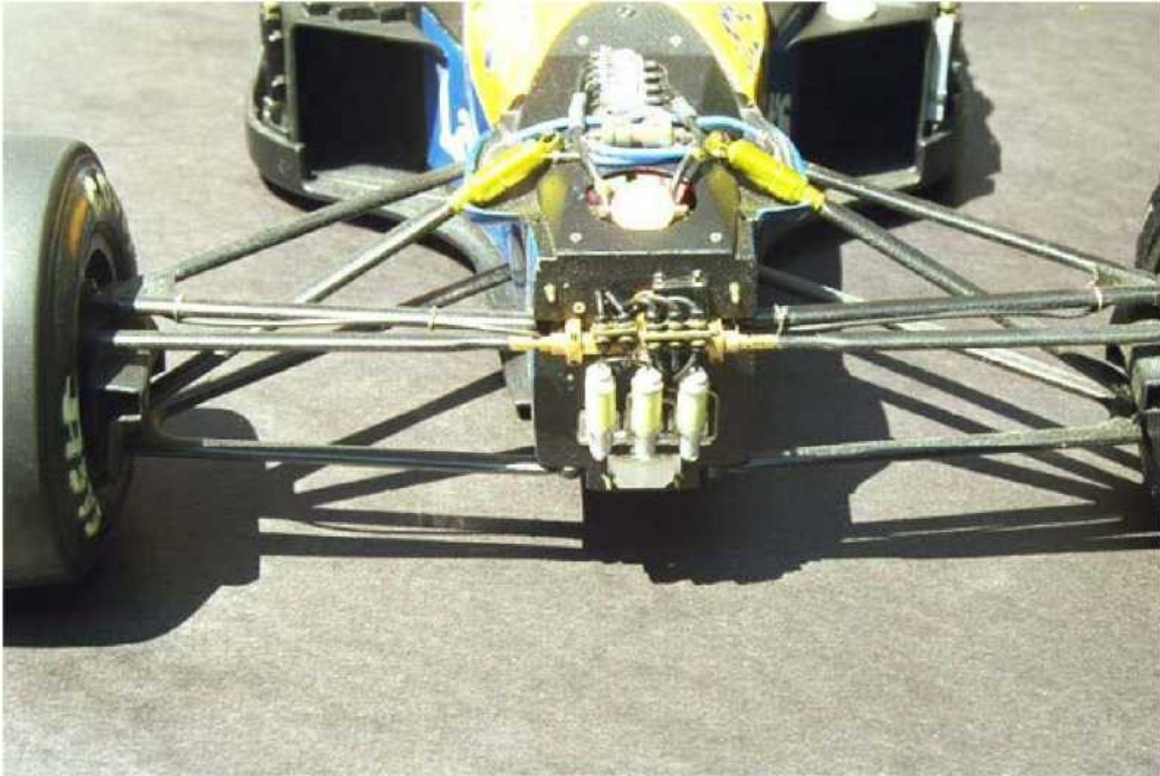




Α.Τ.Ε.Ι.Θ
ΣΤΕΦ
ΤΜΗΜΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

ΓΑΣΙΑ
ΝΑΡΤΗΣΗ
ΛΤΙΚΩΝ»



Επιβλέπων καθηγητής: Μίχος Φώτιος

Σπουδαστές – Συντάκτες: Καπουράνης Σταύρος
Μαλανδρής Αθανάσιος

Θεσσαλονίκη 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Τύποι αναρτήσεων και είδη αναρτήσεων

1.1 Ανάρτηση με γόνατα Μακ-Φέρσον

- 1.2 Ανάρτηση με διπλά ψαλίδια
- 1.3 Υστερούντες και ημιστερούντες βραχίονες
- 1.4 Παθητική Ανάρτηση
- 1.5 Ημιενεργητική Ανάρτηση
- 1.6 Ενεργητική Ανάρτηση

2. Οι αναρτήσεις γενικά

- 2.1 Άκαμπτος άξονας
- 2.2 Ημιάκαμπτος άξονας
- 2.3 Ελατήρια
- 2.4 Στρεπτική ράβδος
- 2.5 Αντιστρεπτική ράβδος
- 2.6 Υδροπνευματική ανάρτηση λεωφορείων
- 2.7 Υδροπνευματική ανάρτηση αυτοκινήτων

3. Αναρτήσεις πίσω τροχών

- 3.1 Ημιστερούντες βραχίονες
- 3.2 Οι γεννήτριες θέσης και όδευσης
- 3.3 Ανάρτηση πολλαπλών συνδέσμων

4. Δονήσεις οχημάτων.

- 4.1 Πότε έχουμε πρόβλημα δόνησης;
- 4.2 Από πού προέρχονται οι δονήσεις σε ένα όχημα;
- 4.3 Τι προκαλεί ένα αυτοκίνητο να δονείται σε κατάσταση αναμονής;

5. Μοντελοποίηση διάταξης

6. Άκαμπτοι - ημιάκαμπτοι άξονες

- 6.1 Άξονας Ντε-Ντιόν
- 6.2 Ημιάκαμπτοι άξονες

7. Γεωμετρία ανάρτησης

7.1 Κέντρα περιστροφής

7.2 Τα Κ.Π. σε διάφορους τύπους αναρτήσεων

8. Αποσβεστήρες κραδασμών ή μειωτήρες ταλαντώσεων (αμορτισέρ).

8.1 Αποσβεστήρας ταλαντώσεων («αμορτισέρ»)

8.1.1 Υδραυλικός τηλεσκοπικός αποσβεστήρας

8.2 Υδραυλικοί αποσβεστήρες

8.3 Ρυθμιζόμενα αμορτισέρ

8.4 Μαγνητοροϊκά αμορτισέρ

8.5 Συνεμπλόκ

9. Ωθηση και αντίδραση.

9.1 Ο κεντρικός σωλήνας ωθήσεως.

9.2 Το τρίγωνο ωθήσεως

9.3 Οι βραχίονες συγκρατήσεως

10.Βιβλιογραφία

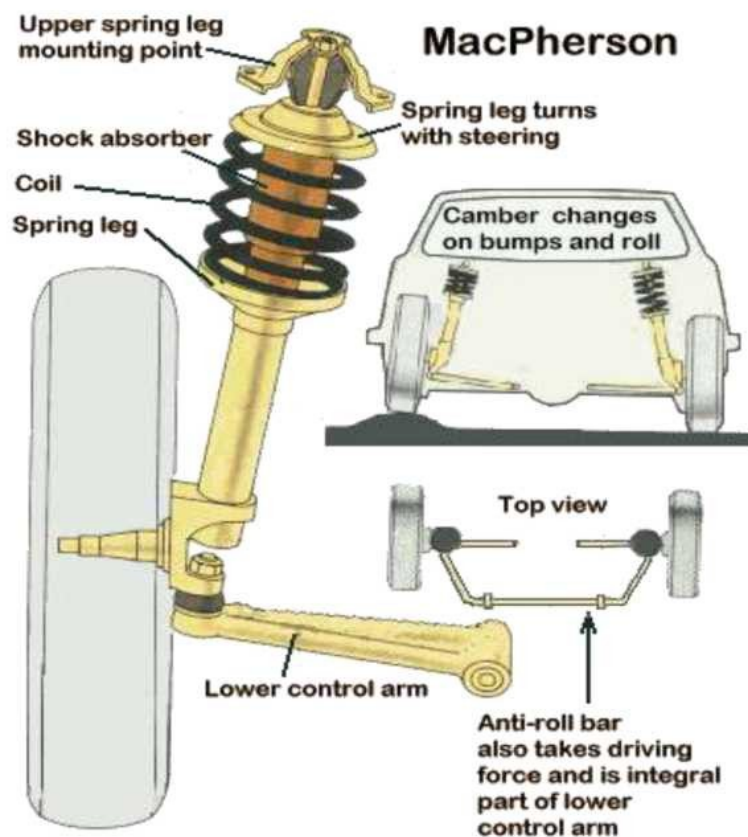
1. Τύποι αναρτήσεων

1.1 Ανάρτηση με γόνατα Μακ-Φέρσον («Mac-Pherson»)

Τα Γόνατα ΜακΦέρσον αποτελούν αναμφισβήτητα την πιο διαδεδομένη ανάρτηση των ημερών μας και είναι κατάλληλα τόσο για την εμπρός όσο και για την πίσω ανάρτηση, ιδιαίτερα των προσθιοκίνητων αυτοκινήτων.

Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιείται μόνο ένα αρθρωτό διχαλωτό (ψαλίδι), το οποίο συνδέει το σασί με το κάτω μέρος του φορέα του τροχού. Στην πάνω πλευρά δεν υπάρχει ψαλίδι, αλλά μια κατακόρυφη τηλεσκοπική αντηρίδα, η οποία έχει μέσα της τα αμορτισέρ και γύρω της ένα μακρύ σπειροειδές ελατήριο. Αυτή η τηλεσκοπική αντηρίδα ενσωματώνεται στο κάτω μέρος της (χωρίς άρθρωση) με το φορέα του άξονα του τροχού και στο επάνω μέρος της στερεώνεται με μια ειδικά σχεδιασμένη πυργοειδή εσοχή του ενοποιημένου σήμερα σασο-αμαξώματος.

Πλεονέκτημά τους ο μικρός χώρος που καταλαμβάνουν, η αξιόλογη οδική συμπεριφορά και η απλότητά τους. Μειονέκτημα η όχι πολύ καλή ακαμψία κάτω από μεγάλες καταπονήσεις.

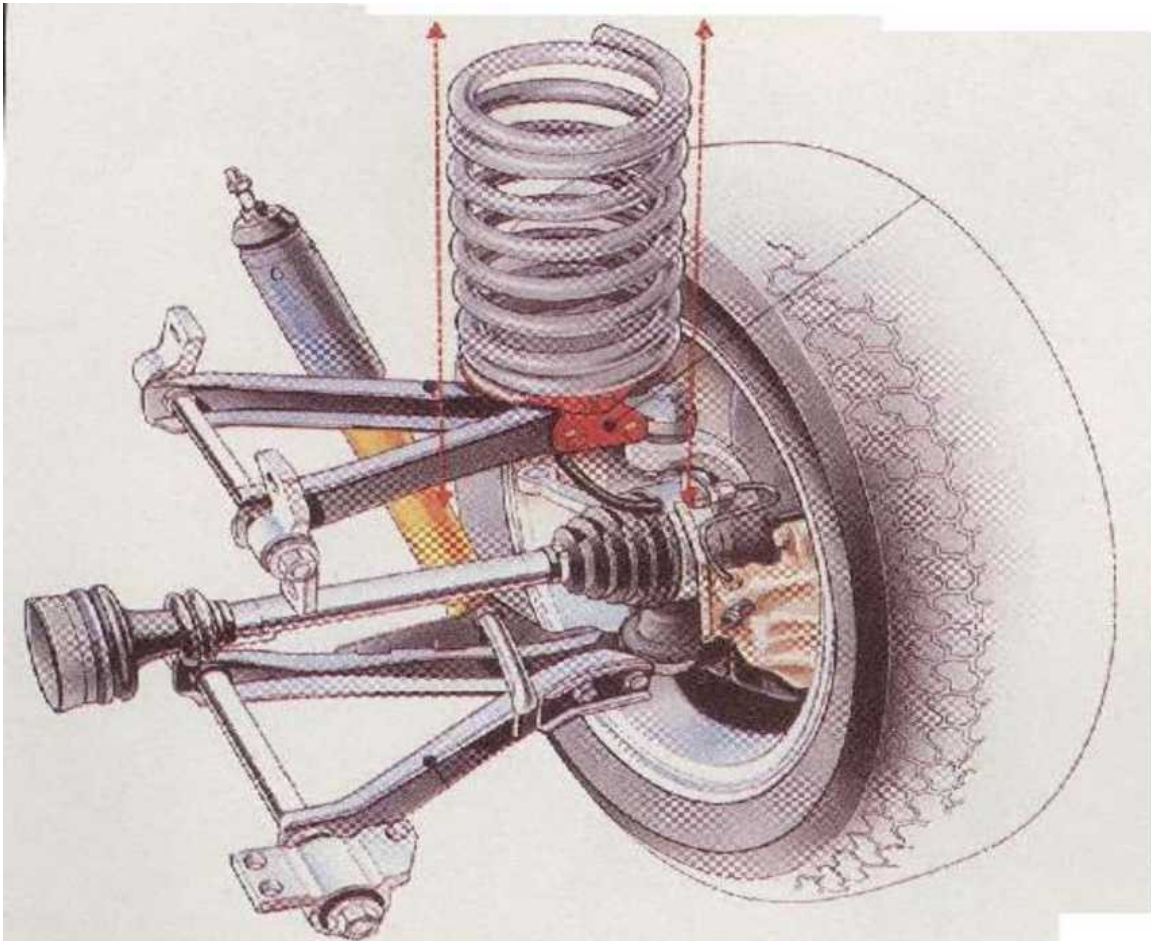


Εικόνα 1. 1 Γόνατα ΜακΦέρσον. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα η σταθερή γωνία τροχού- αμορτισέρ.

1.2 Ανάρτηση με διπλά ψαλίδια

Αν τα γόνατα ΜακΦέρσον έχουν καταλάβει εξ εφόδου τον χώρο του επιβατικού αυτοκινήτου, τίποτα δεν δείχνει ικανό να εκτοπίσει τα Διπλά Τριγωνικά Ψαλίδια και τις παραλλαγές τους από τα καθάραιμα αγωνιστικά αυτοκίνητα και τα οχήματα εξαιρετικά υψηλών επιδόσεων. Επιτυγχάνουν με μικρό βάρος μεγάλη ακαμψία και άριστο έλεγχο της θέσης των τροχών, καταλαμβάνουν όμως πολύ χώρο και πρέπει να έχουν μεγάλο μήκος αν είναι να δείξουν τις πραγματικές δυνατότητές τους, ιδίως όταν η ανάρτηση έχει μεγάλες διαδρομές (όπως στα επιβατικά αυτοκίνητα).

Αποτελείται από βραχίονες που έχουν διχαλωτό σχήμα, παρόμοιο με αυτό του κεφαλαίου ελληνικού γράμματος «λάμδα» (Λ). Στην ανάρτηση του κάθε τροχού τα ψαλίδια είναι δύο, το πάνω και το κάτω, κι έχουν δύο πόδια (σκέλη) το καθένα. Η βάση του κάθε ψαλιδιού, δηλαδή τα δύο του πόδια συνδέονται αρθρωτά σε κάποιο σταθερό σημείο του σασί και στην κορυφή του το κάθε ψαλίδι έχει έναν ακόμα αρθρωτό σύνδεσμο, με τον οποίο συνδέεται με την τέταρτη κατακόρυφη πλευρά του αρθρωτού τετράπλευρου, που δεν είναι άλλη απ' το φορέα του άξονα του τροχού.



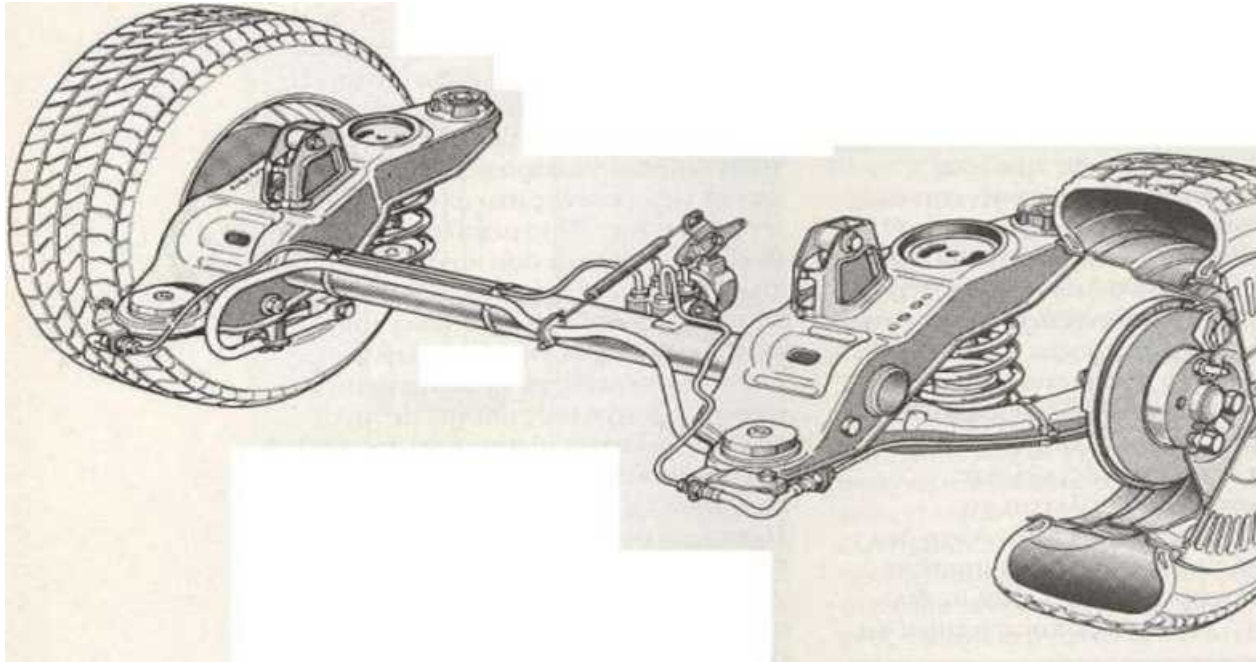
Εικόνα 1.2 Υστερούντες βραχίονες ανάρτησης

Αν πρόκειται για μπροστινό τροχό, τότε ο φορέας του άξονα του πρέπει να μπορεί να στρέφεται γύρω από τον νοητό άξονα που ορίζουν τα σημεία της σύνδεσης του με τις κορυφές των ψαλιδιών. Στην πράξη, μόνο ένα από τα δύο ψαλίδια χρειάζεται να έχει σχήμα διχαλωτό, δηλαδή να αρθρώνεται σε δύο σημεία του σασί. Το άλλο μπορεί να είναι ένας απλός βραχίονας, ένα μπράτσο, με μία μόνο σύνδεση.

