مکانیزمی سیستم تعلیق مک‌فرسون



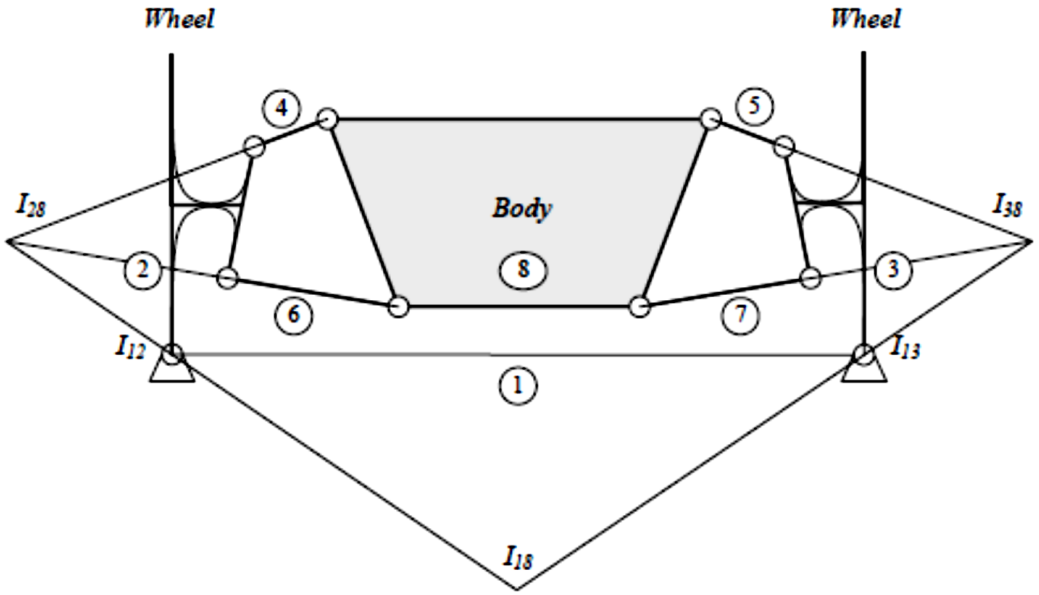
شکل ۳-۴ مرکز غلت سیستم تعلیق مک‌فرسون

مرکز غلت سیستم تعلیق دو جناغی (Double A-arm)

- شکل ۳-۵ مکانیزم سیستم تعلیق دوجناغی (Double A-arm) را نشان می‌دهد.
- شکل ۳-۶ مکانیزم معادل سینماتیکی این سیستم را نشان می‌دهد.



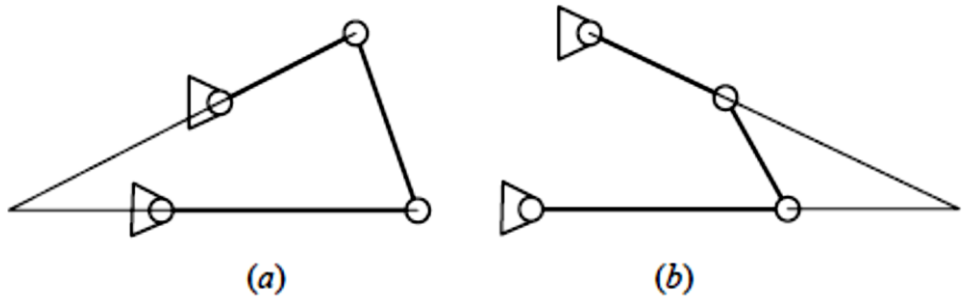
شکل ۳-۵ سیستم تعلیق Double A-arm



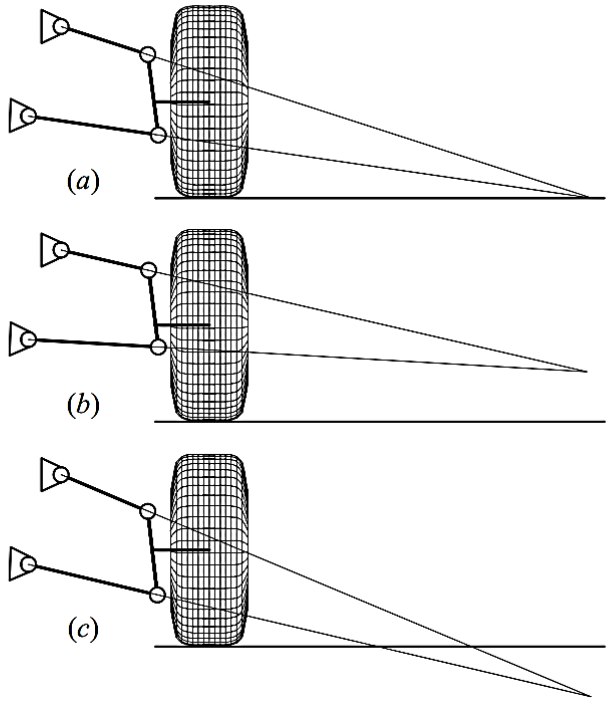
شکل ۳-۶ مرکز غلت سیستم تعلیق Double A-arm

مرکز غلت سیستم تعلیق دو جناغی (Double A-arm)

- شکل ۳-۷ مدل مکانیزمی سیستم تعلیق دوجناغی (Double A-arm) برای چرخ چپ محور جلو را نشان می‌دهد.
- مرکز غلت به راحتی از تقاطع امتداد لینک‌های جناغی بالا و پایین به‌دست می‌آید.
- در حالت a مرکز غلت داخلی می‌باشد، یعنی به طرف بدنه خودرو نزدیک است.
- در حالت b مرکز غلت خارجی می‌باشد، یعنی از بدنه خودرو دور است.
- همانطور که در شکل ۳-۸ دیده می‌شود، مرکز غلت سیستم تعلیق دوجناغی می‌تواند روی زمین، بالا یا زیر آن باشد. به همین ترتیب مرکز غلت خودرو نیز روی زمین، بالا یا زیر آن خواهد بود.
- در حالت c مرکز غلت به زیر سطح زمین رفته چون ارتفاع خودرو زیاد شده است.
- مرکز غلت روی زمین تماس بهتر تایر با زمین را به همراه دارد.



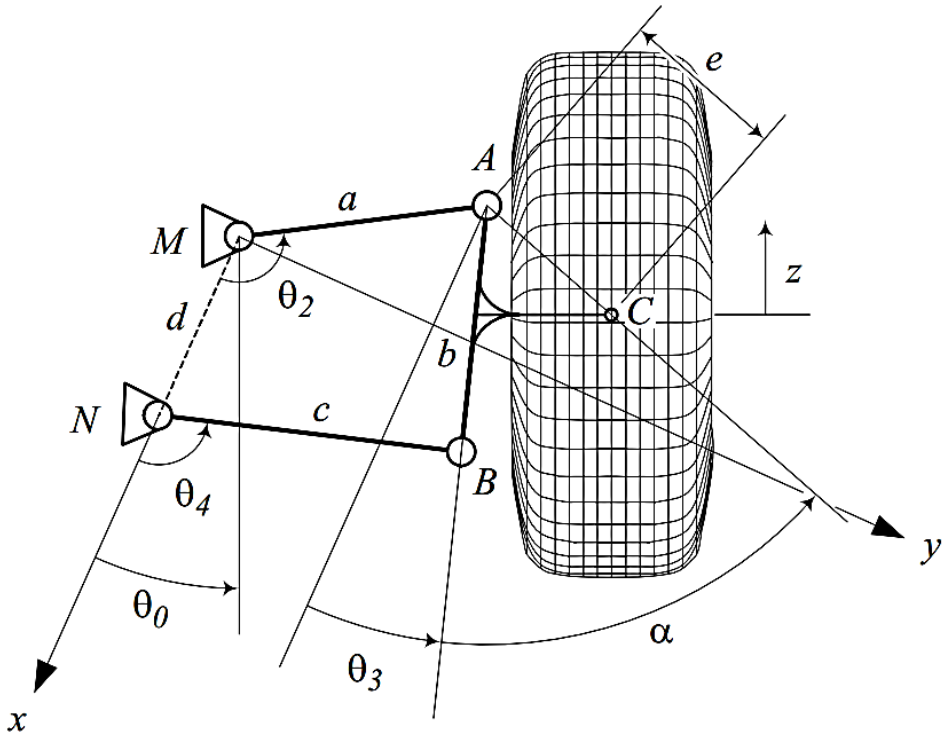
شکل ۳-۷ مرکز غلت سیستم تعلیق



شکل ۳-۸ مرکز غلت سیستم تعلیق

مدل سینماتیکی سیستم تعلیق دو جناقی

- شکل ۳-۹ مدل سینماتیکی سیستم تعلیق دو جناقی را نشان می‌دهد.
- این مکانیزم معادل مکانیزم ۴ میله‌ایست که لینک زمین آن بدنه خودرو باشد.
- دستگاه مختصات به‌طوری که محور x آن لینک مربوط به زمین را نشان می‌دهد، در نظر گرفته می‌شود.
- محور x زاویه‌ی ثابت θ_0 را با راستای عمود ایجاد می‌کند.
- طول لینک بالایی a و لینک متصل کننده b و لینک پایینی c و لینک مربوط به زمین d است.
- پیکربندی سیستم تعلیق با زاویه θ_0 ، θ_2 ، θ_3 و دیگر زاویه‌های که با راستای x ساخته می‌شود، شناخته می‌شود.
- حالت تعادل سیستم تعلیق را rest position می‌گویند که حالتی است که هیچ باری بر خودرو اعمال نشده است.
- وقتی که سیستم تعلیق در حالت تعادل است، این زاویه θ_{10} ، θ_{20} ، θ_{30} نامیده می‌شود.