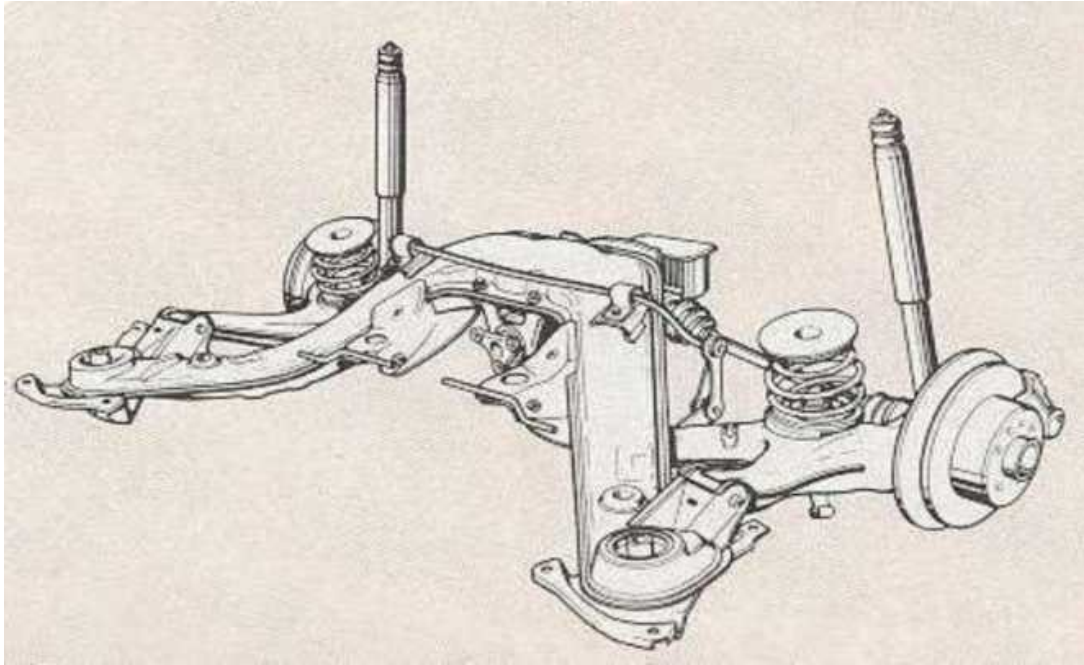
1.3 Υστερούντες και ημιυστερούντες βραχίονες

Άλλος ένας τρόπος στήριξης των τροχών είναι και οι Υστερούντες Βραχίονες που ζουν με επιτυχία στο πίσω κατά κανόνα μέρος πολλών αυτοκινήτων. Στην διάταξη αυτή, οι τροχοί είναι συνδεδεμένοι στο άκρο ενός απλού αρθρωτού βραχίονα, ο οποίος θα μπορεί να ανεβοκατεβαίνει περιστρεφόμενος γύρω από το άλλο άκρο, που συνδέεται με μία εγκάρσια άρθρωση με το αυτοκίνητο (οι παράλληλοι με το αυτοκίνητο βραχίονες ονομάζονται «υστερούντες») (trailing

arm suspension), οι κάθετοι σ' αυτό «εγκάρσιον» και οι λοξοί «ημιστερούντες»). Καταλαμβάνουν ελάχιστο χώρο, κάτι καλό για τον χώρο των αποσκευών, παίρνουν όμως - μαζί με τους τροχούς που στηρίζουν - τις κλίσεις του αμαξώματος στις στροφές, κάτι όχι και πολύ καλό για την οδική συμπεριφορά. Η προσεκτική μελέτη τους όμως μπορεί να «σιδερώσει» το μειονέκτημα αυτό, και μάλιστα με άριστο τρόπο, τουλάχιστον στα σύγχρονα επιβατικά αυτοκίνητα. Οι ημιστερούντες βραχίονες εξάλλου αποτελούν συστατικό αρκετών επιτυχημένων πίσω αναρτήσεων, ιδίως σε βαριά και πισωκίνητα σχήματα.

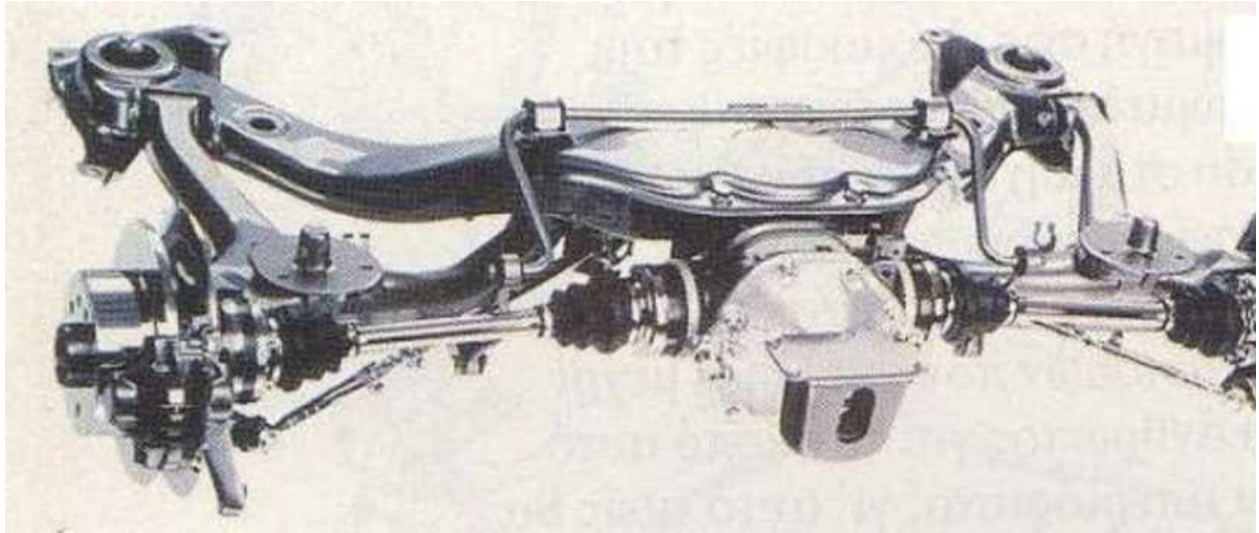


Εικόνα 1.3.1 Ημιστερούντες βραχίονες ανάρτησης

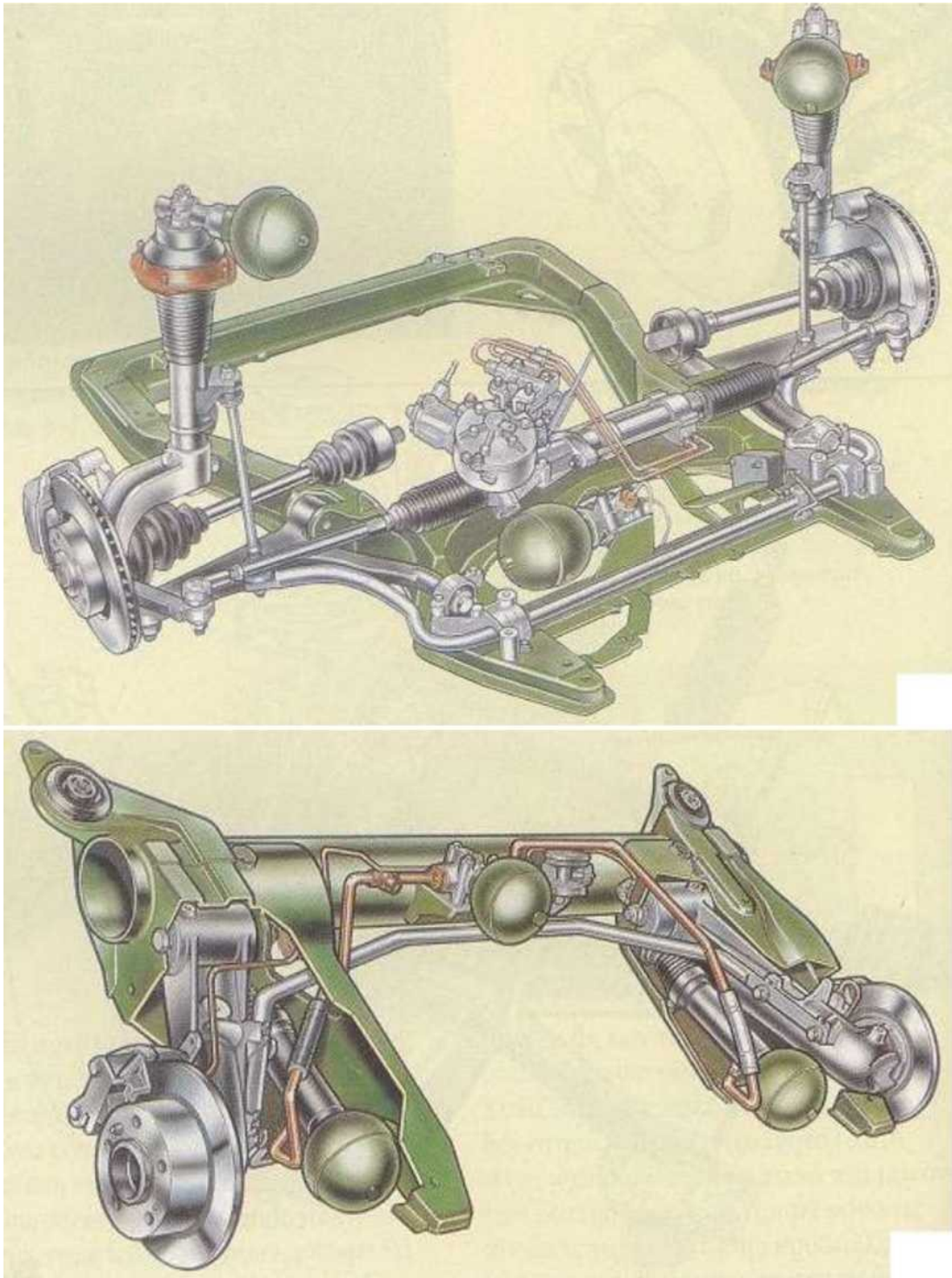


Εικόνα 1.3.2 Πίσω ανάρτηση σε σχήμα Π

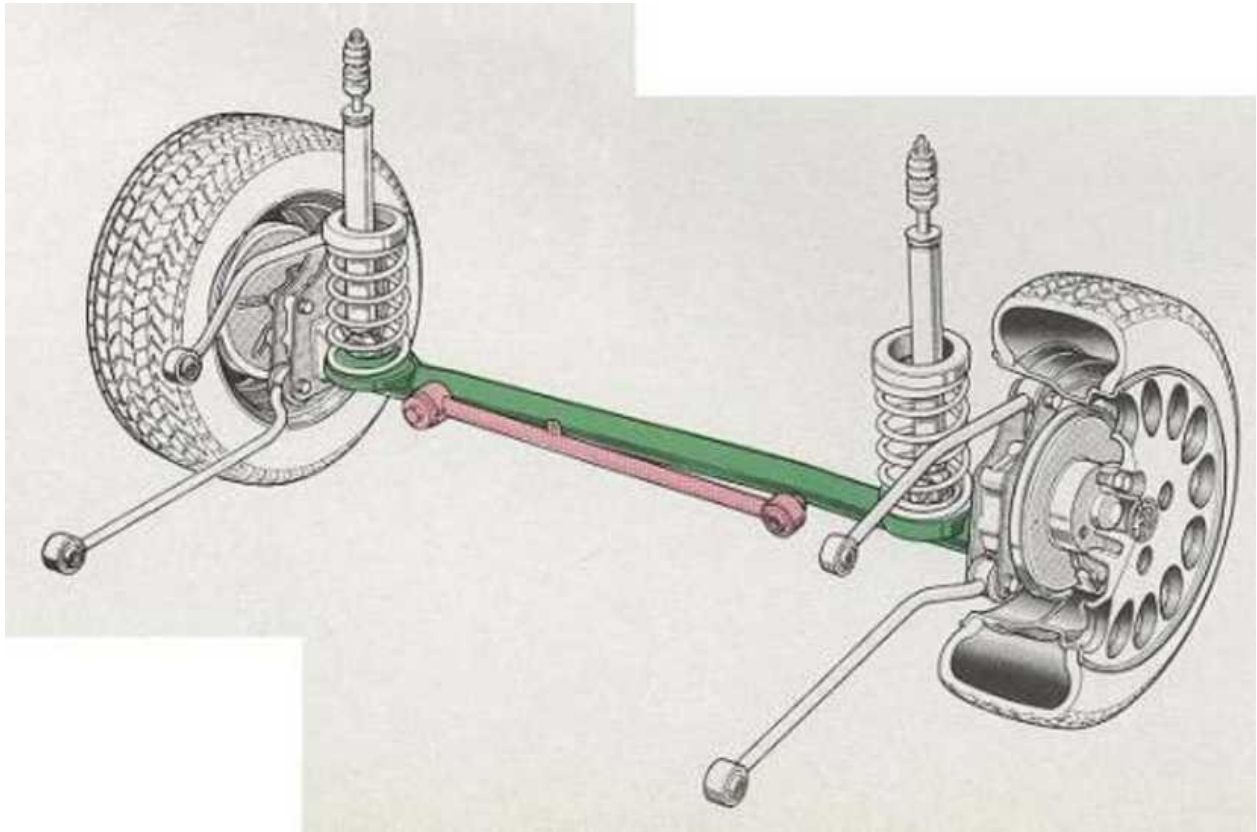
Παραλλαγή των υστερούντων βραχιόνων αποτελεί και η πίσω ανάρτηση σε σχήμα Π πολλών προσθιοκίνητων αυτοκίνητων. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της το ότι βασίζεται την ίδια της στην κάμψη για να λειτουργήσει: στις στροφές, η ασύμμετρη φόρτιση προκαλεί τη συστρόφη του κεντρικού στελέχους της που δρα σαν αντιστρεπτική δοκός. Στην πραγματικότητα δηλαδή είναι μια ανάρτηση ημιανεξάρτητη. Όπως είναι φυσικό, η ικανότητα της να συμπεριφέρεται σαν αντιστρεπτική χωρίς να υπάρχει αντιστρεπτική κάτω από το σασί, σε συνδυασμό με τον ελάχιστο πραγματικά χώρο που καταλαμβάνει, την έκανε ιδιαίτερα αγαπητή στους κατασκευαστές. Τη χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο, ιδίως στα οχήματα της μικρής κατηγορίας. Η οδική συμπεριφορά της πολλές φορές είναι εντυπωσιακή, ακόμα και σε αυτοκίνητα υψηλών επιδόσεων.



Εικόνα 1.3.3 Ημιστερούντες βραχίονες, διαφορεικό σταθερά στερεωμένο στο σασί, αντιστρεπτική, και ενδεχόμενα πρόσθετες ράβδοι συγκράτησης και/ή δυναμικής μεταβολής της γεωμετρίας. Η πιο δημοφιλής «πισωκίνητη» ανάρτηση των ημερών μας.



Εικόνες 1.3.4, 1.3.5: Η γαλλική εξαίρεση - τίποτα περισσότερο από τα γνωστά γόνατα ΜακΦέρσον μπροστά με υστερούντες βραχίονες πίσω, τα ελατήρια- αμορτισέρ όμως αντικαθιστούν οι γνωστές υδροπνευματικές σφαίρες της Σιτροέν.



Εικόνα. 1.3.6 Άκαμπτος άξονας με ράβδο Πανάρ για τον έλεγχο των πλάγιων μετατοπίσεών του. Λύση πολύ πετυχημένη στο παρελθόν και πολύ αποτελεσματική σήμερα (εδώ στο πίσω μέρος της Άλφα 33). Η γεωμετρία των διπλών διαμήκων βραχιόνων στήριξης εξασφαλίζει σταθερό μεταζόνιο.

1.4 Παθητική ανάρτηση

Η πλειοψηφία των αυτοκινήτων χρησιμοποιεί συστήματα παθητικών αναρτήσεων. Τα χαρακτηριστικά αυτών των συστημάτων (μέτρο ελαστικότητας, απόσβεση) είναι σταθερά ανεξάρτητα από της συνθήκες οδήγησης. οι παθητικές αναρτήσεις αποτελούν έναν συμβιβασμό μεταξύ άνεσης και επιδόσεων. Η ευρεία χρήση τους οφείλεται κυρίως στο μειωμένο κόστος τους και στον μικρότερο χρόνο εξέλιξης τους, συγκριτικά με τα υπόλοιπα είδη αναρτήσεων.

Ωστόσο οι παθητικές αναρτήσεις καλύπτουν τις απαιτήσεις των περισσότερων οδηγών σε άνεση

και επιδόσεις. Παρά τους συμβιβασμούς που γίνονται, ο κάθε τύπος αυτοκινήτου αλλά και η κάθε εταιρία προσανατολίζεται κυρίως σε ορισμένα χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, σε οχήματα επιδόσεων δεν συνηθίζονται αναρτήσεις που να στοχεύουν στην άνεση των επιβατών αλλά στις επιδόσεις του οχήματος, ενώ σε οικογενειακά αυτοκίνητα δίνεται μεγαλύτερη προτεραιότητα στην άνεση των επιβατών.

1.5 Ημιενεργητική ανάρτηση

Οι ημιενεργητικές αναρτήσεις δίνουν την δυνατότητα τον οδηγό να επιλέξει μεταξύ ορισμένων συνόλων ρυθμίσεων, επηρεάζοντας τα δυναμικά χαρακτηριστικά της ανάρτησης του οχήματος του. Συνήθως υπάρχουν δυο επιλογές, μια για άνεση και μια για επιδόσεις, όπου εκτός των χαρακτηριστικών της ανάρτησης επηρεάζουν ηλεκτρονικά και άλλα χαρακτηριστικά του οχήματος, όπως την απόκριση, την δράση των συστημάτων ευσταθείας κλπ. Η ημιενεργητικές αναρτήσεις μεταβάλουν συνήθως τα χαρακτηριστικά των αποσβεστήρων. Η μεταβολή αυτή γίνεται είτε με αλλαγή της γεωμετρίας του Έμβολου του αποσβεστήρα, είτε με χρήση μαγνητοροϊκών υγρών.



Εικόνα 1.5 Μαγνητοροϊκή ανάρτηση

Τα συστήματα που λειτουργούν με αλλαγή της γεωμετρίας έχουν ένα σύστημα που μεταβάλλει τον συντελεστή απωλειών κατά την κίνηση του ρευστού μέσα στον αποσβεστήρα. Αυτό επιτυγχάνεται με αλλαγή του αριθμού των οπών που έχει το εμβολο.

Τα μαγνητοροϊκά υγρά χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια στις ημιενεργητικές αναρτήσεις, σε ακριβά αυτοκίνητα δρόμου και σε στρατιωτικά οχήματα. Λόγω των μαγνητιζόμενων σωματιδίων που περιέχουν, τα μαγνητοροϊκά υγρά αλλάζουν το ιξώδες τους όταν βρεθούν σε μαγνητικό πεδίο. Με τοποθέτηση ηλεκτρομαγνήτη μέσα στον αποσβεστήρα γίνεται δυνατός ο έλεγχος του ιξώδους οπότε και η απόσβεση της ανάρτησης.

Οι ημιενεργητικές αναρτήσεις έχουν το πλεονέκτημα, ότι μπορούν να ρυθμίσουν την συμπεριφορά του οχήματος, ώστε να είναι πιο κοντά στις απαιτήσεις του οδηγού. Ωστόσο έχουν αυξημένο κόστος για την κατασκευή, την εξέλιξη τους άλλα και για την λειτουργία τους διότι υπάρχει κατανάλωση ενέργειας για την αλλαγή των ρυθμίσεων. Άλλο ένα μειονέκτημα των ημιενεργητικών αναρτήσεων είναι η ταχύτητα αλλαγής ρύθμισης, η οποία εξαρτάται

κυρίως από τον οδηγό, που δίνει την εντολή της αλλαγής, και ελάχιστα από το ηλεκτρονικό σύστημα. Αυτό το χαρακτηριστικό επηρεάζει σε περιπτώσεις όπου, ενώ το όχημα είναι ρυθμισμένο για να παρέχει κυρίως άνεση στους επιβάτες, απαιτείται η γρήγορη αντίδραση του οδηγού όπου επικεντρώνεται στον ελιγμό χωρίς όμως να εκμεταλλεύεται πλήρως τις δυνατότητες του οχήματος του.

1.6 Ενεργητική ανάρτηση

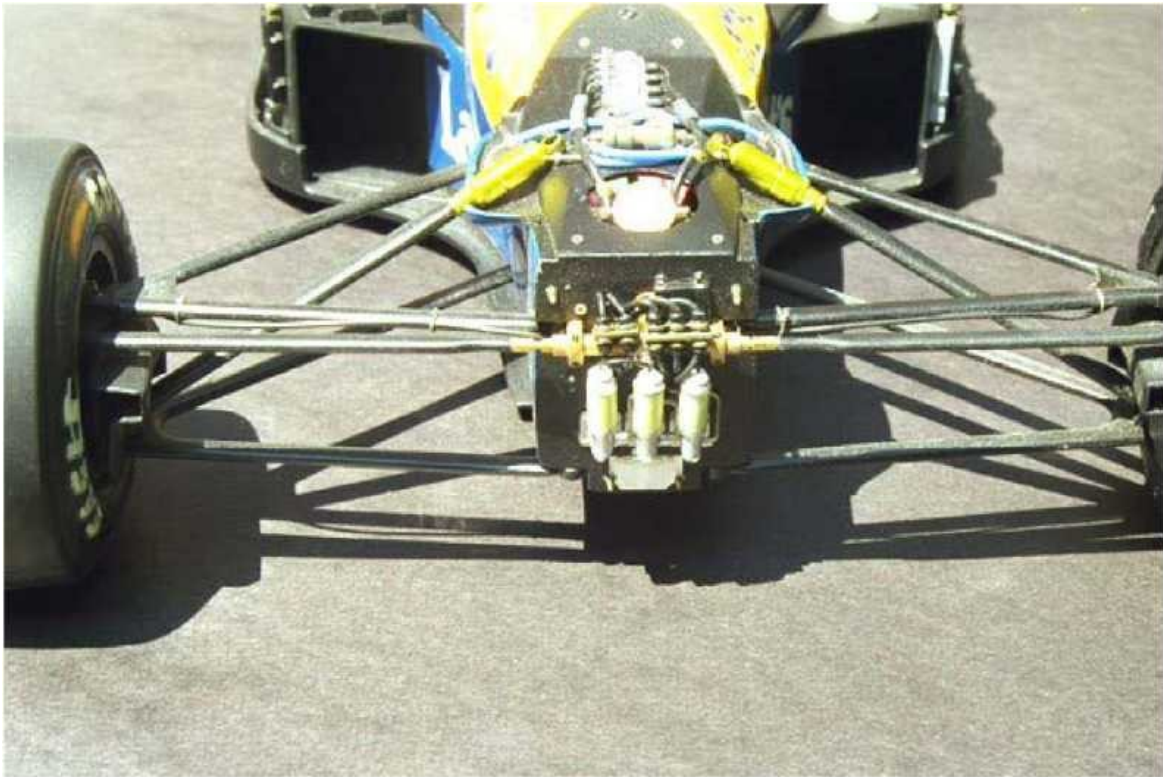
Οι ενεργητικές αναρτήσεις χρησιμοποιούν αισθητήρες και επενεργητές ώστε να μεταβάλουν τα δυναμικά χαρακτηριστικά του οχήματος καθώς και την ενέργεια του συστήματος ανάρτησης, με σκοπό την βελτίωση της οδικής συμπεριφορά ανάλογα με τις στιγμιαίες απαιτήσεις. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται παρέχουν μετρήσεις για τις επιταχύνσεις που δέχεται το όχημα, την ταχύτητα του, την κλίση που έχει, την ισχύ που δίνει ο κινητήρας στους τροχούς, την θέση των ποδοπληκτρων γκαζιού και φρένων, την γωνιά του τιμονιού κλπ. Από την επεξεργασία των μετρήσεων προκύπτουν οι παρεμβάσεις που απαιτούνται στα χαρακτηριστικά της ανάρτησης, ώστε να το όχημα να έχει την καλύτερη δυνατή οδική συμπεριφορά. Οι παρεμβάσεις αυτές υλοποιούνται μέσω ηλεκτρονικών, υδραυλικών ή πνευματικών συστημάτων. Μέσω των επενεργητών αυτών είναι εφικτή η μεταβολή της απόσβεσης και του μέτρου ελαστικότητας που έχει η ανάρτηση, καθώς και η άσκηση δύναμης στον τροχό, ανεξάρτητης από την σχετική θέση του ως προς το όχημα.



Εικόνα 1.6.1 ενεργητική ανάρτηση BMW Dynamic Drive

Το αποτέλεσμα της ανάδρασης των ενεργητικών αναρτήσεων στις συνθήκες κίνησης του οχήματος έχει αισθητό αποτέλεσμα την ενεργητική ασφάλεια, την άνεση αλλά και τις επιδόσεις των οχημάτων που τις περιλαμβάνουν. Τα οχήματα με ενεργητικές αναρτήσεις έχουν ιδιαίτερα αισθητό προβάδισμα συγκρινόμενα με αυτά που έχουν παθητική ή ημιενεργητική. Για τον λόγο αυτό οι ενεργητικές αναρτήσεις έχουν απαγορευτεί από την FIA (Federation Internationale de l'Automobile) σε διάφορα είδη μηχανοκινήτου αθλητισμού όπως για παράδειγμα στη Formula 1.

Ενεργητικές αναρτήσεις χρησιμοποιήθηκαν στη Formula 1 από το 1987, που η Lotus τις ενσωμάτωσε στο μονοθέσιο της Lotus 99T, έως το 1994 οπού απαγορεύτηκαν μαζί με άλλα ηλεκτρονικά συστήματα επειδή έκαναν της ικανότητες του οδηγού σχεδόν ανεξάρτητες της επίδοσης του οχήματος στον αγώνα. Η μέγιστη εκμετάλλευση του συστήματος την επιτεύχθηκε στο μονοθέσιο Williams FW14B. Εκτός από την δυναμική συμπεριφορά των μονοθεσιών, οι ενεργητικές αναρτήσεις είχαν σημαντικό αντίκτυπο και στην αεροδυναμική τους, λόγω της δυνατότητας τους να διατηρούν το όχημα παράλληλο με το οδόστρωμα και να μεταβάλλουν το ύψος ανάλογα με την ταχύτητα του άνεμου. Ενδεικτικά η Lotus 99T εκτός των αισθητήρων σε σημεία των αναρτήσεων είχε και αισθητήρες ταχύτητας άνεμου, ενώ χρειάζονταν 87 παράμετροι για να υπολογιστεί η ανάδραση του υδραυλικού συστήματος.



Εικόνα 1.6.2 Σύστημα ανάρτησης από το μονοθέσιο Williams FW14B

Εκτός από τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι ενεργητικές αναρτήσεις έχουν και αρκετά μειονεκτήματα. Αυτά δεν σχετίζονται με την συμπεριφορά του οχήματος αλλά με το κόστος τους. Εκτός από το αυξημένο κόστος των απαιτούμενων εξαρτημάτων, η εξέλιξη ενός συστήματος ενεργητικής ανάρτησης είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και απαιτεί εξέλιξη συστημάτων επενέργειας, μετρήσεων και επεξεργασίας των μετρήσεων. Η λειτουργία ενός συστήματος ενεργητικής ανάρτησης απαιτεί επίσης ενέργεια, με αποτέλεσμα να περιορίζει την τελική απόδοση του οχήματος. Ένα αρκετά οικονομικό σύστημα που χρησιμοποίησε η Lotus σε μονοθέσιο της, κατανάλωνε σε ομαλό δρόμο 4 - 4,5 ίππους, ενώ η κατανάλωση τους μπορούσε να φτάσει ακόμα και τους 9 ίππους. Επιπλέον τα εξαρτήματα που απαιτούνται εκτός από το κόστος αυξάνουν και το βάρος του οχήματος.

Υδραυλικά και πνευματικά συστήματα

Τα υδραυλικά και πνευματικά συστήματα είναι μηχανισμοί που χρησιμοποιώντας ένα υδραυλικό ρευστό (υγρό ή αέριο) μεταφέρουν κίνηση ή ισχύ. Η λειτουργία των υδραυλικών και πνευματικών συστημάτων στηρίζεται στο νόμο του Pascal σύμφωνα με τον οποίο εφαρμόζοντας πίεση σε ένα υδραυλικό ρευστό που βρίσκεται σε κλειστό δοχείο, η πίεση μεταδίδεται ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις.

Τα πνευματικά συστήματα μπορούν να αποδώσουν αρκετά μικρότερες δυνάμεις συγκριτικά με τα υδραυλικά. Ωστόσο τα πνευματικά συστήματα αξιοποιούν τον ατμοσφαιρικό αέρα και τη συμπιεστότητα του, με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται δεξαμενή ή υδραυλικό υγρό και η λειτουργία τους να είναι λιγότερο άμεση στις μεταβολές. Λόγω της συμπιεστότητας των αερίων αντικαθιστώντας σε ορισμένες εφαρμογές, τα ελατήρια από πνευματικά συστήματα.

Η χρήση υδραυλικών συστημάτων είναι αρκετά διαδεδομένη λόγω της υψηλής συγκέντρωσης ισχύος τους. Αυτό το χαρακτηριστικό τους προκύπτει από τις υψηλές πιέσεις που μπορούν να αναπτύξουν. Άλλο ένα χαρακτηριστικό των υδραυλικών κυκλωμάτων είναι η άμεση μετάδοση δυνάμεων λόγω της ελάχιστης συμπιεστότητας των υγρών. Τα περισσότερα σύγχρονα οχήματα περιλαμβάνουν υδραυλικά συστήματα, με τα πιο γνωστά να είναι τα υδραυλικά φρένα και το υδραυλικό σύστημα διεύθυνσης. Ωστόσο υδραυλικά συστήματα χρησιμοποιούνται και σε άλλα υποσυστήματα των οχημάτων, όπως στις αναρτήσεις, στην κίνηση υπερκατασκευών, στην μετάδοση κίνησης κλπ.