شکل ۳-۹ مدل سینماتیکی سیستم تعلیق دو جناقی

اندازه‌گیری زاویه‌ی کمبر

برای اندازه‌گیری زاویه‌ی کمبر در نوسانات تایر باید θ_3 را تابعی از z در نقطه‌ی c به‌دست آورد. بنابراین مختصات نقطه‌ی c برابر است با:

$$\begin{cases} x_C &= a\cos\theta_2 + e\cos(p - q + \alpha) \\ y_C &= a\sin\theta_2 + e\sin(p - q + \alpha) \end{cases} \qquad (3\text{-}1)$$

$$\begin{cases} q = \dfrac{\tan^{-1} a\sin\theta_2}{d - a\cos\theta_2} \\ p = \tan^{-1}\dfrac{\sqrt{4b^2f^2 - (b^2 + f^2 - c^2)^2}}{b^2 + f^2 - c^2} \\ f = \sqrt{a^2 + d^2 - 2ad\cos\theta_2} \end{cases} \qquad (3\text{-}2)$$

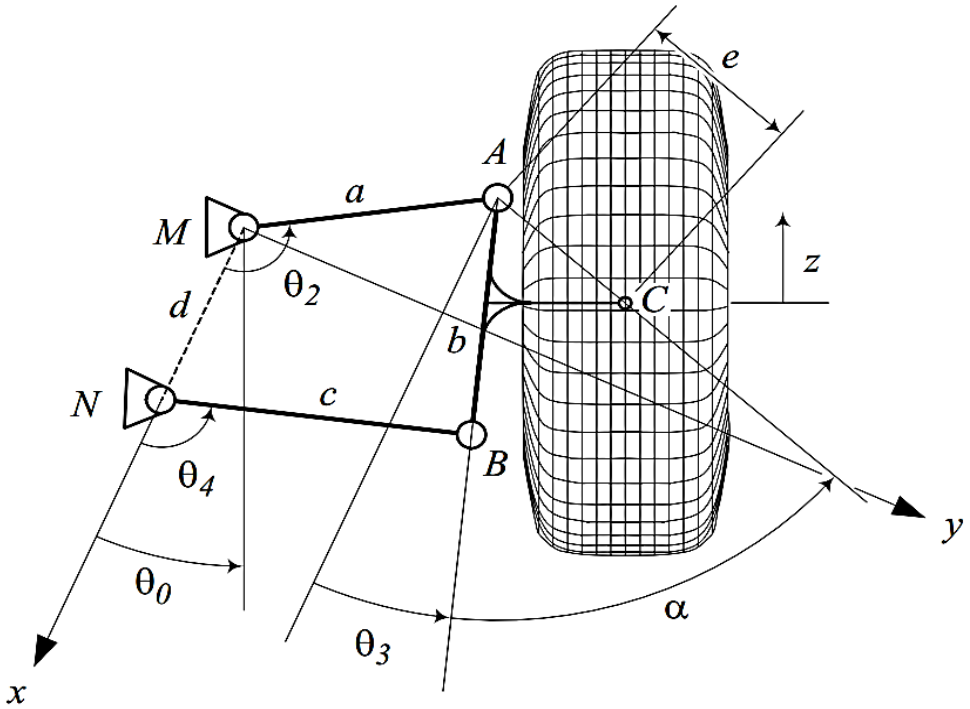
$$u_c = x_C i + y_C j \qquad (3\text{-}3)$$

بردار واحد در راستای z :

$$\hat{u}_z = -\cos\theta_0 i - \sin\theta_0 j \qquad (3\text{-}4)$$

بنابراین جابه‌جایی در راستای z:

$$z = u_C \hat{u}_z = -x_C\cos\theta_0 - y_C\sin\theta_0 \qquad (3\text{-}5)$$



شکل ۳-۹ مدل سینماتیکی سیستم تعلیق دو جناقی

مختصات نقطه c در حالت اولیه از معادلات زیر حاصل می‌شود:

$$x_{C0} = a\cos\theta_{20} + e\cos(p_0 - q_0 + \alpha) \qquad (3\text{-}6)$$

$$y_{C0} = a\sin\theta_{20} + e\sin(p_0 - q_0 + \alpha) \qquad (3\text{-}7)$$

$$z_0 = -x_{C0}\cos\theta_0 - y_{C0}\sin\theta_0 \qquad (3\text{-}8)$$

جابه‌جایی عمودی چرخ از رابطه‌زیر محاسبه می‌شود:

$$h = z - z_0 \tag{3-9}$$

زاویه اولیه‌ی لینک متصل کننده با راستای عمود برابر θ_{30} -θ_0 است، بنابراین زاویه‌ی کمبر برابر است با:

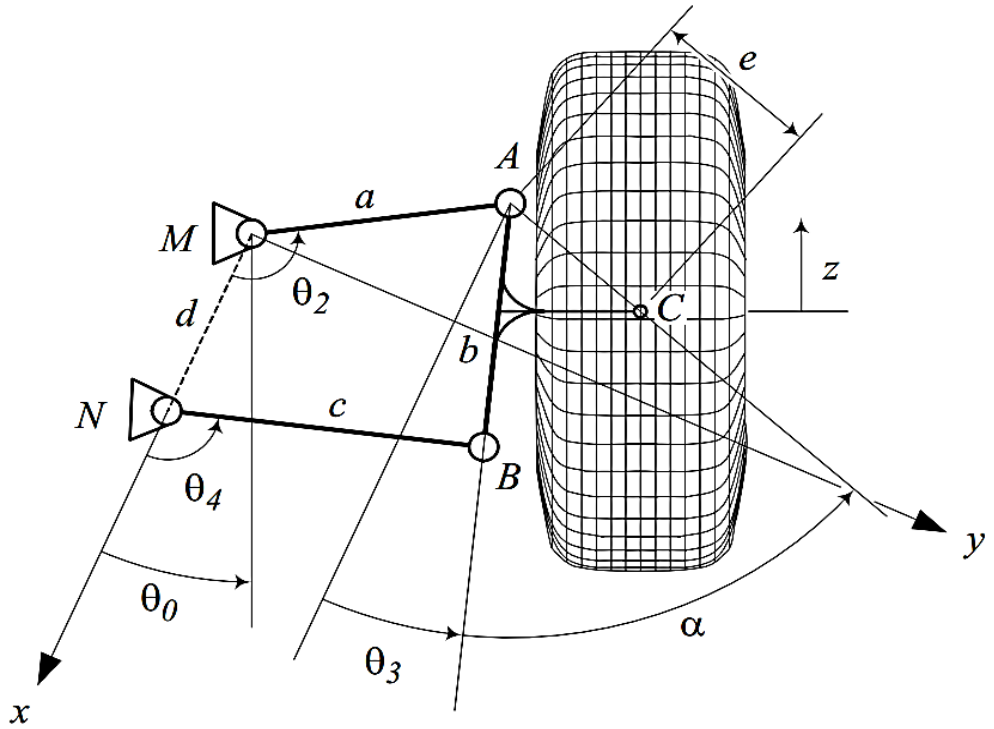
$$\gamma = (\theta_0 - \theta_3) - (\theta_0 - \theta_{30}) = \theta_{30} - \theta_3 \tag{3-10}$$

زاویه لینک متصل کننده با راستای x برابر است با:

$$\theta_3 = 2\ tan^{-1}(-E \pm \sqrt{\frac{E^2 - 4Df}{2D}}) \tag{3-11}$$

$$\begin{cases} D = J_5 - J_1 + (1 + J_4)\cos\theta_2 \\ E = -2\sin\theta_2 \\ F = J_5 + J_1 - (1 - J_4)\cos\theta_2 \end{cases} \quad \begin{cases} J_1 = \dfrac{d}{a} \\ J_2 = \dfrac{d}{c} \\ J_3 = \dfrac{a^2 - b^2 + c^2 + d^2}{2ac} \\ J_4 = \dfrac{d}{b} \\ J_5 = \dfrac{c^2 - d^2 - a^2 - b^2}{2ab} \end{cases} \tag{3-12}$$

با جایگذاری 3-11 و 3-10 و حذف θ_0 بین 3-10 و 3-5 ، رابطه بین z و زاویه‌ی کمبر به‌دست می‌آید.