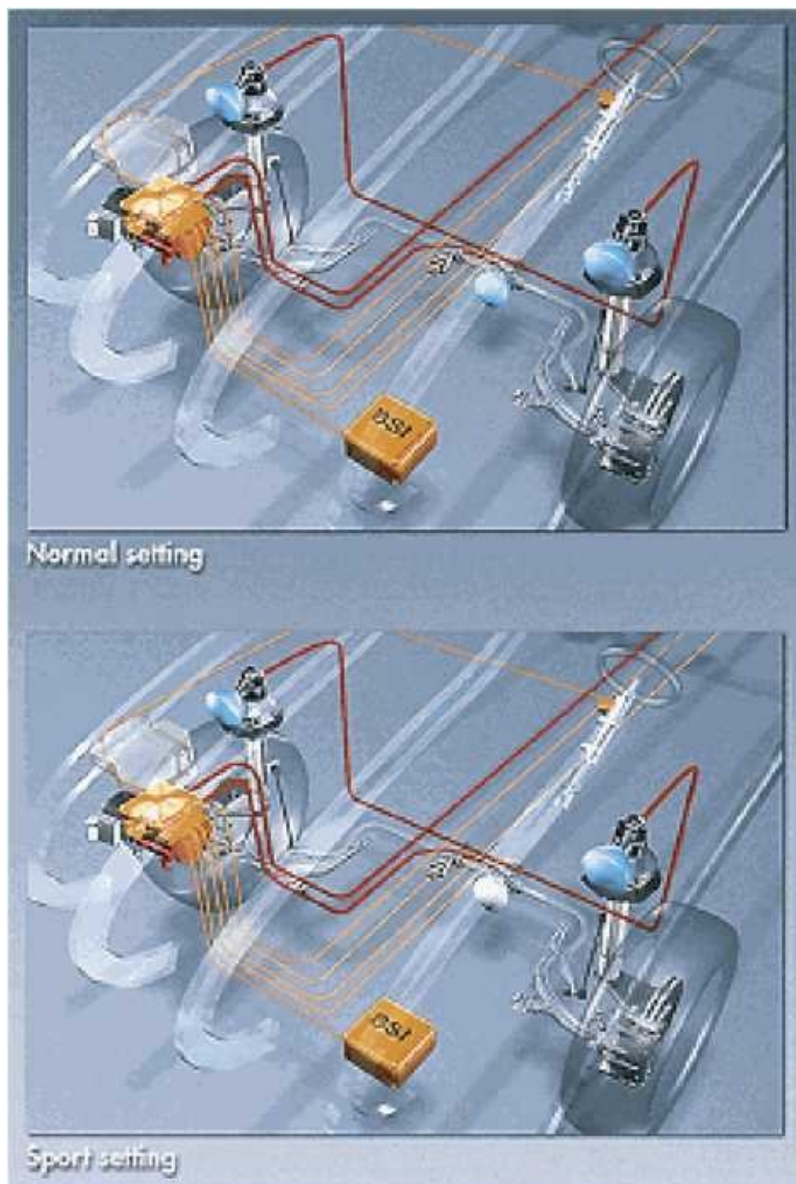
Υδροπνευματικές αναρτήσεις

Σε πολλά σύγχρονα αυτοκίνητα, ειδικά μεγάλων κατηγοριών, χρησιμοποιούνται υδροπνευματικές αναρτήσεις. Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτών είναι η άνεση που προσφέρουν και η ρυθμισιμότητα όσον αφορά την απόσβεση των κραδασμών και το ύψος του οχήματος. Ωστόσο κάποια συστήματα υδροπνευματικών αναρτήσεων στοχεύουν και στη μείωση των κλίσεων του οχήματος στις στροφές ή την βελτίωση της συμπεριφοράς του

οχήματος κατά την διάρκεια ελιγμών.

Μερικά υδροπνευματικά συστήματα είναι τα:

- Citroen hydractive



Εικόνα 1.6.3 Citroen hydractive

Το 1954 η Citroen κυκλοφόρησε το πρώτο αυτοκίνητο της με υδροπνευματική ανάρτηση, συγκεκριμένα με το σύστημα Hydactive, η εξέλιξη του οποίου συνεχίζεται μέχρι σήμερα ενώ έχουν υπάρξει ήδη πάνω από 3 διαφορετικές εκδοχές του σε αυτοκίνητα της γαλλικής εταιρίας. Το Hydactive, ανάλογα με την έκδοση, επιδρά στην απόσβεση, τις σταθερές ελατηρίων, το ύψος του οχήματος και δρα ως αντιστρεπτική ράβδος. Στις νεότερες εκδοχές του δέχεται δεδομένα από μετρητικές διατάξεις και μεταβάλλει τα παραπάνω χαρακτηριστικά ώστε να έχει κατά περίπτωση από πολύ άνετη οδήγηση έως οδική συμπεριφορά αγωνιστικού αυτοκινήτου. Τα δεδομένα αυτά αφορούν επιταχύνσεις, την θέση ποδόπληκτρον γκαζιού, την γωνία τιμονιού κλπ.

- **Mercedes Active Body Control (ABC)**

Η Mercedes-Benz ξεκίνησε να χρησιμοποιεί πνευματικές αναρτήσεις σε οχήματα της το 1964 με το μοντέλο Mercedes-Benz 600. Στόχος της ήταν η μεγαλύτερη άνεση των επιβατών. Δέκα χρόνια αργότερα κυκλοφόρησε η Mercedes-Benz 450SEL 6.9 με υδροπνευματική ανάρτηση στα χνάρια της Citroen. Το σύστημα αυτό παρείχε αρκετή άνεση στους επιβάτες ενώ εξακολουθούσε να έχει ιδιαίτερα καλές επιδόσεις για αυτοκίνητο της γενιάς και της κατηγορίας του.



Εικόνα 1.6.4 Mercedes Active Body Control

Η πιο σύγχρονη υλοποίηση των υδροπνευματικών αναρτήσεων της εταιρίας από την Στουτγάρδη είναι το σύστημα Active Body Control (ABC). Σε αντίθεση με τα σύγχρονα συστήματα Hydractive, το ABC είναι ιδιαίτερα απλό, μεταβάλει με τη χρήση υδραυλικού συστήματος, τις σταθερές των ελατηρίων και εξασφαλίζει μειωμένες κλίσεις οχήματος.

- **Jeep Quadra Lift και Selec-Trac**



Εικόνα 1.6.5 Jeep Quadra Lift

Η αμερικάνικη εταιρία Jeep κατασκευάζει οχήματα για οδήγηση εκτός δρόμου. Τα οχήματα αυτά έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις όσον αφορά το ύψος τους από το έδαφος, την σκληρότητα και την διαδρομή των αναρτήσεων τους. Τα τελευταία χρόνια η Jeep, για λόγους οικονομίας καυσίμου και άνεσης επιβατών, εξοπλίζει ορισμένα από τα αυτοκίνητα που παράγει με τα συστήματα Quadra Lift και Selec-Trac. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν με χρήση αερίου υπό πίεση (ατμοσφαιρικού αέρα ή αζώτου ανάλογα με την έκδοση), ώστε να αλλάζουν το

ύψος του οχήματος και την οδική συμπεριφορά του αντίστοιχα.

- Tesla motors ACTIVE AIR SUSPENSION



Εικόνα 1.6.6 Active Air Suspension

Η Tesla motors με έδρα την Καλιφόρνια των Η.Π.Α. κατασκευάζει από το 2003 ηλεκτροκίνητα οχήματα. Στο αυτοκίνητο Tesla Model S ενσωματώνει το σύστημα Active Air Suspension, το οποίο χρησιμοποιείται για να μεταβάλει, με την χρήση πνευματικού συστήματος, το ύψος του οχήματος, είτε για οδήγηση σε ανώμαλο οδόστρωμα είτε για βελτίωση της αεροδυναμικής του οχήματος, καθώς και για να περιορίζει τις κλίσεις του αμαξώματος λόγω ανομοιόμορφης κατανομής φορτίου.

- WABCO Electronically Controlled Air Suspension (ECAS)

Το σύστημα ECAS χρησιμοποιεί πνευματικό σύστημα ελεγχόμενο από μια ηλεκτρονική μονάδα έλεγχου (ECU) για να περιορίσει τις κλίσεις του οχήματος και να βελτιώσει την οδική συμπεριφορά του. Επιπλέον το σύστημα αυτό προσαρμόζει την σκληρότητα του παραμορφώσιμου μέσου, μεταβάλλοντας την ποσότητα του αέρα, με αποτέλεσμα να έχει το όχημα ομαλότερη κύλιση όταν κινείται χωρίς φορτίο. Το σύστημα

αυτό μπορεί να συνδεθεί επίσης και με άλλα πνευματικά συστήματα που υπάρχουν σε οχήματα, όπως το σύστημα έλεγχου των θυρών των λεωφορείων.

2 . Οι αναρτήσεις γενικά

Η ανάρτηση αποτελεί ένα είδος ελαστικού συνδέσμου που διαχωρίζει τις αναρτημένες (όπως είναι το πλαίσιο, η μηχανή, οι επιβάτες, κτλ.) με τις μη αναρτημένες (οι τροχοί, οι δίσκοι πέδησης, οι άξονες του διαφορικού, κτλ.) μάζες ενός οχήματος. Κάθε σύστημα ανάρτησης αποτελείται από ένα σύνολο μηχανικών αρθρώσεων και συναρμογών, που συνεργάζονται με ελατήρια και αμορτισέρ και λειτουργούν για να ελέγξουν την κατακόρυφη ταλάντωση των τροχών και τη συνεπαγόμενη αυξομείωση της απόστασης τους από το αναρτημένο κυρίως σώμα του οχήματος. Η λειτουργία των αναρτήσεων αφορά αφενός την άνεση, δηλαδή την μείωση των ταλαντώσεων που φτάνουν στο αμάξωμα και στην καμπίνα των επιβατών, και αφετέρου την οδηγισιμότητα του οχήματος.

2.1 Άκαμπτος άξονας

Η παλαιότερη μορφή ανάρτησης, αν και βασικά στη διάταξη αυτή δεν υπήρχε ανάρτηση! Για την ακρίβεια, οι τροχοί συνδέονταν απευθείας με τον άξονα, ο οποίος συνδεόταν στο πλαίσιο με διάφορους τρόπους, ακριβώς όπως συνέβαινε στο παρελθόν στις άμαξες. Όταν στον άκαμπτο άξονα δεν μεταδίδεται κίνηση, τότε λέγεται και «νεκρός» άξονας.

2.2 Ημιάκαμπτος άξονας (τύπου «γέφυρας»)

Ο ημιάκαμπτος άξονας χρησιμοποιείται σε σύγχρονες κατασκευές μικρών επιβατικών αυτοκινήτων και ενεργεί ως σταθεροποιητής, ενώ αυξάνει και την ευστάθεια του αυτοκινήτου, ιδίως στις στροφές.

Τα άκρα της «γέφυρας» ενός ημιάκαμπτου άξονα είναι συγκολλημένα με δύο παράλληλους διαμήκεις χαλύβδινους βραχίονες, δεξιά και αριστερά, ενώ πάνω μέρος της έχουν ειδικά διαμορφωμένα στηρίγματα πρόσδεσης, όπου μέσω ελαστικών εδράνων, στηρίζονται με κοχλίες στο αμάξωμα. στους βραχίονες στερεώνονται οι τροχοί. Επίσης τα άκρα της γέφυρας στο άνω μέρος της έχουν ειδικά διαμορφωμένα στηρίγματα πρόσδεσης, όπου μέσω ελαστικών εδράνων, στηρίζονται με κοχλίες στο αμάξωμα.

2.3 Ελατήρια

Αποτελεί το κύριο στοιχείο μιας ανάρτησης και είναι ένα σώμα που καθώς συμπιέζεται και αλλάζει σχήμα, αποθηκεύει μέσα του ένα ποσό μηχανικής ενέργειας και το απελευθερώνει αμέσως μόλις επανέλθει στο αρχικό του σχήμα. Κάθε ελατήριο διαθέτει έναν συγκεκριμένο συντελεστή σκληρότητας, δηλαδή έναν αριθμό ο οποίος περιγράφει το λόγο της δύναμης που παραμορφώνει το ελατήριο, προς το μέγεθος της παραμόρφωσης που προκαλείται. Ο συντελεστής αυτός προέρχεται από ένα σύνολο δεδομένων όπως είναι ο συντελεστής ελαστικότητας του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο, αλλά και από τον τρόπο και το είδος της παραμόρφωσης που του γίνεται, πάντα βέβαια σε σχέση με την επιλεγμένη διατομή του υλικού στην περιοχή της παραμόρφωσης.

Ημιελλειπτικά ελατήρια

Τα ελατήρια αυτά είναι τα πρώτα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάρτηση των αυτοκινήτων και σήμερα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στα βαριά οχήματα. Πρόκειται για μια σειρά ελασμάτων (φύλλων) από χάλυβα, που το μήκος τους μειώνεται διαδοχικά, καθώς τοποθετούνται το ένα επάνω στο άλλο. Στο μέσον τους ή σπανιότερα σε ασύμμετρη θέση, συνδέονται με έναν κεντρικό πείρο ο οποίος και τα διαπερνά. Ο αριθμός των ελασμάτων αρχίζει από ένα ή δύο και φθάνει μέχρι και πάνω από δέκα, στα βαρέα οχήματα. Το σύνολο τους συμπεριφέρεται σαν ένα ενιαίο δοκάρι στη μέση χοντρό και στις άκρες λεπτό, αλλά με ελαστικότητα μεγαλύτερη απ' όση θα είχε αν ήταν ένα ενιαίο συμπαγές κομμάτι.

Τα ημιελλειπτικά ελατήρια μπορούν να παίξουν και το ρόλο του ψαλιδιού μιας ανάρτησης, δηλαδή αποτελούν και το βραχίονα έδρασης του άξονα των τροχών χωρίς να χρειάζεται άλλο εξάρτημα. Επιπλέον, η εσωτερική τριβή που δημιουργείται ανάμεσα στα φύλλα όταν αυτά κάμπτονται, μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε θερμότητα και αποσβένει τις ταλαντώσεις, γι' αυτό και πολλά από τα πρώτα αυτοκίνητα δεν χρησιμοποιούσαν καθόλου επιπρόσθετα αμορτισέρ.

Ελικοειδή ελατήρια

Τα ελικοειδή ελατήρια αποτελούνται από κυκλικής διατομής χαλύβδινη ράβδο που έχει περιελιχθεί ελικοειδώς. Τα ελατήρια αυτά που από τη φύση τους δέχονται μόνο θλιπτικά φορτία και χρησιμοποιούνται σε συστήματα ανεξάρτητης ανάρτησης, τοποθετούμενα μεταξύ του άνω η κάτω βραχίονα (ψαλιδιού) και αμαξώματος ή πλαισίου σε κατάλληλες υποδοχές. Η δυνατότητα φόρτισης τους εξαρτάται από τη διάμετρο της χαλύβδινης ράβδου που

διαθέτουν, από το μέγεθος της διαμέτρου του ελατηρίου και από τον αριθμό των σπειρών που έχουν.

Το πιο κοινό είδος ελατηρίου είναι το «απλό», με σταθερό συντελεστή σκληρότητας σε όλες τις σπείρες, οι οποίες είναι ίδιας διαμέτρου, βήματος και πάχους. Το ελατήριο αυτό συμπεριφέρεται γραμμικά και διατηρεί τον ίδιο συντελεστή σκληρότητας όσο κι αν συμπιεστεί ή εκταθεί από την έδραση κάποιου αναρτημένου φορτίου. Το ελάχιστο μήκος που μπορεί να έχει ένα τέτοιο ελατήριο, ορίζεται από το σημείο όπου όλες οι σπείρες του θα ακουμπήσουν η μία πάνω στην άλλη ταυτόχρονα, μετατρέποντας το σε συμπαγή μεταλλικό κύλινδρο. Για να αποφευχθεί η πιθανότητα να συμβεί κάτι τέτοιο, τα ελατήρια αυτά έχουν συνήθως ελαστικά τακάκια (στόπερ), τα οποία αναλαμβάνουν δράση λίγο πριν τον τερματισμό.

Άλλο ένα είδος ελατηρίου είναι το ελικοειδές ελατήριο με μεταβλητό συντελεστή σκληρότητας, το οποίο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε, προς τις άκρες του, οι σπείρες να είναι πιο πυκνά διατεταγμένες, ενώ στο κεντρικό τμήμα να απέχουν μεταξύ τους αρκετά. Καθώς το ελατήριο συμπιέζεται, οι σπείρες με τα μικρά διάκενα ακουμπούν, αφήνοντας μόνο ένα μικρό κεντρικό κομμάτι του ελατηρίου να λειτουργεί. Μετά τα πρώτα εκατοστά «μαλακής» βύθισης, δηλαδή, το εναπομείναν λειτουργικό τμήμα συμπεριφέρεται σαν σκληρότερο ελατήριο.

Σήμερα χρησιμοποιούνται διάφορων ειδών ελατήρια, που μπορεί, πέρα από την κανονική κυλινδρική μορφή τους, να παρουσιάζουν είτε σμίκρυνση στη μέση του κυλίνδρου, είτε να έχουν κωνική ή οβάλ μορφή.

2.4 Στρεπτική ράβδος

Η στρεπτική ράβδος είναι ένα μακρύ μεταλλικό εξάρτημα κυκλικής συνήθως διατομής, κατασκευασμένο από ειδικό ατσάλι ελατηρίων, του οποίου το ένα άκρο στερεώνεται στο σασί του αυτοκινήτου, ενώ στο άλλο άκρο προσαρμόζεται ένας βραχίονας. Ο τροχός του αυτοκινήτου βρίσκεται στην άκρη του βραχίονα και καθώς ανεβοκατεβαίνει, αναγκάζει τη στρεπτική ράβδο να υποστεί στρεπτικές ροπές, στις οποίες αντιδρά ανάλογα.

Ένα από τα πλεονεκτήματά τους, είναι το μικρό βάρος και η ευκολία τοποθέτησής τους χαμηλά σε περιοχές του πλαισίου, όπου δεν ενοχλούν κανέναν με την παρουσία τους.

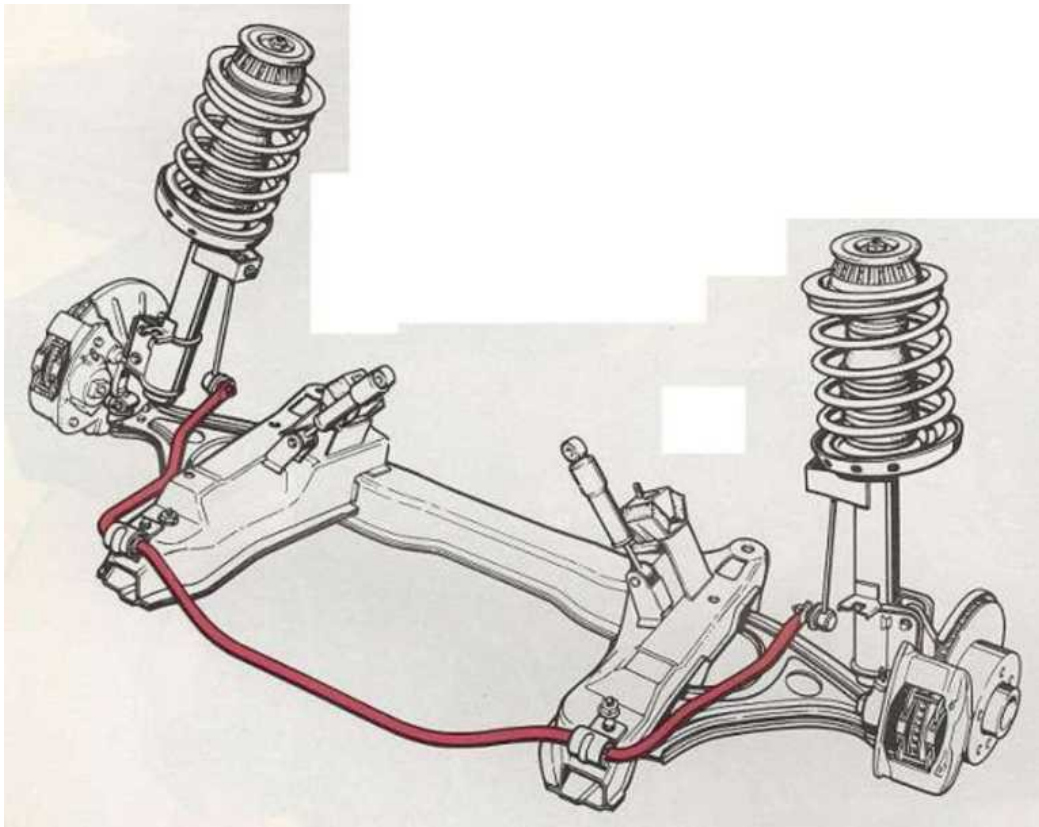
Οι στρεπτικές ράβδοι χρησιμοποιήθηκαν από τις δεκαετίες του 1930 και του 1940, αρχικά σε

αγωνιστικά αυτοκίνητα και κατόπιν στα αυτοκίνητα παραγωγής. Σήμερα χρησιμοποιούνται στην ανεξάρτητη μπροστινή ανάρτηση μερικών τετρακίνητων και στην πίσω ανάρτηση αρκετών μικρών μπροστοκίνητων, κυρίως από την Renault.

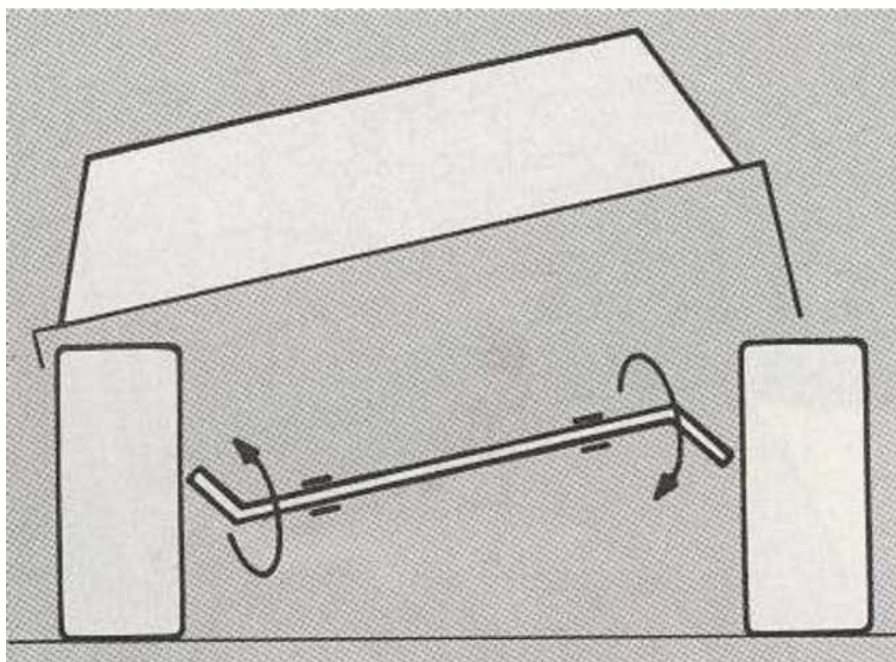
2.5 Αντιστρεπτική ράβδος

Η χρήση της περίφημης «μπάρας εξισορρόπησης» άρχισε να γίνεται όλο και συχνότερη από τη στιγμή που καθιερώθηκαν οι «ανεξάρτητες» αναρτήσεις, όπου ο δεξιός τροχός μπορεί να κινείται ανεξάρτητα από τον αριστερό και αντίστροφα. Παρά την αναμφισβήτητη προσαρμοστικότητά τους στο οδόστρωμα, οι αναρτήσεις αυτές έδιναν υπερβολικές κλίσεις στο αμάξωμα στις στροφές, κλίσεις ανεπιθύμητες, που καλείται να περιορίσει η αντιστρεπτική. Αυτή δεν είναι παρά μια ράβδος με κεκαμμένα άκρα που στηρίζεται στο σασί με δυο αρθρώσεις, μέσα στις οποίες μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα. Κάθε άκρο συνδέεται με μια ανάρτηση και προσέξτε τι γίνεται σε μια στροφή: το ένα άκρο ανεβαίνει, το άλλο κατεβαίνει και η αντιστρεπτική αναγκάζεται να στραφεί γύρω από τον εαυτό της, γεγονός στο οποίο φυσικά αντιστέκεται. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος της και όσο κοντύτερα είναι τα άκρα της (μικρός μοχλοβραχίονας), τόσο περιορίζονται οι κλίσεις του αμαξώματος. Με την κατάλληλη επιλογή συνεπώς των χαρακτηριστικών αυτών, ο μηχανικός μπορεί με πολύ εύκολο τρόπο να υλοποιήσει τον βαθμό ανεξαρτησίας της ανάρτησης που αυτός επιθυμεί.

Προσέξτε ότι στις εγκάρσιες ανωμαλίες των ευθειών όπου και οι δύο τροχοί ανεβοκατεβαίνουν συγχρόνως, η αντιστρεπτική απλώς ανεβοκατεβαίνει ελεύθερα μαζί τους χωρίς να συστρέφεται, συνεπώς δεν επηρεάζει καθόλου τη σκληρότητα της ανάρτησης. Μέσα σε ορισμένα πλαίσια λοιπόν είναι δυνατόν να επιτευχθεί αρκετά σκληρή συμπεριφορά στην είσοδο των στροφών όπου το αμάξωμα αποκτά κλίση - κάτι το επιθυμητό για καλή οδική συμπεριφορά - χωρίς να επιβαρύνεται η άνεση του αυτοκινήτου στην ευθεία.



Εικόνα 2.5.1 Αντιστρεπτική δοκός



Εικόνα 2.5.2 Αντιστρεπτική δοκός σε στροφή

2.6 Υδροπνευματική ανάρτηση λεωφορείων

Προκειμένου να βελτιωθούν οι δυναμικές ιδιότητες των λεωφορείων και των βαρέων οχημάτων, η BRANO a.s., παραγωγός αμορτισέρ για αυτούς τους τύπους οχημάτων, άρχισε να αναπτύσσει ημιαδραστικά υδραυλικά τηλεσκοπικά αμορτισέρ ελεγχόμενα από την πίεση του αέρα. Το υδραυλικό τηλεσκοπικό αμορτισέρ που ελέγχεται από την πίεση του αέρα είναι ικανό να αλλάζει τη δύναμη απόσβεσής του ανάλογα με την πίεση του αέρα στα ελατήρια αέρα. Αν η πίεση αέρα στα ελατήρια αυξάνεται με το αυξανόμενο φορτίο του οχήματος, αυξάνεται και η δύναμη απόσβεσης κραδασμών. Εάν το φορτίο του οχήματος μειωθεί, η πίεση στα ελατήρια πέφτει και προκαλεί μείωση των δυνάμεων απόσβεσης των υδροπνευματικών αμορτισέρ. Έτσι, το όχημα διατηρεί σταθερή σταθερότητα και άνεση κατά τη διάρκεια διαφόρων λειτουργικών καταστάσεων. Αυτή η ιδιότητα του ελεγχόμενου από την πίεση αέρα απορροφητήρα κραδασμών (APCSA) μπορεί πλεονεκτικά να χρησιμοποιηθεί σε σχεδιασμό ανάρτησης. Το υπεραστικό λεωφορείο SOR C 12, που παράγεται από την SOR Libchavy, spol. s r. ήταν το όχημα αναφοράς, για το οποίο έγινε η έρευνα και ανάπτυξη των

υδροπνευματικών αμορτισέρ και στο οποίο επαληθεύτηκαν τα αμορτισέρ. Το κύριο ερώτημα ήταν ποια χαρακτηριστικά δύναμης-ταχύτητας των υδροπνευματικών αμορτισέρ θα μπορούσαν να είναι κατάλληλα για διαφορετικά βάρη του οχήματος.

Πολλές προσομοιώσεις είχαν ήδη χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη και βελτίωση των ιδιοτήτων απόσβεσης της ανάρτησης των οχημάτων. Η επίδραση διαφόρων στρατηγικών ελέγχου στις ιδιότητες χειρισμού των οχημάτων και η άνεση οδήγησης συζητούνται και συγκρίνονται. Πολλά άρθρα ασχολούνται με τις βέλτιστες ιδιότητες απόσβεσης σε σχέση με την οδηγική άνεση του οδηγού και των επιβατών. Η ιδέα προσέγγισης προτείνεται και χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό του αποσβεστήρα που εξαρτάται από τη διαδρομή. Η εφαρμογή σε ένα στρατιωτικό όχημα παρουσιάζεται και χρησιμοποιείται η ονομαστική δόση δόνησης με βάση τον υπολογισμό επιταχύνσεων ως κριτήριο άνεσης οδήγησης. Η άνεση οδήγησης ενός βαρύ φορτηγού βελτιώνεται επίσης με τη χρήση τιμών RMS επιταχύνσεων ως αντικειμενική λειτουργία. Οι αρχές της βελτιστοποίησης του σχήματος χρησιμοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό της ανάρτησης σε σχέση με τη βέλτιστη άνεση οδήγησης και την ασφάλεια οδήγησης. Προτάθηκε σύστημα αποσβεστήρα πραγματικού χρόνου κατάλληλο για τις βέλτιστες ιδιότητες χειρισμού οχήματος. Η οδική συμπεριφορά είναι ένα άλλο κριτήριο στο σχεδιασμό της ανάρτησης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένας συντελεστής δυναμικής φορτίσεως φορτίου που οδηγεί στη βελτίωση των δυνάμεων οδικού ελαστικού. Σε σύγκριση με τα προαναφερθέντα επιλεγμένα χαρτιά, στα οποία η βέλτιστη συμπεριφορά χαρακτηριζόταν από την ελαχιστοποίηση ορισμένων επιλεγμένων μεταβλητών, η βέλτιστη συμπεριφορά των υδροπνευματικών αμορτισέρ.

Με βάση την εμπειρία του κατασκευαστή των απορροφητών κραδασμών οι λειτουργικές καταστάσεις στον τομέα των οχημάτων κάθετης δυναμικής επιλέχθηκαν για τον σχεδιασμό των βέλτιστων χαρακτηριστικών δύναμης-ταχύτητας των αμορτισέρ. Οι λειτουργικές καταστάσεις στο πεδίο μιας πλευρικής δυναμικής ή μιας διαμήκουσ δυναμικής επηρεάζονται από τη συμπεριφορά των απορροφητών κραδασμών όχι τόσο σημαντικά όσο στην περίπτωση της κάθετης δυναμικής. Για τον σχεδιασμό των χαρακτηριστικών δύναμης-ταχύτητας της APCSA προτάθηκε και χρησιμοποιήθηκε η αντικειμενική λειτουργία. Ως κριτήριο για το σχεδιασμό των βέλτιστων χαρακτηριστικών δύναμης-ταχύτητας του ημι-ενεργή APCSA

επιλέχθηκε η μέγιστη ομοιότητα των δυναμικών αποκρίσεων των πολυσωματικών μοντέλων του δίαυλου SOR C 12 για διάφορα βάρη οχήματος με τη δυναμική απόκριση του πολυσωματικού μοντέλου του δίαυλου του βάρους του οχήματος αναφοράς. Αναλύονται τα χρονικά διαστήματα των σχετικών εκτροπών των ελατηρίων αέρα των αξόνων κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων.

Η επαλήθευση της καταλληλότητας των σχεδιασμένων χαρακτηριστικών δύναμης-ταχύτητας της APCSA που περιγράφεται σε αυτή την εργασία πραγματοποιείται με βάση τις προσομοιώσεις της γενικής κινηματικής διέγερσης τροχών. Οδήγησε σε τεχνητά δημιουργημένο track σύμφωνα με τη μεθοδολογία SKODA VYZKUM. «Η καταλληλότητα των σχεδιασμένων χαρακτηριστικών δυνάμεως-ταχύτητας των ελεγχόμενων αμορτισέρ της αερανάρχης των αξόνων του υπεραστικού λεωφορείου SOR C 12 αξιολογήθηκε σύμφωνα με άλλα κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά είναι η διατήρηση της επιτάχυνσης της εκτεινόμενης μάζας εντός των λογικών ορίων από την άποψη του οδηγού και των επιβατών, ελαχιστοποιώντας τη σχετική μετατόπιση του κινητήρα σε σχέση με το πλαίσιο ή διατηρώντας το πλάτος της κατακόρυφης επαφής ελαστικού-οδού δυνάμεων εντός λογικών ορίων. Αλλά το κριτήριο της μέγιστης ομοιότητας των χρονικών ιστορικών των σχετικών εκτροπών των ελατηρίων αέρα των αξόνων ήταν το καλύτερο από την άποψη του σχεδιασμού της APCSA. Αυτό το κριτήριο χρησιμοποιήθηκε κατά την επαλήθευση της καταλληλότητας των σχεδιασμένων χαρακτηριστικών δύναμης-ταχύτητας της APCSA με βάση τις προσομοιώσεις μιας ασύμμετρης κινηματικής διέγερσης των τροχών.

Τα χαρακτηριστικά ταχύτητας-δυνάμεως της APCSA για την αέριο ανάρτηση των αξόνων του υπεραστικού λεωφορείου SOR C 12 σχεδιάστηκαν με βάση τα αποτελέσματα προσομοιώσεων υπολογιστών με τα μοντέλα πολυσωμάτων δίαυλου που δημιουργήθηκαν στο εργαλείο προσομοίωσης της Αλάσκας. Δημιουργήθηκαν μοντέλα πολλαπλών σωμάτων ενός άδειου, πλήρως φορτωμένου και τριών παραλλαγών ενός μερικώς φορτωμένου οχήματος. Δύο παραλλαγές πολυσωματικών μοντέλων του μερικώς φορτωμένου λεωφορείου δημιουργήθηκαν λόγω του σχεδιασμού των χαρακτηριστικών δύναμης-ταχύτητας του APCSA για τις καταστάσεις φορτίου του οχήματος. Η βέλτιστη ρύθμιση των

χαρακτηριστικών ταχύτητας-δύναμης των μη ελεγχόμενων απορροφητών κραδασμών του δίαυλου SOR 12 C που φορτώθηκαν στο 71,5% του μέγιστου φορτίου ήταν το αποτέλεσμα λειτουργικών δοκιμών.

Το φορτίο του οχήματος πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας βαρέλια γεμάτα με νερό, τα οποία τοποθετήθηκαν στα καθίσματα και το πάτωμα των λεωφορείων. Με βάση τα αρχεία των πειραματικών μετρήσεων που τεκμηριώθηκαν, επαληθεύτηκαν ταυτόχρονα τα δημιουργημένα πολυσωματικά μοντέλα του δίαυλου SOR 12C φορτωμένα στο 71,5% του μέγιστου φορτίου.