شکل ۳-۹ مدل سینماتیکی سیستم تعلیق دو جناقی

مثال: سیستم تعلیق دو جناقی با مشخصات سینماتیکی زیر:

a = 22.4 cm

b = 22.1 cm

c = 27.3 cm

d = 17.4 cm

θ_0= 24.3°

مختصات نقطه‌ی C:

e = 14.8 cm

α = 54.8°

و در حالت تعادل :

θ_{20} = 121.5°

θ_{30} = 18.36°

θ_{40} = 107.32°

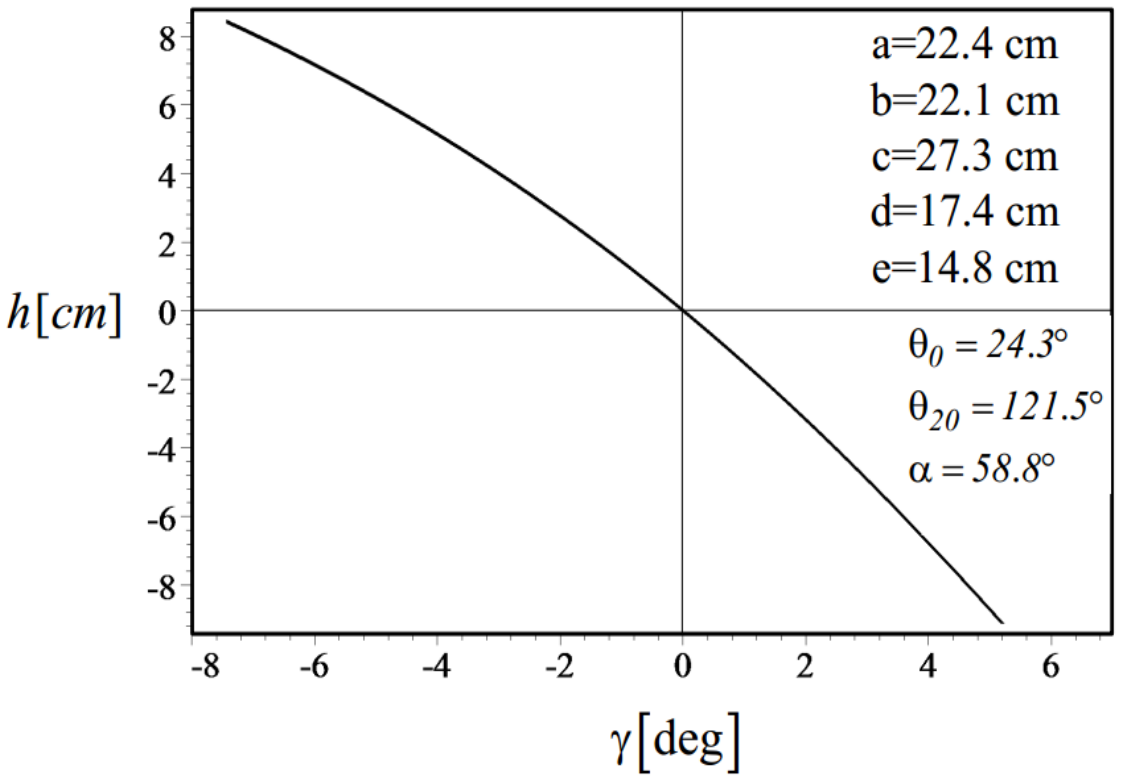
بنابراین می‌توان با جایگذاری در فرمول‌ها محاسبه کرد:

x_{C0} = -22.73 cm

y_{C0} = 9.23 cm

z_0 = 16.92 cm

همچنین می‌توان γ و h را برای θ_2 محاسبه کرد. شکل ۳-۱۰ h را به‌صورت تابعی از زاویه‌ی کمبر نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۰ h تابعی از زاویه‌ی کمبر

۱-فیلم مینی باجا

گروه دانشجویی خودرو

دانشگاه صنعتی اصفهان

۱۳۸۴-۱۳۸۳

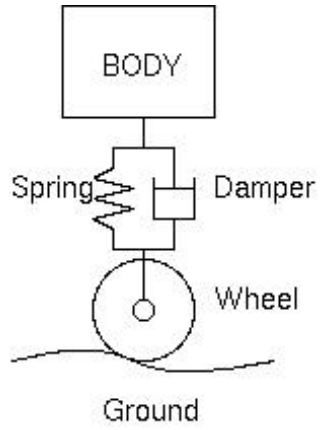
سیستم تعلیق فعال Active Suspension

- کار عمده این دسته از سیستم‌ها، کنترل حرکت عمودی خودرو با توجه به چرخ‌ها و شاسی با سطح جاده، سرعت خودرو، میزان شتاب‌های طولی و عرضی انجام می‌شود.
- گرچه مکانیزم‌های بسیاری برای این سیستم‌ها وجود دارد، ولی همه‌ی آنها ابتدا با تغییر میرایی کمک‌فنرها و سپس با کمک مکانیزم‌های مختلف، تغییراتی در هندسه سیستم تعلیق ایجاد می‌کنند.
- اساس کار این نوع سیستم مبتنی بر زیر سیستم‌های کنترلی است.
- این سیستم‌ها بایستی، در عین ایجاد راحتی، هدایت خودرو را نیز تحت هر شرایطی حفظ کنند و تقریباً برای حل این مشکل هر کمپانی خودرو سازی راه حل انحصاری خودش را دارد.
- برخی از این سیستم‌ها علاوه بر ایجاد راحتی به میزان بسیار زیادی از تصادفات و خارج شدن کنترل خودرو جلوگیری می‌کنند.
- این سیستم به طور کلی ۲ دسته بندی دارد: **1. Pure Active**

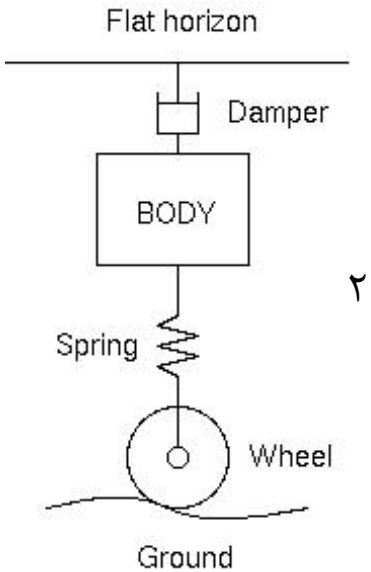
2. Adaptive/Semi-Active

SkyHook Theory

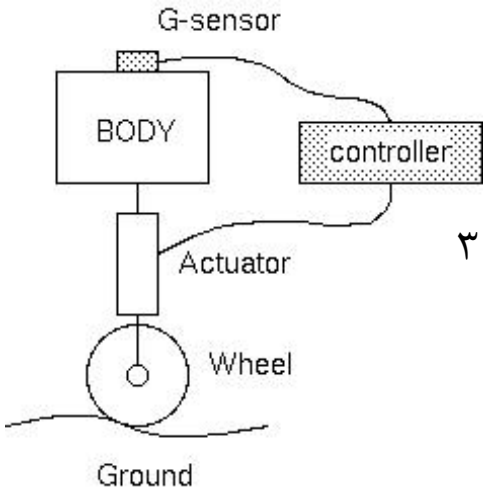
- این نظریه می‌گوید، یک جسم می‌تواند یک حالت پایدار را حفظ کند اگر جابجایی آن محدود به یک خط صاف شود که به این خط Skyhook می‌گویند.
- هر خودرویی با سطح زمین از طریق فنر و دمپر (Strut) تماس پیدا می‌کند (شکل ۱).
- برای اینکه خودرو به‌همان پایداری مدنظر در نظریه skyhook برسد، بایستی خودرو با سطح زمین از طریق یک خط فرضی که در آن به ترتیب فنر، بدنه، دمپر به‌صورت سری قرار گرفته اند، تماس برقرار کند (شکل ۲).
- از دیدگاه ایده‌ال این نظریه، ضریب دمپر به بی‌نهایت می‌رسد، یعنی خودرو با هر ناهمواری که در سطح زیرش می‌پیماید حتی کمترین لرزشی نداشته و بدنه در خط صافی در فضا به حرکتش در هر حالتی ادامه می‌دهد.
- در عمل چنین چیزی ممکن نیست، برای همین یک عملگر (actuator) به سیستم اضافه می‌شود تا بتواند هدف نظریه را محقق سازد. ابتدا یک شتاب‌سنج (accelerometer) نصب شده در سقف خودرو، میزان انواع شتاب‌ها را اندازه‌گیری می‌کند و بعد واحد کنترل‌کننده محاسبات را بر اساس الگوریتم‌های پیش‌فرض انجام داده و به واحد عملگر فرمان‌های لازم را می‌دهد (شکل ۳).



شکل ۱

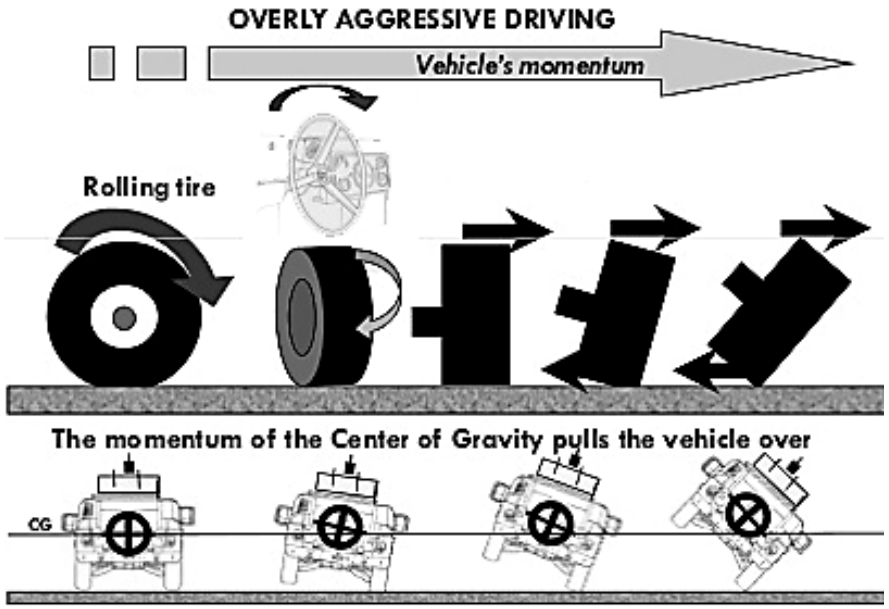


شکل ۲



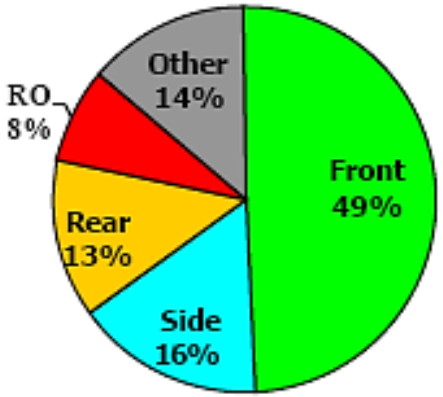
شکل ۳

Active Rollover Protection System

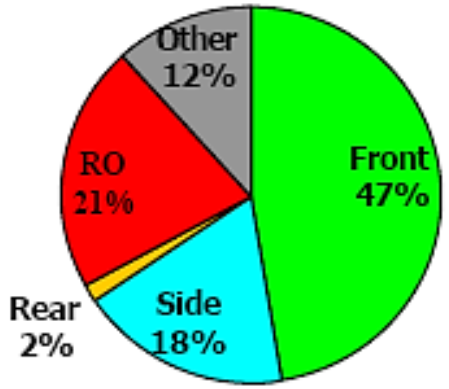


- در تمامی سیستم‌های تعلیق فعال هدف اصلی خنثی کردن نیروهای وارده بر خودرو از سطح مسیر است. چه نیروهای کوچک که باعث لرزش خودرو می‌شود چه نیرهای بزرگی که باعث ایجاد گشتاورهایی می‌شود که در نهایت باعث واژگونی (rollover) خودرو می‌شوند.
- اکثر واژگونی‌ها در پیچ‌های طولانی و مورب اتفاق می‌افتد که با سرعت بالا طی شده‌اند، چرا که خودرو بسیار از وضع تعادل خارج شده و در نهایت خودرو نمی‌تواند بر نیروی گریز از مرکز غلبه کند که در نهایت باعث واژگونی خودرو می‌شود.
- هنگام واژگونی یک طرف تعلیق‌های جلو و عقب بسیار فشرده شده، در حالی که طرف دیگر بسیار کشیده شده است و تنها اگر سیستم‌های تعلیق می‌توانستند در مقابل فشردگی بیش از حد فنرها جلوگیری کنند، از بسیاری از حوادث جلوگیری می‌شد.
- این نکته را نیز باید گفت که اگر سختی فنرها بسیار زیاد باشد، باعث از دست رفتن چسبندگی تایرها به سطح جاده می‌شود که در نهایت باعث ایجاد لغزش، انحراف از مسیر و کندفرمانی می‌شود و اگر برای راحتی فنرها بسیار نرم شوند خودرو فوق‌العاده نامتعادل می‌شود.
- برای جلوگیری از واژگونی و یا از دست رفتن Grip، مهندسان سیستم Active Rollover Protection System را در اکثر خودروهای دارای تعلیق فعال جاسازی کردند که علاوه بر راحتی، به ایمنی و کارایی بهتر خودرو کمک می‌کند.
- این سیستم تنها با سفت کردن ویا افزایش ارتفاع تعلیق‌های یک طرف خودرو که در حالت فشردگی قرار دارند، از واژگونی جلوگیری می‌کند، به‌طوری که این میزان سفتی و افزایش ارتفاع باعث از دست رفتن Grip خودرو نشود.

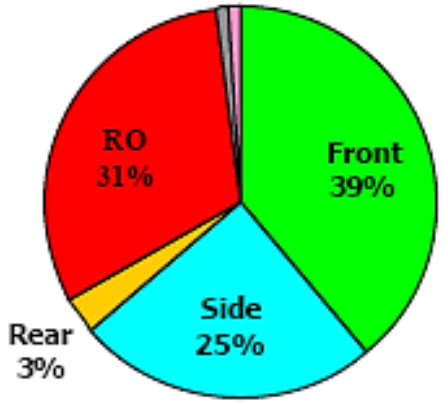
RO = RollOver



Vehicles in Crashes
RO=281,000 vehicles



Seriously Injured Occupants
RO=30,000 occupants



Occupant Fatalities
RO=10,138 fatalities

آمار واژگونی

علی‌رغم آن‌که درصد تصادفات رول‌اور در قیاس با سایر تصادفات خیلی کم است (٪۸)، اما مرگ‌ومیر (٪۳۱) و آسیب‌های جدی وارد به مسافرین (٪۲۱) در پدیده رول‌اور، سهم عمده‌ای را در آسیب‌ها و تلفات جاده‌ای به خود اختصاص می‌دهد.

Year	Manufacturer	Model	Roll-over risk	Grip g	Type	Seats
2011	Chevrolet	Tahoe	24.6%	0.79	SUV	8
2011	Ford	F-150	19.8%	0.71	Truck	4
2013	Toyota	Hilux	19.1%		Truck	4
2011	Audi	Q7	18.5%	0.85	SUV	4
2013	Mercedes-Benz	M-Class	17.9%		SUV	5
2013	Volvo	XC90	17.9%	0.77	SUV	5
2013	BMW	X5	17.4%		SUV	5
2013	Lexus	RX	16.4%		SUV	5
2012	Chrysler	Town & Country	16.4%[		Minivan	?
2013	Toyota	Sienna	14%[		Minivan	?
2011	Toyota	Prius	12.1%[	0.79		4
2011	Chevrolet	Impala	11.3%[		Sedan	4
2014	Mercedes-Benz	E-Class	9.9%	0.87	Sedan	4
2011	Chevrolet	Volt	9.4%			4
2011	BMW	535	9.3%		Sedan	4
2013	Chevrolet	Camaro	8.7%	0.98	Sedan	4
2013	Tesla Motors	Model S	5.7%	0.92	Sedan	5

آمار rollover های خودروهای مختلف

- این نکته را در نظر داشته باشید برخی از خودروهای در این لیست دارای سیستم فعال بوده‌اند ولی به‌علت اعتماد بیش از حد راننده‌ها به این سیستم‌ها و نداشتن مهارت یا تجربه کافی منجر به واژگونی شده است.
- آمار توسط NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) در آمریکا ارائه شده است.

۲- فیلم شرکت BENZ

سیستم تعلیق ضد غلتش

Active Body Control

Pure Active Suspension

این سیستم علاوه بر تغییر میرایی کمک فنرها از عملگرها (actuator) مجزا استفاده می‌کند که می‌توانند نیروها را به‌طور جداگانه بروی هر چرخ اعمال کنند یعنی در عمل می‌توانند ارتفاع هر چرخ را نسبت به شاسی و زمین تغییر دهند که همین امر باعث پیشرفت هدایت خودرو همراه با راحتی سرنشینان می‌شود.

این سیستم ۲ دسته بندی اصلی دارد:

1. **Hydraulic Actuated**
2. **Electromagnetic Recuperative**

مزایا:

- مناسب برای خودروهای لوکس و مسابقه‌ای
- بهترین کیفیت سواری بین همه سیستم‌ها
- پیمودن انواع سطوح ناهموار با کمترین ارتعاش وارده به خودرو
- تصحیح کردن رفتارهای اشتباه رانندگی
- نگه داشتن تعادل دینامیکی خودرو در سرعت‌های بالا
- قابلیت تنظیم شرایط مختلف مسابقه، عادی، راحتی، کوهستانی و...

معایب:

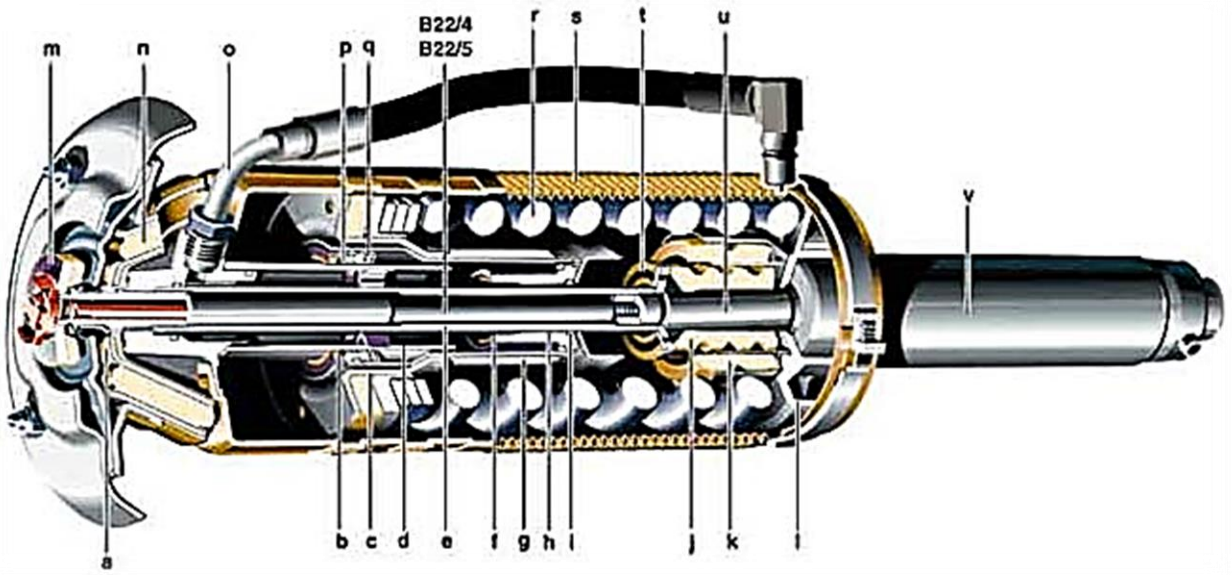
- قیمت بالا
- اجزای پیچیده
- وزن زیاد
- نیاز بالای تعمیرات و نگهداری برخی سیستم‌ها
- نیاز به ابزار خاص برای کالیبره کردن و اسمبل کردن سیستم
- مصرف بالای برق خودرو