2.7 Υδροπνευματική ανάρτηση αυτοκινήτων

Ένα σύστημα ανάρτησης αυτοκινήτων είναι ένα από τα σημαντικά συστατικά του οχήματος. Γενικά, ένα σύστημα ανάρτησης αποτελείται από τέσσερις αναρτήσεις σε τετράτροχα οχήματα, όπου μια ανάρτηση εξοπλίζεται σε έναν τροχό. Εντός της διαθέσιμης διαδρομής ανάρτησης, οι στόχοι μιας ανάρτησης οχήματος είναι:

α) την απομόνωση του αμαξώματος του οχήματος από εξωτερικές διαταραχές που προέρχονται από ακανόνιστες οδικές επιφάνειες και από εσωτερικές διαταραχές που προκαλούνται από στροφές, επιτάχυνση ή επιβράδυνση, προκειμένου να υπάρχει άνεση οδήγησης ·

β) να φέρει το βάρος του αμαξώματος του οχήματος ·

γ) να αντιδρούν στις μεταβολές του φορτίου, οι οποίες οφείλονται είτε σε μεταβολές στον αριθμό επιβατών και αποσκευών είτε σε εσωτερικές διαταραχές · και

(δ) να διατηρεί μια σταθερή επαφή μεταξύ του δρόμου και των ελαστικών, ώστε να έχει καλές επιδόσεις χειρισμού, δηλαδή ασφάλεια κίνησης.

Μία παθητική ανάρτηση είναι ένα συμβατικό σύστημα το οποίο αποτελείται από το μη ελεγχόμενο ελατήριο και το αποσβεστήρα κρούσης που συγκρατεί. Και τα δύο εξαρτήματα

λειτουργούν μηχανικά παράλληλα και στερεώνονται μεταξύ της δομής στήριξης του τροχού (άκαμπτη μάζα) και του σώματος του οχήματος (μάζα με ελατήριο). Ο αποσβεστήρας είναι ένας κύλινδρος γεμάτος με υδραυλικό λάδι ή συμπιεσμένο αέριο. Μέσα στον κύλινδρο υπάρχει ένα έμβολο που οδηγείται από μια ράβδο. Επιπλέον, το υγρό ή το αέριο μπορεί να περάσει μεταξύ των εξαρτημάτων μέσα στον κύλινδρο. Αυτή η ροή ρευστού ή αερίου δημιουργεί μια δύναμη αντίδρασης που είναι ανάλογη της σχετικής ταχύτητας μεταξύ των ανθεκτικών και μη αναρτημένων μαζών. Η απόσβεση επιτυγχάνεται με τη μετατροπή της ενέργειας των ταλαντώσεων σε θερμότητα. Η καλή απομόνωση απαιτεί χαμηλές συχνότητες ανάρτησης (ελαφρές ελατήρια) και μέτρια απόσβεση, ενώ οι μεταβολές στο φορτίο που προκαλούνται είτε από αλλαγές στον αριθμό επιβατών και αποσκευών είτε από εσωτερικές εισόδους που παράγονται κατά την επιτάχυνση, την πέδηση και τις στροφές αντιδρούν πιο αποτελεσματικά με δύσκαμπτα ελατήρια και σχετικά υψηλά ποσοστά απόσβεσης. Η σταθερή επαφή ελαστικού-οδού ελέγχεται επίσης αποτελεσματικά με υψηλά ποσοστά απόσβεσης. Για τις παθητικές αναστολές, είναι σαφές ότι απαιτείται συμβιβασμός για την επίλυση της σύγκρουσης μεταξύ άνεσης οδήγησης και καλής συμπεριφοράς χειρισμού. Τα παθητικά συστήματα ανάρτησης είναι δημοφιλή στα οχήματα λόγω της απλότητας, του μικρού όγκου, του χαμηλού κόστους και της υψηλής αξιοπιστίας τους. Ωστόσο, τα παθητικά εναιωρήματα δεν μπορούν να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα για προβλήματα ανάρτησης, επειδή τα παθητικά αιωρήματα έχουν σταθερά ελαστικά χαρακτηριστικά και χαρακτηριστικά απόσβεσης, ανταποκρίνονται παθητικά μόνο στην εξωτερική διέγερση και δεν επιτρέπουν κανένα ενεργό έλεγχο. Κατά συνέπεια, οι εφικτές βελτιώσεις είναι στον τομέα των σχημάτων, των βαλβίδων και των υλικών.

Ένα ημιενεργό εναιώρημα είναι ένα χωρίς ενεργές πηγές δύναμης. Έτσι, η μηχανική διάταξη ενός ημιενεργού εναιωρήματος είναι πανομοιότυπη με την παθητική. Ωστόσο, ο έλεγχος του συντελεστή απόσβεσης επιτυγχάνεται με την αλλαγή των χαρακτηριστικών των αποσβεστήρων. Κατά συνέπεια, αυτό δίνει τη δυνατότητα των δυνάμεων αντίδρασης του αποσβεστήρα. Συνήθως, μια ημι-ενεργή ανάρτηση μπορεί να μετατοπιστεί εξ αποστάσεως ηλεκτρικά για να μαλακώσει ή να σκληρύνει την ανάρτηση. Ο συντελεστής απόσβεσης μπορεί να αλλάζει συνεχώς ή ασυνεχώς. Η στρατηγική μεταγωγής είναι η χρήση άκαμπτης

ανάρτησης σε στροφές, επιτάχυνση και πέδηση, για να μειωθεί η απόκριση χαμηλής συχνότητας στις αδρανειακές δυνάμεις που σχετίζονται με το κύλινδρο και το βήμα και επίσης να αποφευχθεί η διέγερση των συντονισμών του σώματος και του τροχού. Για τις μεγάλες κινήσεις των τροχών των οδών, χρησιμοποιείται επίσης συχνά για τη μετάβαση από τις μαλακές σε σκληρές ρυθμίσεις για να αποφευχθεί η σύγκρουση της ανάρτησης σε ακανόνιστες οδικές επιφάνειες. Η μαλακή ρύθμιση αποκαθίσταται μετά από λίγα δευτερόλεπτα οδήγησης με αρκετά ευθεία και σταθερή ταχύτητα. Μπορεί να φανεί ότι τα ημιενεργά εναιωρήματα λειτουργούν υπό έλεγχο κλειστού βρόχου. Ένα παράδειγμα εμπορικής ηλεκτρομαγνητικής ημιενεργού συστήματος ανάρτησης είναι ο μαγνητο-ρεολογικός αποσβεστήρας που έχει εγκατασταθεί στο αυτοκίνητο Audi. Ωστόσο, δεδομένου ότι είναι ένα ημι-ενεργό σύστημα, δεν μπορεί να εφαρμοστεί καμία ενεργή δύναμη και συνεπώς, είναι αδύνατη η ολική απομάκρυνση του κυλίνδρου και του βήματος.

Μια ενεργή ανάρτηση είναι μία που περιλαμβάνει έναν ενεργοποιητή που μπορεί να τροφοδοτεί ενεργή δύναμη, η οποία ρυθμίζεται από έναν αλγόριθμο ελέγχου χρησιμοποιώντας δεδομένα από αισθητήρες που είναι προσαρτημένοι στο όχημα. Ένα ενεργό σύστημα ανάρτησης αποτελείται από έναν ενεργοποιητή και ένα μηχανικό ελατήριο ή έναν ενεργοποιητή, ένα μηχανικό ελατήριο και ένα αποσβεστήρα. Ανήκει στην ενεργή ανάρτηση υψηλού εύρους ζώνης που ελέγχει τόσο την ανυψωμένη μάζα όσο και την άκαμπτη μάζα αν ο ενεργός ενεργοποιητής λειτουργεί μηχανικά παράλληλα με το ελατήριο. Είναι η ενεργή ανάρτηση χαμηλού εύρους ζώνης που ελέγχει την ανυψωμένη μάζα αν ο ενεργός ενεργοποιητής λειτουργεί μηχανικά εν σειρά με το ελατήριο και τον αποσβεστήρα. Γενικά, η συχνότητα της μη αναρτημένης μάζας βρίσκεται στην περιοχή των 10-15 Hz και η συχνότητα της εκτεινόμενης μάζας κυμαίνεται στην περιοχή των 1-2 Hz. Το κόστος των ενεργών αναστολών εξαρτάται από το απαιτούμενο εύρος ζώνης. Εάν η ενεργή ανάρτηση με το περιορισμένο εύρος ζώνης απαιτείται μόνο, το κόστος του ενεργοποιητή μειώνεται και συνεπώς μειώνεται το κόστος του ενεργού εναιωρήματος. Λόγω της παροχής ενεργού ελέγχου δύναμης, οι ενεργές αναρτήσεις παρέχουν τη δυνατότητα πλήρους εκπλήρωσης των στόχων των αναρτήσεων αυτοκινήτων.

Το ενεργό εναιώρημα ονομάζεται γενικά ως υδραυλικό ή πνευματικό όταν ο ενεργοποιητής

επιλέγεται ως υδραυλικός ή πνευματικός ενεργοποιητής και η ενεργή ανάρτηση ονομάζεται γενικά ως ηλεκτρομαγνητική όταν ο ενεργοποιητής είναι ένας ηλεκτρομαγνητικός ενεργοποιητής. Οι ενεργές αναρτήσεις που εφαρμόζονται εμπορικά σε αυτοκίνητα σήμερα βασίζονται στο υδραυλικό ή πνευματικό. το σύστημα προστασίας έναντι κυλίνδρων ανήκει στο ενεργό εναιώρημα χαμηλού εύρους ζώνης), όπου το F_a αντιπροσωπεύει τη δύναμη που παράγεται από τον ενεργοποιητή. Υδραυλική ή πνευματικά ενεργή ανάρτηση αποτελείται από υδραυλικό ή πνευματικό ενεργοποιητή, αποσβεστήρα και μηχανικό ελατήριο. Γενικά, τα υδραυλικά ή πνευματικά ενεργά εναιωρήματα είναι κατάλληλα για εφαρμογές μικρού εύρους ζώνης. Ως εκ τούτου, απεικονίζεται το τυπικό μοντέλο τετρακίνησης των υδραυλικών ή πνευματικά ενεργών εναιωρημάτων.

Σε υδραυλική ή πνευματικά ενεργοποιημένη ανάρτηση, ο υδραυλικός ή πνευματικός κύλινδρος λειτουργεί υπό την οδήγηση ως υδραυλικός ή πνευματικός ενεργοποιητής. Λαμβάνει υδραυλική ή πνευματική ενέργεια από μια αντλία που κινείται από τον κινητήρα του οχήματος ή από έναν ηλεκτροκινητήρα. Ένας ηλεκτρονικός ελεγκτής ρυθμίζει τη δύναμη του ενεργοποιητή. Ο κινητήρας του οχήματος ή ο ηλεκτροκινητήρας οδηγεί μια υδραυλική ή πνευματική αντλία για την τροφοδοσία της υδραυλικής ή πνευματικής ενέργειας στον υδραυλικό ή πνευματικό ενεργοποιητή που εμπλέκεται στο υδραυλικό ενεργό εναιώρημα, το οποίο δημιουργεί δυνάμεις απόσβεσης ταλαντώσεων μεταξύ της εκτεινόμενης μάζας του οχήματος και της μη ανεστραμμένης μάζας του οχήματος. Η υδραυλική ή πνευματική βαλβίδα κινείται από τον ηλεκτρομαγνητικό ενεργοποιητή χαμηλής ισχύος, ο οποίος ελέγχεται από τη μονάδα ελέγχου με τον ηλεκτρικό μετατροπέα, προκειμένου να ρυθμίζει τη δύναμη του υδραυλικού ή του πνευματικού ενεργοποιητή.

Γενικά, ένα ηλεκτρομαγνητικό ενεργό εναιώρημα αποτελείται από έναν ηλεκτρομαγνητικό ενεργοποιητή και ένα μηχανικό ελατήριο. Και τα δύο εξαρτήματα λειτουργούν μηχανικά παράλληλα. Η φυσική ευελιξία ελέγχου του ηλεκτρομαγνητικού ενεργοποιητή έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική βελτίωση της συμπεριφοράς της ανάρτησης, επειδή το ενεργό εναιώρημα μπορεί να παράγει την ενεργό δύναμη ελέγχου για την ταχεία απορρόφηση των οδικών κραδασμών, την καταστολή των κινήσεων κυλίνδρων και βημάτων και τη βελτίωση

της ασφάλειας και της άνεσης. Επιπλέον, η άλλη πιθανή αξία των ηλεκτρομαγνητικών ενεργών αναρτήσεων είναι ότι ο ηλεκτρομαγνητικός ενεργοποιητής μπορεί να λειτουργήσει υπό την παραγωγή. Αυτό το χαρακτηριστικό επιτρέπει την ανάκτηση ενέργειας από την ανάρτηση, όταν ο ενεργοποιητής παράγει τη δύναμη απόσβεσης. Έτσι, η κατανάλωση ενέργειας των οχημάτων μειώνεται [4]. Η γραμμική κίνηση μπορεί να επιτευχθεί με ηλεκτρομαγνητικό περιστροφικό κινητήρα με βίδα με σφαιρίδιο ή άλλο μορφοτροπέα για τη μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε γραμμική μετάφραση. Τέτοια ανάρτηση, συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτρομαγνητικού περιστροφικού κινητήρα, ανήκει στο ενεργό εναιώρημα ηλεκτρομαγνητικής έμμεσης κίνησης. Ο μηχανισμός που απαιτείται για την πραγματοποίηση αυτής της μετατροπής έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές επιπλοκές, οι οποίες περιλαμβάνουν αντίδραση και αυξημένη μάζα του κινούμενου μέρους λόγω σύνδεσης ανιχνευτών ή γραναζιών που μετατρέπουν περιστροφική κίνηση σε γραμμική κίνηση.

Ο ηλεκτρομαγνητικός ενεργοποιητής κινείται από τον ηλεκτρικό μετατροπέα και ελέγχεται από τη μονάδα ελέγχου με βάση τα αποκτηθέντα σήματα και τους αλγόριθμους ελέγχου. Η ισχύς του ενεργοποιητή παρέχεται από την μπαταρία, η οποία μπορεί να τροφοδοτηθεί από την ηλεκτρική γεννήτρια που οδηγείται από τον κινητήρα του οχήματος. Έτσι, η μπαταρία αντικαθιστά τώρα τα πολύπλοκα και ακριβά υδραυλικά εξαρτήματα. Ταυτόχρονα, η ενέργεια που αποθηκεύεται στο ηλεκτρομαγνητικό ενεργό σύστημα ανάρτησης μπορεί να διοχετευθεί πίσω στην μπαταρία μέσω του ηλεκτρικού μετατροπέα, εάν ο ηλεκτρομαγνητικός ενεργοποιητής λειτουργεί κάτω από την παραγωγή. Ορισμένες δημοσιεύσεις ανέφεραν μελέτες και έρευνες για ηλεκτρομαγνητικά ενεργά εναιωρήματα. Το ηλεκτρομαγνητικό ενεργό αιώρημα που παρουσιάζεται περιλαμβάνει ένα γραμμικό ενεργοποιητή μόνιμου μαγνήτη, έναν αποσβεστήρα και ένα μηχανικό ελατήριο, που λειτουργούν μηχανικά παράλληλα. Επιπλέον, οι επιδόσεις του ηλεκτρομαγνητικού ενεργού εναιωρήματος υπολογίστηκαν και αναλύθηκαν.