Hydraulic actuated

- Shock Absorber این سیستم دارای ساختار مشابه با Shock Absorber سیستم غیرفعال است، با این تفاوت که فشار سیال درون آن توسط یک پمپ هیدرولیک تنظیم می‌شود.
- به‌علت قابلیت‌های بیش‌بینی این سیستم، در صنعت به آنها تعلیق *خودران* هم گفته می‌شود.
- قابلیت ایجاد ۳۰۰۰ تغییر بر ثانیه دارد.
- افزایش/کاهش دائمی ارتفاع خودرو در این سیستم ممکن است.

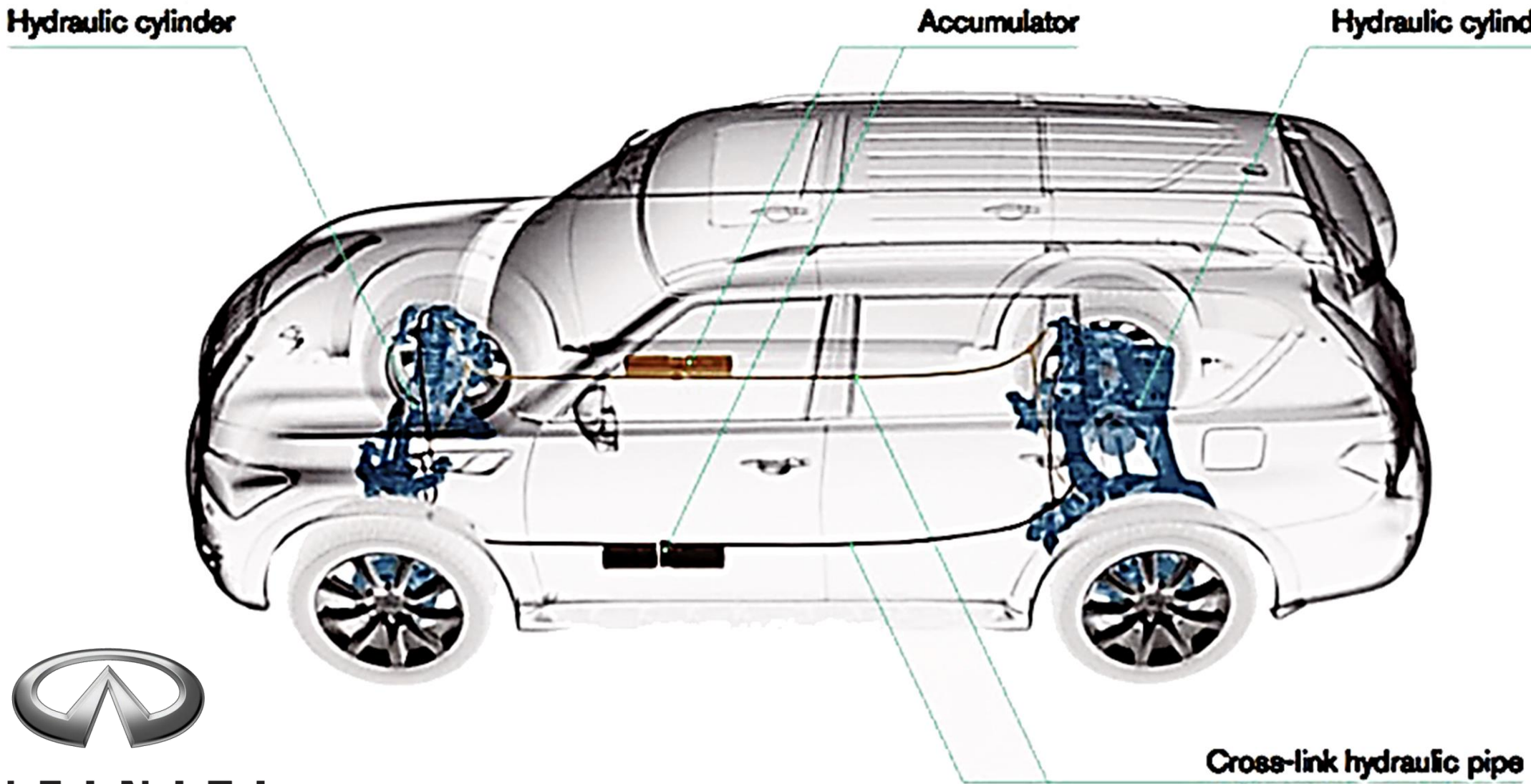
روند کارکرد:

1. سنسورها حرکت بدنه خودرو، ارتفاع از سطح زمین و ... را به ECU اعلام می‌کنند.
2. فشار هیدرولیک توسط یک پمپ فشار قوی هیدرولیکی تامین می‌شود.
3. ECU بر اساس اطلاعات وارده میزان سختی هر چرخ را تعیین می‌کند.
4. هر چرخ با توجه به دستور ECU سفتی مختص به خود را می‌گیرد.



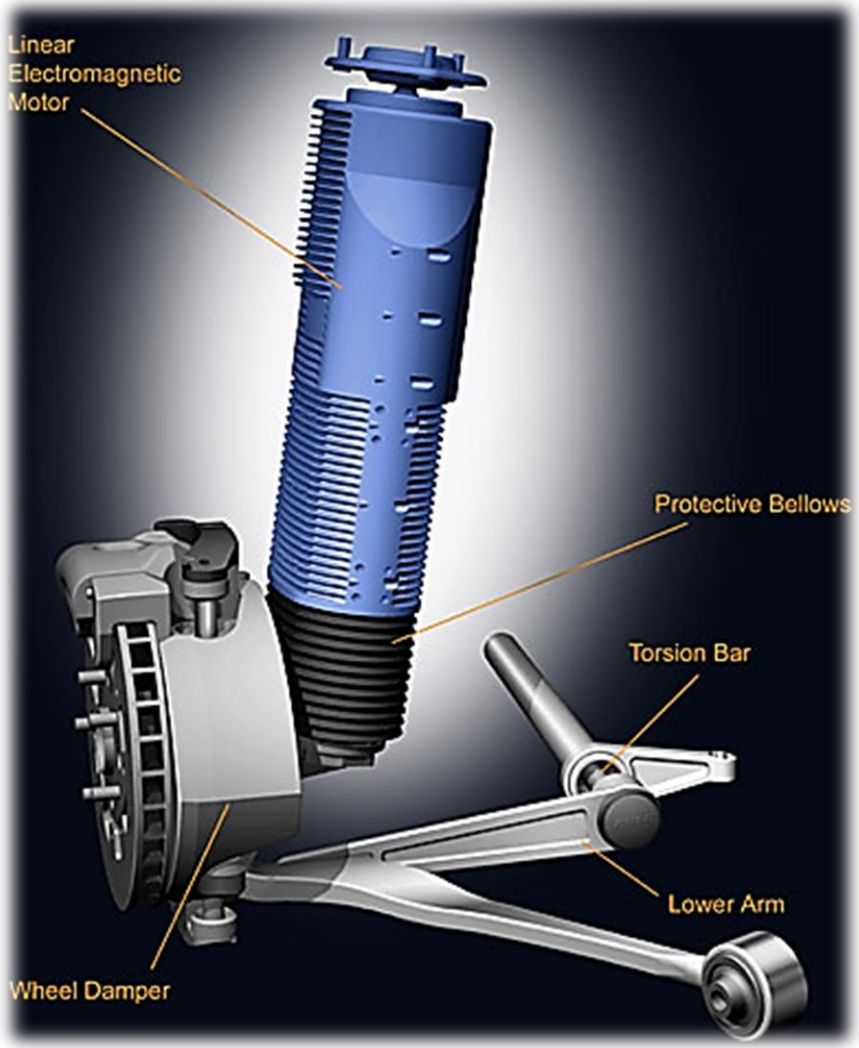
40	Front suspension strut	**m**	Rubber mount rebound stop
a	Rubber mount jounce stop	**n**	Suspension strut support bearing
b	Top wiper	**o**	Hydraulic pipe
c	Top spring plate	**p**	Top guide sleeve
d	Piston rod tube	**q**	High-pressure seal
e	Austenitic piston rod	**r**	Steel spring
f	Position magnet	**s**	Protective boot
g	Hydraulic cylinder	**t**	Hydraulic cylinder bottom stop
h	Bottom guide sleeve	**u**	Shock absorber piston rod
i	Bottom wiper	**v**	Shock absorber
j	Inner bump stop	**822/4**	Left front suspension strut motion sensor
k	k Outer bump stop	**B22/5**	Right front suspension strut motion sensor
l	Bottom spring plate		