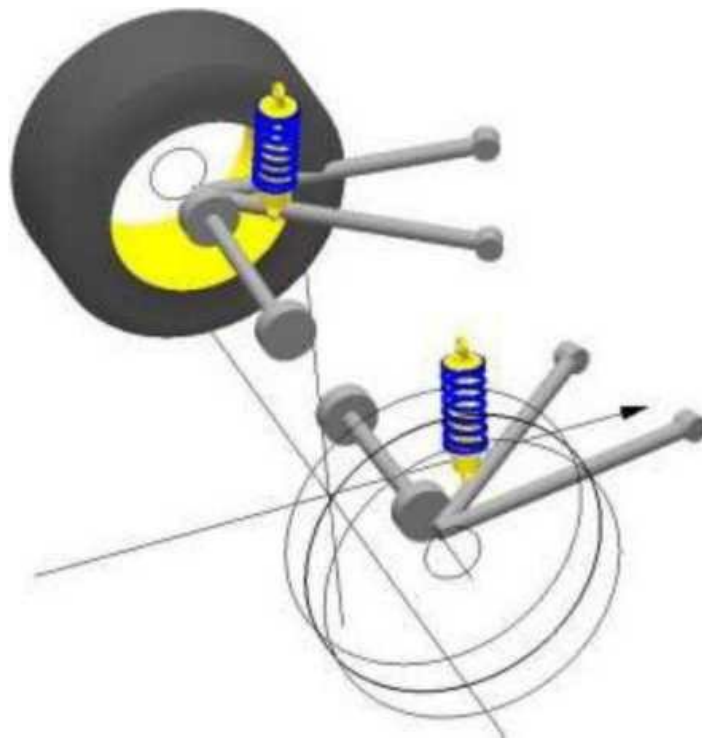
Επιπλέον, ο βελτιστοποιημένος σχεδιασμός διερευνάται χρησιμοποιώντας τον αναπτυγμένο αλγόριθμο. Σε μια εγκατάσταση ενός τέταρτου αυτοκινήτου, οι δυναμικές δυνατότητες μιας ηλεκτρομαγνητικής ανάρτησης συνδυάζοντας έναν σωληνοειδή ενεργοποιητή μόνιμου μαγνήτη και ένα ελατήριο. Η ανάκτηση και διαχείριση ενέργειας σε ηλεκτρομαγνητικά

ενεργά συστήματα ανάρτησης. Έχει προταθεί έμμεση ηλεκτρομαγνητική ενεργή ανάρτηση, που περιλαμβάνει ηλεκτρομαγνητικό περιστροφικό ενεργοποιητή και μειωτήρα, για τον έλεγχο του ρόλου, του βήματος και της αναπήδησης. Επιπλέον, η επίδραση στην κίνηση των οδηγών ερευνήθηκε όταν το χειριστήριο κυλίνδρων ήταν ενεργοποιημένο και απενεργοποιημένο μέσω του εξελιγμένου προσομοιωτή ταλάντωσης κυλίνδρων. Με βάση τις μετρήσεις επί οδού και τα αποτελέσματα από τη βιβλιογραφία, παράγονται ταυτόχρονα αρκετές προδιαγραφές για το σχεδιασμό ενός ηλεκτρομαγνητικού συστήματος ανάρτησης. Επιπλέον, η επιτευχθείσα μείωση των κραδασμών αντισταθμίζεται από τις μετρήσεις που επιτυγχάνονται με δοκιμές δρόμου. Συμπερασματικά, η αναγέννηση ενέργειας του ηλεκτρομαγνητικού ενεργού συστήματος ανάρτησης διερευνήθηκε σε υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα με βάση τους αναπτυγμένους αλγορίθμους προσομοίωσης

3. Αναρτήσεις πίσω τροχών

3.1. Ημιστερούντες βραχίονες

Σύστημα ανεξάρτητης πίσω ανάρτησης, στο οποίο ο κάθε τροχός ελέγχεται από ένα βραχίονα σε σχήμα τριγώνου. Η κορυφή του τριγωνικού βραχίονα αρθρώνεται στην πλήμη του τροχού και άλλες δύο στο πλαίσιο. Ο άξονας που ενώνει τα δύο σημεία άρθρωσης βρίσκεται υπό γωνία σε σχέση και με το διαμήκη και με τον εγκάρσιο άξονα του αυτοκινήτου. Οι ημιστερούντες χρησιμοποιούνταν κυρίως σε πισωκίνητα αυτοκίνητα λόγω της αξιόπιστης και φτηνής κατασκευής τους, συνήθως σε συνδυασμό με υποπλαίσιο, αλλά δεν έχουν τόσο μεγάλη δυνατότητα στο έλεγχο των γωνιών κάμπερ και σύγκλισης.



Εικόνα 3.1 Οι ημιωστερόντες χρησιμοποιούνταν κυρίως σε πισωκίνητα αυτοκίνητα λόγω της αξιόπιστης και φτηνής κατασκευής τους, συνήθως σε συνδυασμό με υποπλάισιο, αλλά δεν έχουν τόσο μεγάλη δυνατότητα στο έλεγχο των γωνιών κάμπερ και σύγκλισης).

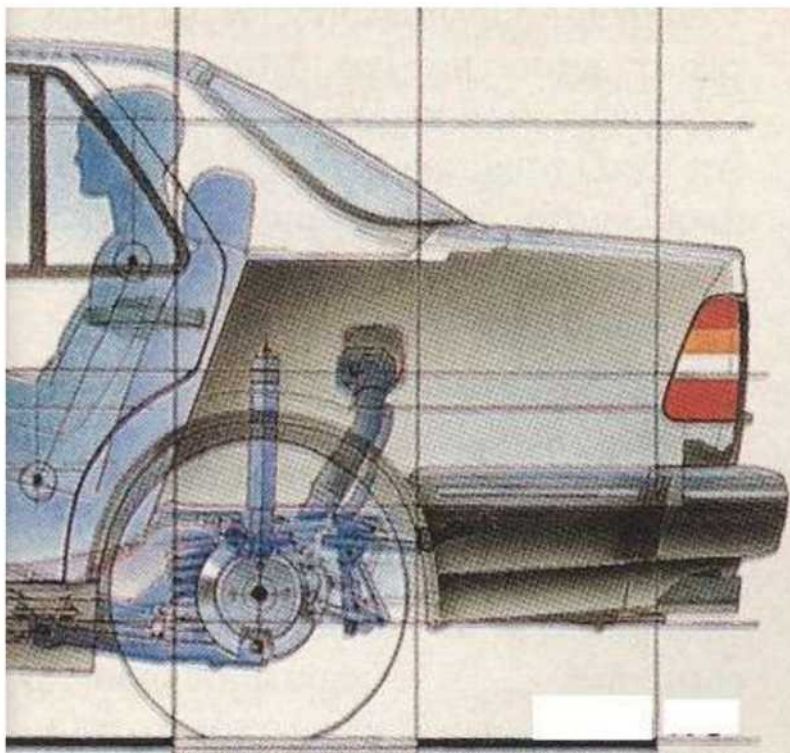
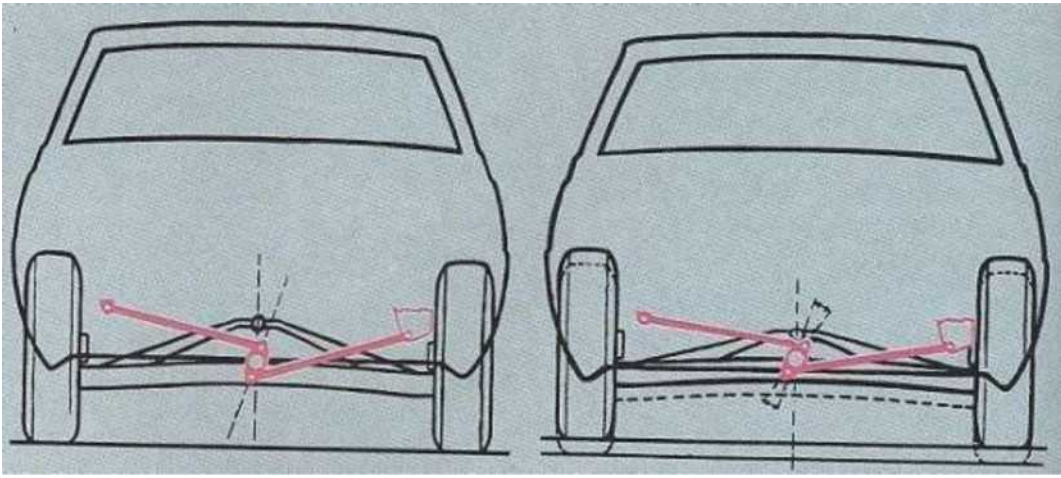
3.2 Οι γεννήτριες θέσης και όδευσης

«ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΘΕΣΗΣ» είναι ένας μηχανισμός που παραλαμβάνει ένα σώμα από τη θέση Α και το μεταφέρει- επακριβώς... - στη θέση Β, όποια, όπως και όπου κι αν είναι αυτή.

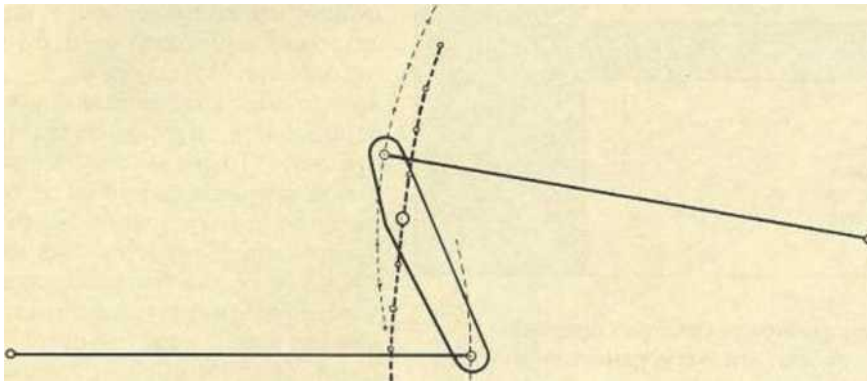
«ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΟΔΕΥΣΗΣ» είναι μια μηχανική διάταξη που μεταφέρει ένα σημείο από τη θέση Α μέχρι τη θέση Β κατά ένα συγκεκριμένο τρόπο, ώστε η μετάβαση αυτή να γίνει μέσα από καθορισμένες ενδιάμεσες θέσεις. Μία από τις απλούστερες γεννήτριες θέσης ή όδευσης είναι ο βραχίονας: στην περίπτωση αυτή, το ένα άκρο του βραχίονα αρθρώνεται σε ένα πείρο ενώ στο άλλο άκρο προσαρμόζεται σταθερά το «προς μετακίνηση» αντικείμενο. Και μιλώντας για αναρτήσεις, το κινούμενο αντικείμενο είναι ο τροχός. Κατά τα γνωστά, αν ο βραχίονας κινείται σε ένα επίπεδο παράλληλο προς τον τροχό έχουμε να κάνουμε με ένα

διαμήκη βραχίονα, ενώ αν το επίπεδο κίνησής του είναι κάθετο προς τον τροχό, έχουμε να κάνουμε με έναν αιωρούμενο βραχίονα.

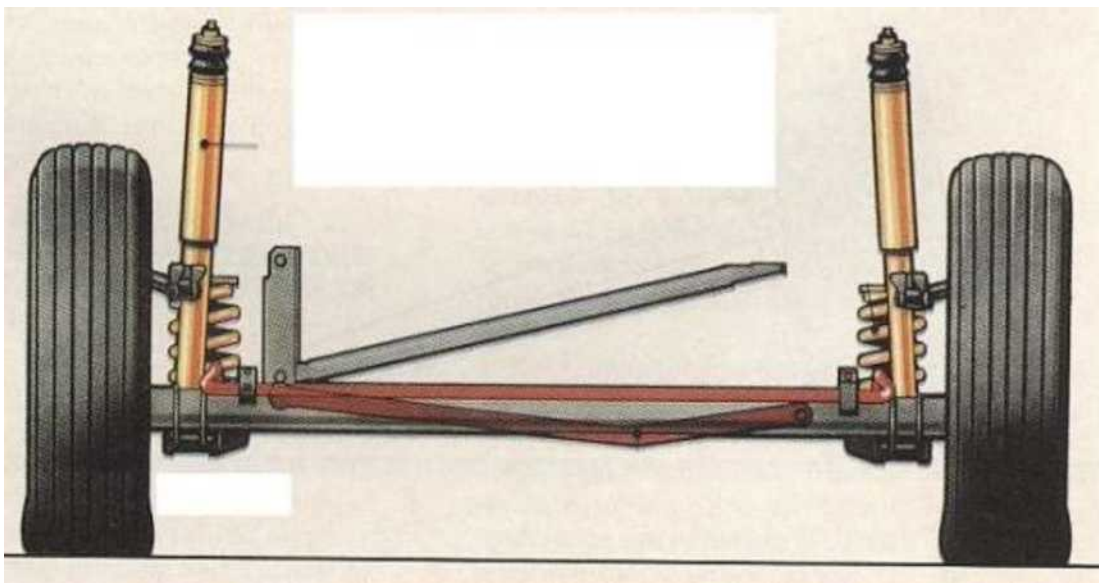
Μια κλασική γεννήτρια όδευσης «ευθείας γραμμής» είναι ο - πολύ διαδεδομένος - σύνδεσμος Βατ. Ανήκει στην οικογένεια των μηχανισμών τεσσάρων αρθρωτών ράβδων και έχει χρησιμοποιηθεί για τη διαμήκη στήριξη άκαμπτων αξόνων. Η πιο αποτελεσματική όμως αξιοποίησή του έχει πραγματοποιηθεί για την εγκάρσια στήριξη του άκαμπτου άξονα. Ο «φτηνός και αποτελεσματικός» τρόπος εγκάρσιας στήριξης με ράβδο Πανάρ έχει κάποια μειονεκτήματα με τις πλευρικές μετατοπίσεις του άξονα όταν η ανάρτηση συμπιέζεται. Αρθρώνοντας όμως ένα σύνδεσμο Βατ πάνω στο διαφορετικό εξασφαλίζουμε μια απόλυτα ευθύγραμμη κίνησή του (άρα και του άξονα) ως προς το κατακόρυφο επίπεδο. Το μειονέκτημα εδώ, βέβαια, είναι το αυξημένο κόστος υλικών και συναρμολόγησης.



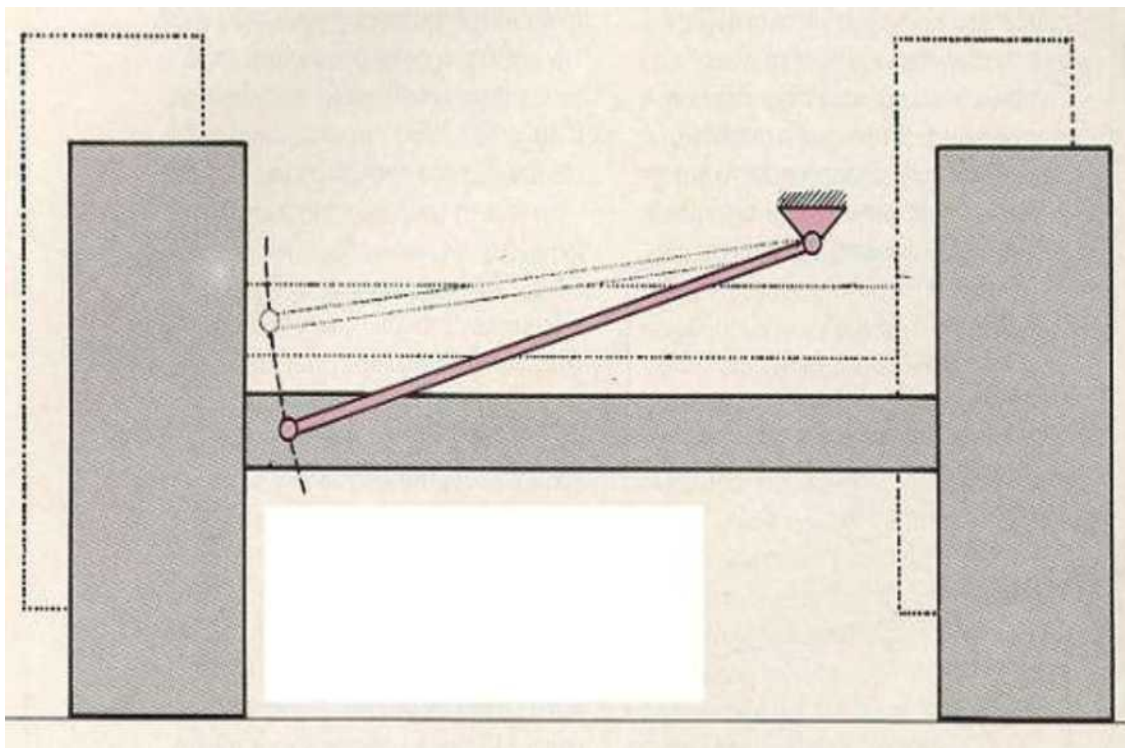
Εικόνα 3.2.1 Σύνδεσμος Βατ.



Εικόνα 3.2.2: Γεννήτρια ευθύγραμμης όδευσης (σύνδεσμος Βατ)
 α. Εφαρμογή σε εγκάρσια στήριξη άκαμπτου άξονα (Αλφέτα) β. Εφαρμογή σε διαμήκη στήριξη άκαμπτου άξονα (Σάαμπ 900) γ. Σχηματική παράσταση του μηχανισμού: παρατηρούμε ότι η-
 σχεδόν- ευθύγραμμη όδευση πραγματοποιείται σε ορισμένο μόνο διάστημα της συνολικής κίνησης.