مثال: Hydraulic actuated



INFINITI®

Electromagnetic Recuperative

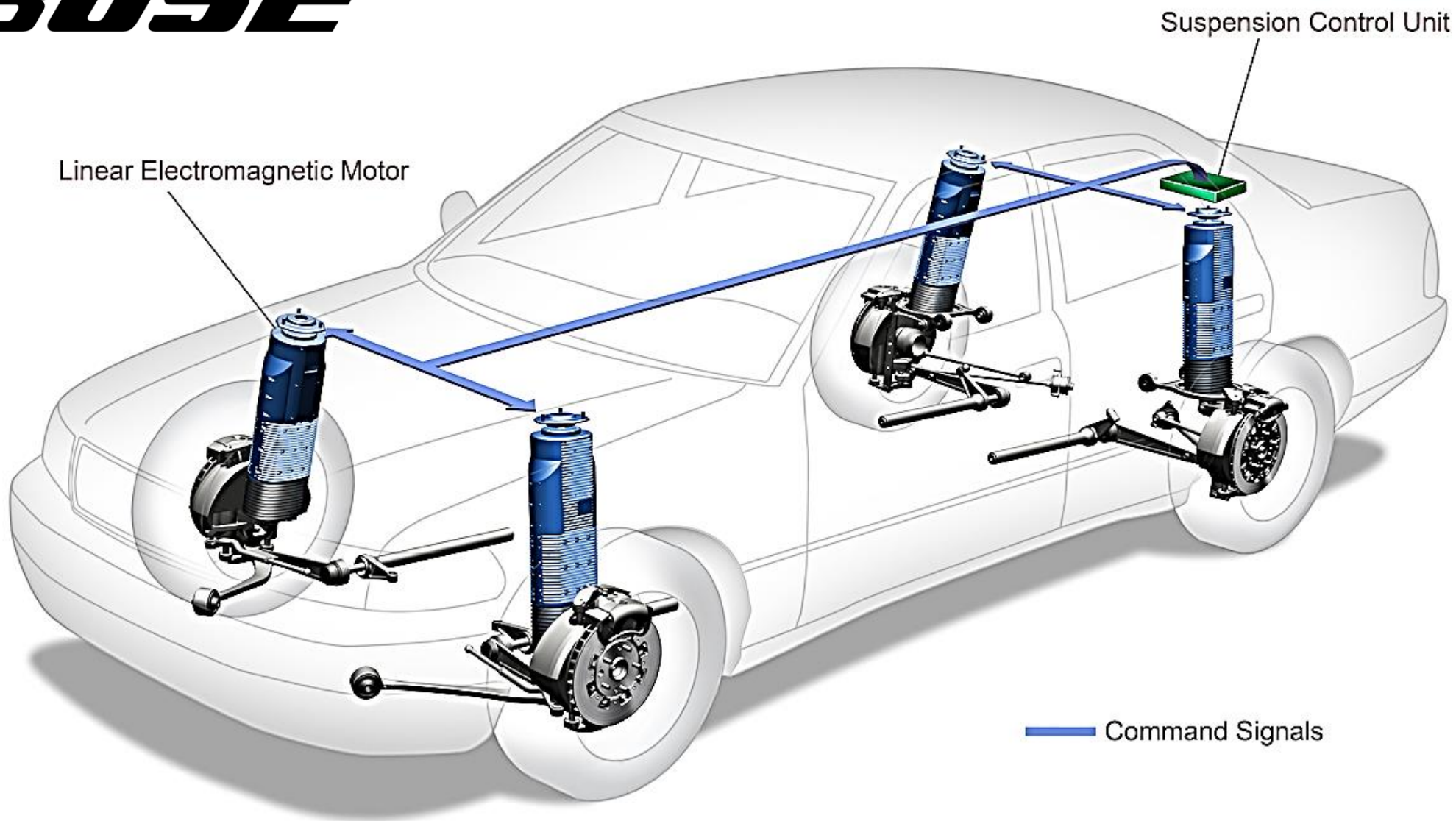


- این سیستم صرفاً همانند دو قطب همنام و ناهمنام آهنربا که همدیگر را دفع و جذب میکنند، عمل می‌کند، به‌طوری که اگر در جایی نیاز به کوتاه کردن اندازه strut باشد و یا نیاز به سواری نرم‌تری باشد، این سیستم مانند قطب‌های همنام عمل میکند و برعکس.
- این سیستم نسبت به سیستم هیدرولیکی مصرف انرژی کمتری دارد.
- کارکرد این نوع تعلیق تنها با ایجاد تغییراتی در شدت جریان الکتریکی که بر اساس الگوریتم‌های پیش‌فرض هستند، به آن اعمال می‌شود.
- این سیستم تنها سیستم تعلیقی است که به‌علت تابعیت از الگوریتم‌های پیش‌فرضش، قابلیت بازیابی انرژی (Regeneration) را نیز دارد.
- این سیستم حتی قابلیت پرش از روی موانع را هم دارد.
- انواع دیگری از مشتقات این سیستم در پرتاب شاتل‌های فضاپیما، قطارهای سریع‌السیر و یاتاقان‌های مغناطیسی استفاده شده است.

روند کارکرد:

1. سنسورها حرکت بدنه خودرو، ارتفاع از سطح زمین و ... را به ECU اعلام می‌کنند.
2. ECU بر اساس الگوریتم‌ها میزان ارتفاع و میرایی تعلیق هر یک از چرخ‌ها را حساب می‌کند.
3. میزان جریان الکتریسیته به هر کدام از تعلیق چرخ‌ها اعمال می‌شود.

مثال: Electromagnetic Recuperative



۳- فیلم شرکت BOSE

سیستم تعلیق الکترومغناطیسی

Adaptive/Semi-Active Suspension

این نوع سیستم تنها با تغییردادن میزان میرایی کمک فنرها می‌تواند رفتاری بین سیستم‌های passive و pure active داشته باشد و قابلیت اعمال نیرو بروی چرخ‌ها را ندارد. این سیستم در رفتار رانندگی تاثیر محدودی دارد که برای برخی از راننده‌ها مطلوب‌تر است. امروزه این نوع از سیستم‌ها پیشرفت زیادی داشته‌اند به‌طوری که در برخی موارد حتی بهتر از سیستم‌های pure active عمل می‌کنند. این سیستم ۲ دسته‌بندی دارد:

1. **Solenoid/valve actuated**
2. **Magnetorheological damper**

مزایا:

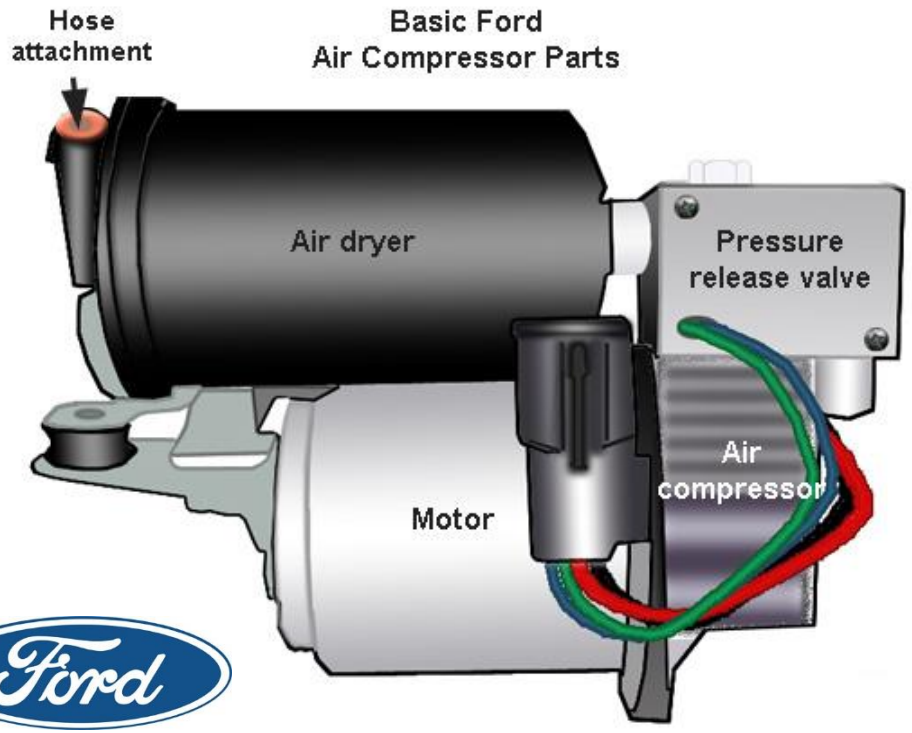
- مناسب برای خودروهای هر خودرو از هر کلاس
- کیفیت سواری بهتر از سیستم‌های passive
- نگه داشتن تعادل دینامیکی خودرو در سرعت‌های بالا
- قابلیت تنظیم میزان سفتی تعلیق خودرو
- قیمت نسبتاً مناسب برای اکثر کلاس‌های خودرو
- مصرف بسیار کم برق خودرو

معایب:

- اجزای پیچیده
- وزن بیشتر نسبت به سیستم‌های passive
- نیاز به تعمیرات و نگهداری بیشتر نسبت به سیستم‌های passive
- نیاز به ابزار خاص برای کالیبره کردن و اسمبل کردن سیستم

Solenoid/valve actuated

- این سیستم مقرون به صرفه‌ترین سیستم تعلیق از میان تعلیق‌های Semi-Active است.
- اساس کار این سیستم با یک solenoid valve انجام می‌شود که میزان دبی سیستم هیدرولیک را تغییر می‌دهد. که باعث تغییر حالت سیستم تعلیق می‌شود.
- تفاوت این سیستم با سیستم Hydraulic Actuated این است که این سیستم صرفاً با توجه به سرعت خودرو میزان میرایی shock absorber ها را به‌طور یکسان تغییر می‌دهد.



روند کارکرد:

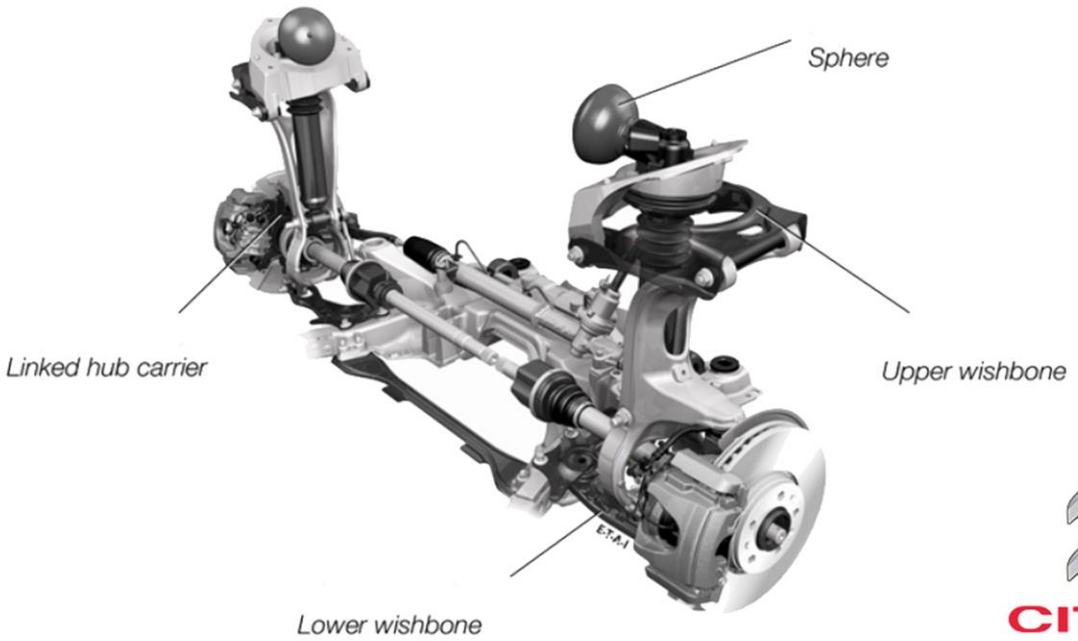
1. سرعت خودرو به ECU اعلام می‌شود.
2. ECU میزان دبی را بر اساس الگوریتم به همه چرخ‌ها به‌طور یکسان تنظیم می‌کند.

نکته: هر چقدر سرعت خودرو بالاتر باشد میزان سختی تعلیق بیشترمی‌شود. پس سیستم تعلیق در سرعت‌های پایین نرم‌تر عمل می‌کند. خودرو در سرعت‌های بالا نیاز به تعادل عرضی و طولی دارد. بنابراین در سرعت بالا به‌علت بهینه‌شدن آیرودینامیک و پایین‌تر آمدن مرکز ثقل، ارتفاع خودرو کمتر می‌شود و در همین حین اگر خودرو در سرعت بالا با سطح ناهمواری مانند سرعت‌گیر برخورد کند، بایستی بتواند از برخورد کف خودرو با سطح زمین جلوگیری کند.

Solenoid/valve actuated : مثال

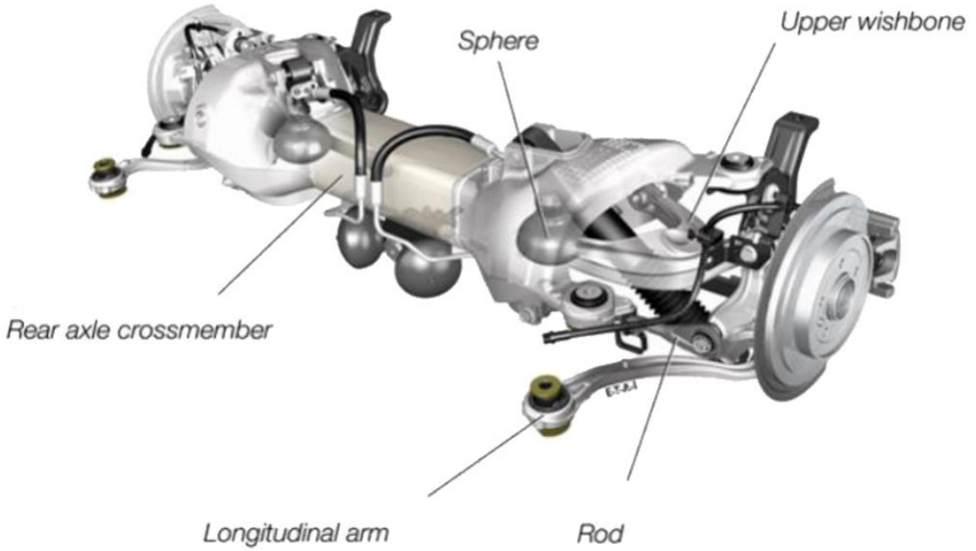
CITROËN C5

Front axle



CITROËN C5

Rear axle

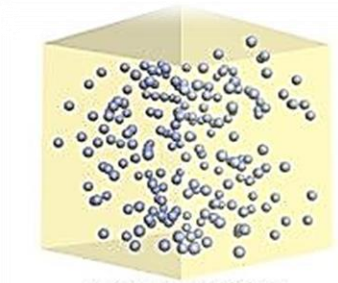


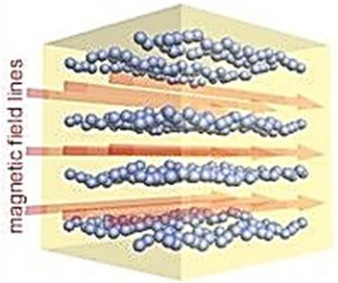
CITROËN

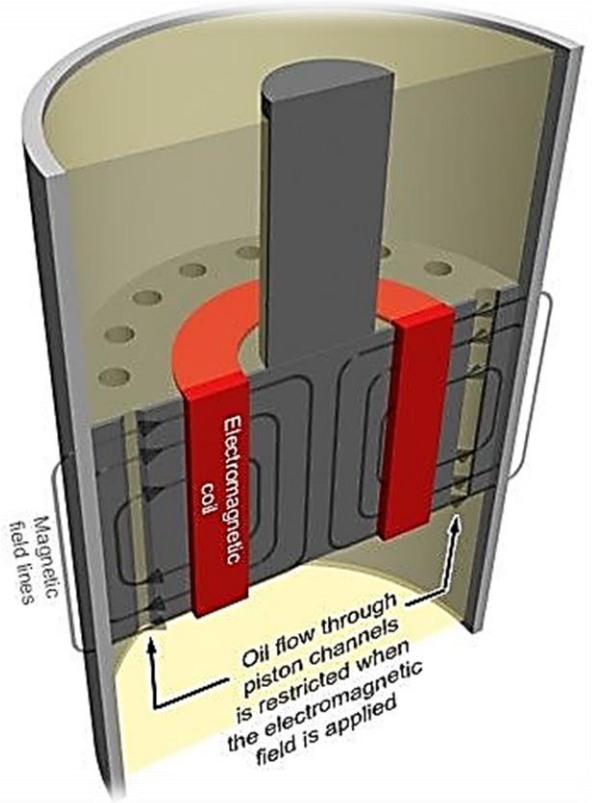
4- Mercedes-Benz

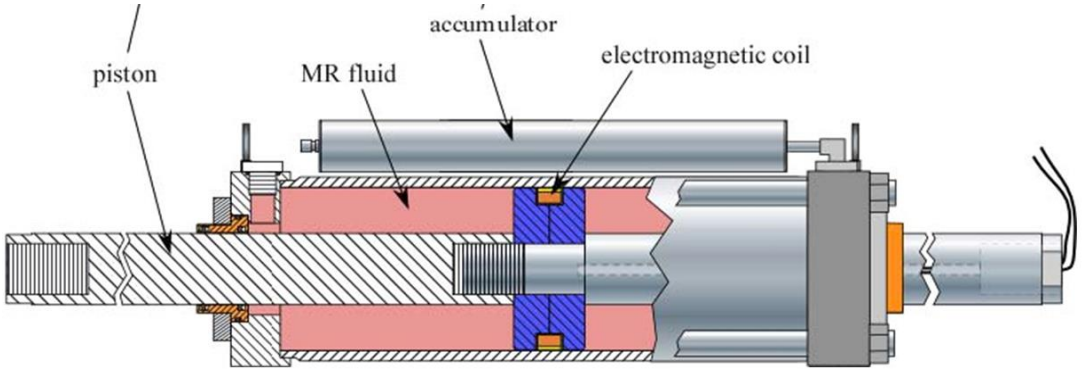
Airmatic Suspension

Magnetorheological damper

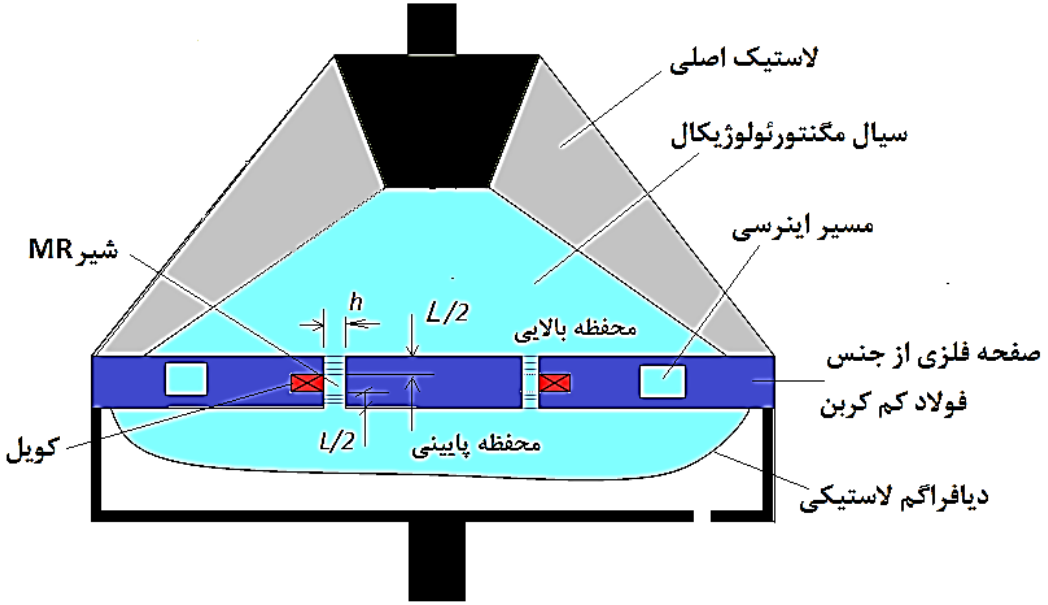






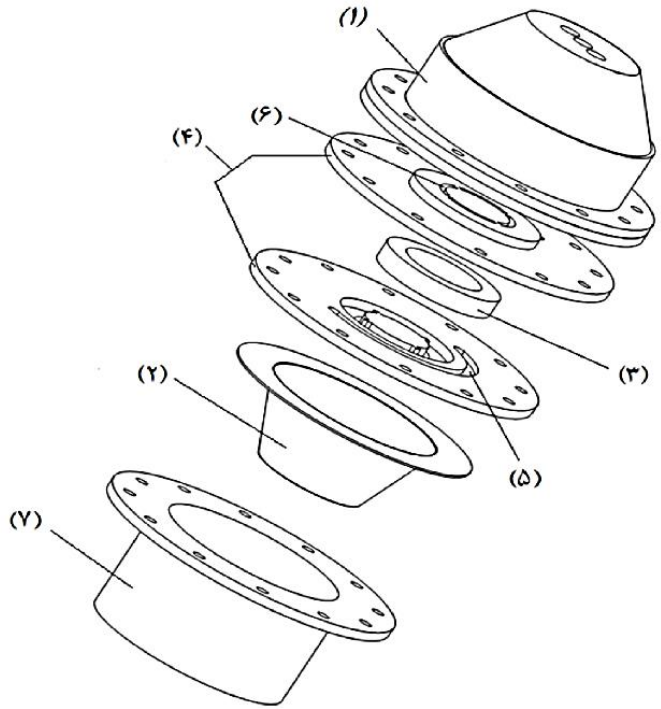


- نام تجاری این سیستم MagneRide است که در اکثر خودروهای Supersport استفاده می‌شود.
- این سیستم بعضاً حتی بهتر از بسیاری از سیستم‌های pure active کارایی داشته چراکه در هدایت خودرو دخالت نکرده و تنها با بهتر کردن تعادل دینامکی خودرو به راننده در حفظ تعادل و هدایت خودرو کمک کرده.
- وجه تمایز این سیستم : قابلیت میرا کردن ارتعاشات و ضربات در سرعت‌های پایین
  ایجاد تعادل عالی بین سرعت و نیروهای طولی و عرضی
  پاسخ‌گویی بسیار سریع و ایجاد ۴۵۰ تغییر بر ثانیه
- در این سیستم تفاوت در Shock Absorber آنهاست که به جای روغن هیدرولیک معمولی از یک ماده سیال رئومغناطیسی استفاده می‌شود.
- سیال رئومغناطیسی نوعی سوسپانسیون است که در آن ذرات ریز جامد مغناطیسی به قطر تقریبی ۱۰ نانومتر در مایعی (معمولاً روغن) شناور هستند.
- با اعمال جریان الکتریسیته مناسب رفتار این Shock Absorber تغییر می‌کند که در عمل آنها در مقابل ضربه محکم و یا نرم می‌کند.



دسته موتور الکترومگنتورئالوژیکال

دسته موتور الکترومگنتورئالوژیکال ساخته شده در IUT

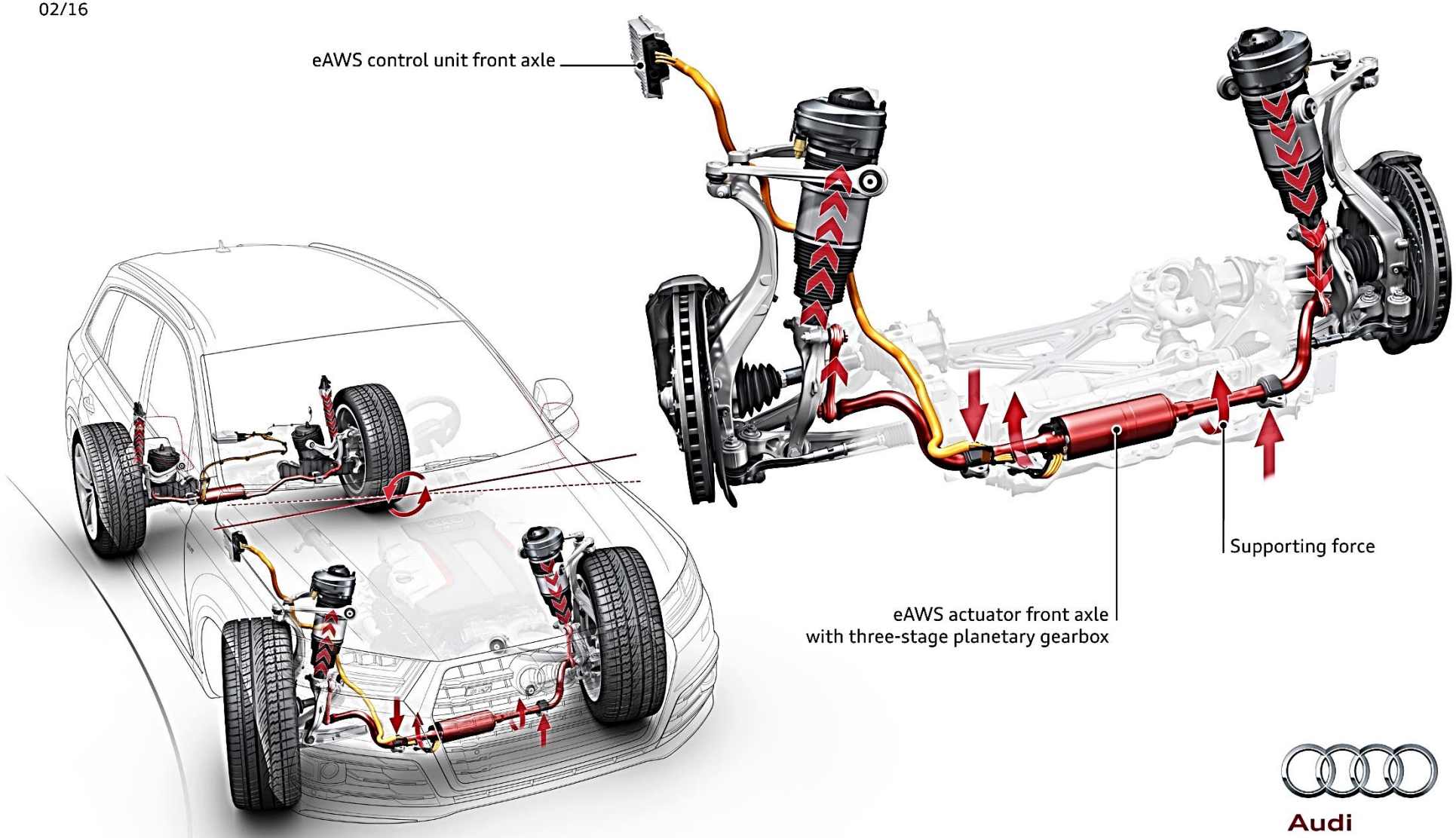


Audi SQ7 TDI

electro-mechanical active roll stabilization (eAWS)

02/16

Magnetorheological damper: مثال



Audi

6-Corvette C5

Magnetic Ride - GM