Εικόνα 3.2.3 Μια από τις δημοφιλέστερες (και φθηνότερες...) διατάξεις εγκάρσιας στήριξης ενός άκαμπτου άξονα είναι η ράβδος Πανάρ. α. Εφαρμογή στο Σάαμπ 900



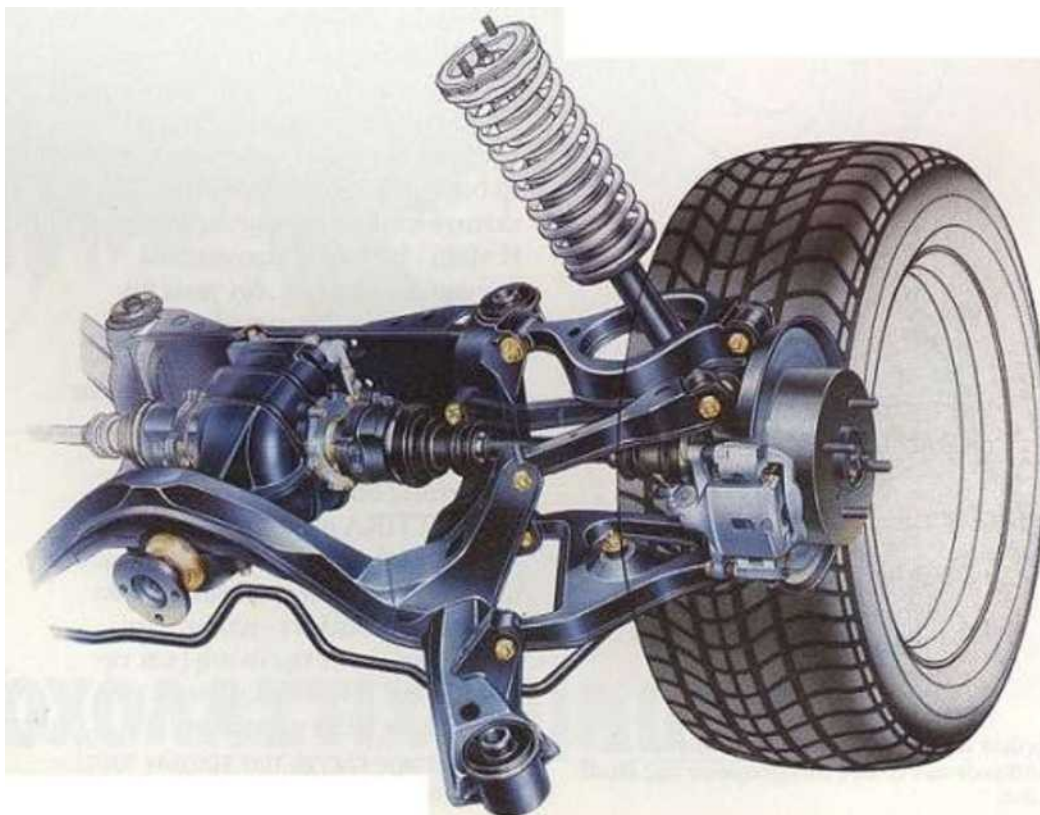
Εικόνα 3.2.4 Παρατηρούμε ότι η κίνηση της Πανάρ επιβάλλει μια πλευρική μετατόπιση των τροχών, τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερο το μήκος της ράβδου και όσο μεγαλύτερη η κλίση της ως προς τον άξονα.

3.3 Ανάρτηση πολλαπλών συνδέσμων («Multi-link suspension»)

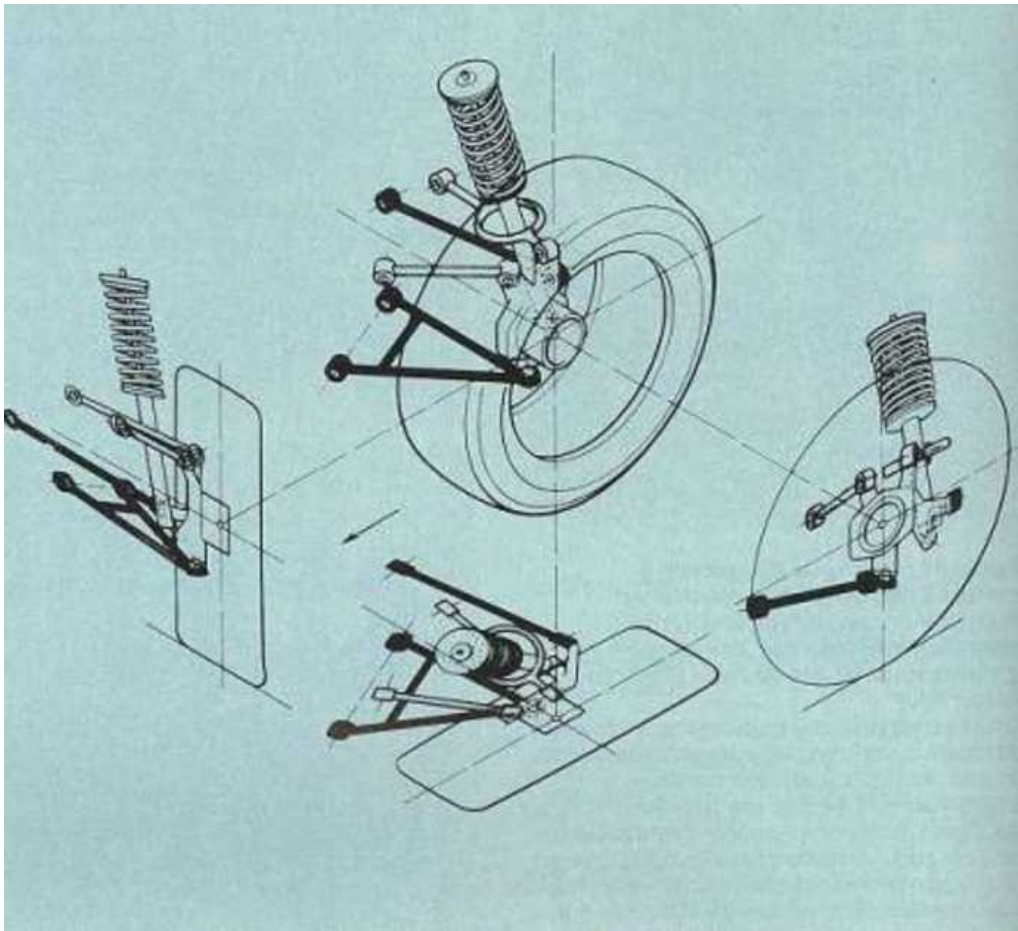
Η ανάρτηση πολλαπλών συνδέσμων μοιάζει με μία ανάρτηση με διπλά ψαλίδια, όπου το καθένα απ' αυτά έχει χωριστεί σε δύο βραχίονες (συνολικά τέσσερις) και μερικές φορές προστίθεται και ένας πέμπτος. Ο κάθε βραχίονας είναι υπεύθυνος για μια συγκεκριμένη παράμετρο της θέσης και της κινησιολογίας του τροχού, όπως είναι η μεταβολή της γωνίας κάμπερ, η διαμήκης σταθερότητα και η εγκάρσια τοποθέτηση.

Η εγκάρσια τοποθέτηση του κέντρου του τροχού, δηλαδή η απόστασή του από τον διαμήκη άξονα του αυτοκινήτου, δεν είναι σταθερή και αμετάβλητη, γιατί αν ένας τροχός μεταβάλει τη γωνία κάμπερ και διατηρεί το κέντρο του σταθερό ως προς το αυτοκίνητο, τότε τα πέλατα των δύο απέναντι τροχών θα πλησιάζουν ή θα απομακρύνονται, πράγμα που δεν πρέπει να είναι και τόσο ευχάριστο για τα ελαστικά. Οι βραχίονες ενός τέτοιου μηχανισμού, πρέπει να μπορούν να συνεργάζονται για τον ίδιο σκοπό, χωρίς όμως ο ένας να παρεμποδίζει τη δουλειά του άλλου, και να βρίσκονται και σε τέτοιες θέσεις και σχήμα, που

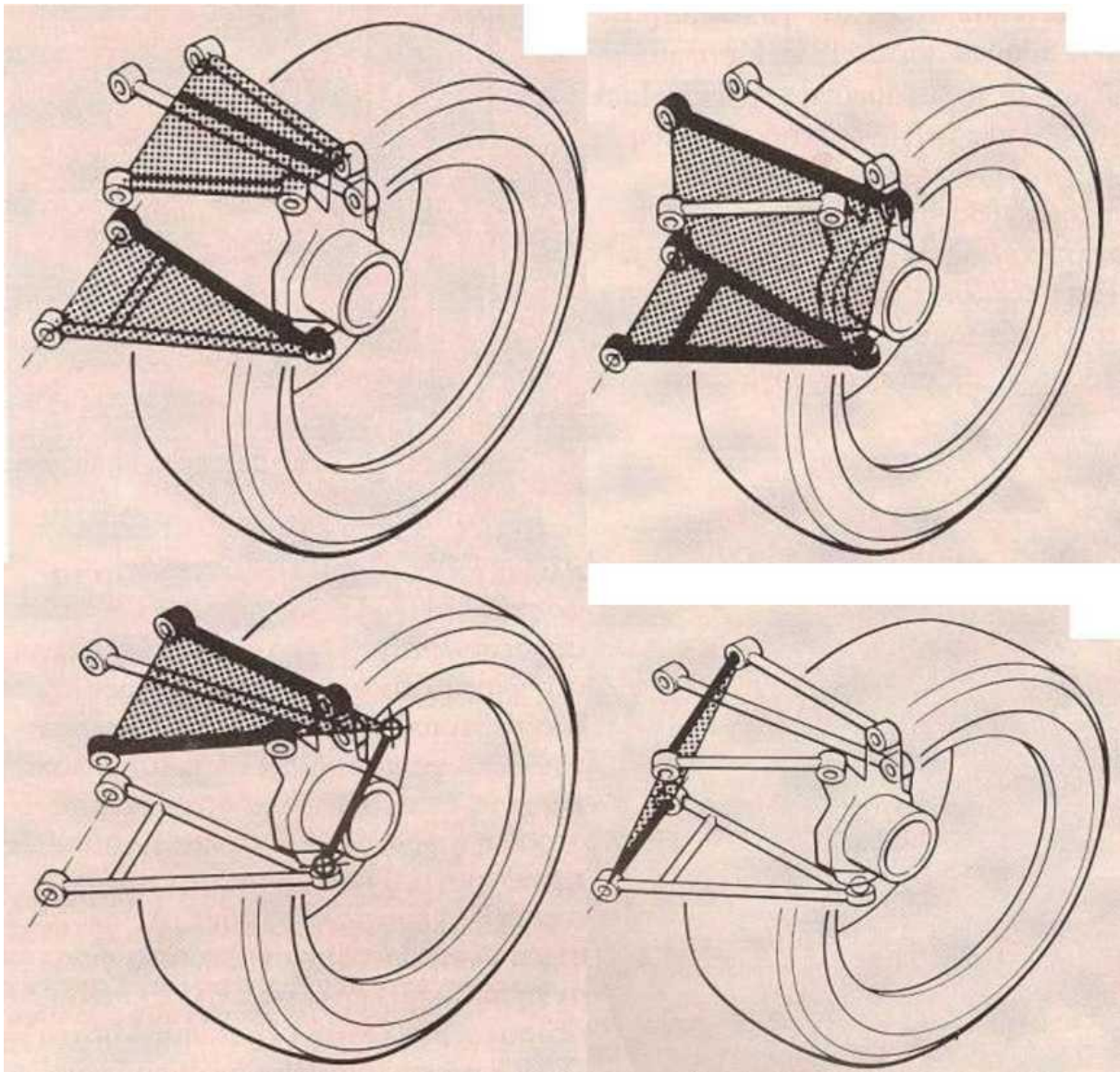
να αφήνουν χώρο στο σχεδιαστή για την τοποθέτηση άλλων εξαρτημάτων του αυτοκινήτου.



Εικόνα 3.3.1: Η Multi-Link της Νισάν.



Εικόνα 3.3.2: Προβολή της Multi-Link στα τρία κάθετα επίπεδα.



Εικόνα 3.3.3 Επιμερισμός λειτουργιών και καθηκόντων στους συνδέσμους της Multi-link

Και οι τρεις μαζί, ανά δύο, «σχηματίζουν» άνω ψαλίδια επακριβώς υπολογισμένα: μέσα από την παραμόρφωση των σάιλεντ - μπλοκς λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιούνται οι μετατοπίσεις του πέλματος όταν η ανάρτηση δημιουργεί τις επιθυμητές μεταβολές κάμπερ κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της.

Από τους τρεις αυτούς συνδέσμους, οι δύο ακραίοι, σε συνδυασμό με το κάτω ψαλίδι, σχηματίζουν ένα νοητό βασικό πείρο γύρω από τον οποίο μπορεί να περιστραφεί ο τροχός στην περίπτωση που θα ασκηθούν πλευρικά φορτία. Τα πλευρικά αυτά φορτία διαχειρίζεται ο κεντρικός σύνδεσμος ο οποίος επενεργεί στο φανταστικό ακρόμπαρο ενός... φανταστικού τιμονιού(!) και δουλειά του είναι να προσδίδει σύγκλιση στους τροχούς όταν το αυτοκίνητο είναι σε στροφή ή φρενάρισμα (ή και τα δύο, ταυτόχρονα.) αυξάνοντας έτσι την ευστάθεια

του πίσω μέρους. Παρατηρώντας τέλος την ανάρτηση από το πλάι, παρατηρούμε ότι από τις προβολές της συνδεσμολογίας στο κάθετο διαμήκες επίπεδο σχηματίζεται ένας (και όχι μόνο ένας, στην ουσία...) μηχανισμός τεσσάρων αρθρωτών ράβδων που επενεργώντας «εξαρθρωτικά» στα ελαστικά παρεμβύσματα, προσομοιώνει δύο ιδανικούς αλλά φανταστικούς υστερούντες άξονες μεταβλητού μήκους και κέντρου περιστροφής που, αν υπήρχαν, θα φρόντιζαν το αυτοκίνητο να διατηρείται οριζόντιο στις επιταχύνσεις και τα φρεναρίσματα.

4. Δονήσεις Οχημάτων

4.1 Πότε έχουμε πρόβλημα δόνησης;

Είναι χαρακτηριστικό ότι όταν οι μηχανές δεν παρακολουθούνται από πλευράς δονήσεων τα εμφανή αποτελέσματα συνήθως δεν είναι καθόλου ευχάριστα και πολλές φορές γίνονται εμφανή και με απλή εποπτεία της μηχανής. Έτσι παραθέτουμε μία λίστα με κάποια στοιχεία υπερβολής, που σκιαγραφεί όμως τα πιθανά αποτελέσματα της των δονήσεων.

- Όταν βρίσκουμε στοιχεία της μηχανής ξεβιδωμένα ή και πεσμένα στο πάτωμα.
- Όταν η μηχανή δείχνει να έχει τάση κίνησης, είναι σαφές ότι το πρόβλημα των δονήσεων έχει ξεπεράσει κατά πολύ τα όρια.
- Όταν ο ήχος που παράγει η μηχανή, είναι υπερβολικός, και γίνεται δύσκολο να τον ανεχτεί κανείς για πάνω από 10 λεπτά. Όλα τα προβλήματα αυξημένου ήχου έχουν να κάνουν με μηχανικές ταλαντώσεις.
- Όταν κάποια συγκεκριμένα εξαρτήματα της μηχανής, χρειάζονται αλλαγή πολύ συχνά σε σχέση με το φυσιολογικό. Όταν τα προϊόντα μίας παραγωγικής μηχανής, βγαίνουν εκτός προδιαγραφών.
- Όταν εμφανίζονται ρωγμές σε οποιοδήποτε τμήμα της μηχανής.
- Όταν η μηχανή έχει περιορισμένη διάρκεια ζωής σε σχέση με το αναμενόμενο, για το δεδομένο φορτίο.

Η διάρκεια ζωής εξαρτάται από τη σχεδίαση της, δηλαδή για πόσες ώρες λειτουργίας έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί ικανοποιητικά για δεδομένο φορτίο, το επιβαλλόμενο φορτίο, τον τρόπο συντήρησης (ιδιαίτερα λίπανση) και τον τρόπο χρήσης. Οι τυπικές περιστρεφόμενες μηχανές, όπως πτερωτές, αντλίες και κινητήρες έχουν συνήθως διάρκεια ζωής αρκετά μεγάλη, 10 έως 20 χρόνια. Μερικές φορές υπερβαίνουν και τα 30. Αν κάποια μηχανή δεν φτάνει το λιγότερο 10 χρόνια λειτουργίας και αυτό δεν οφείλεται σε κακομεταχείριση, ούτε σε υπερβολικό φορτίο, ούτε σε ανεπαρκή λίπανση, τότε μόνο δύο πιθανές αιτίες απομένουν: υπερβολικές ταλαντώσεις, ή σχεδιαστικό σφάλμα. Στα παρακάτω θα δούμε πότε πρέπει να αποδώσουμε την βλάβη σε κακό σχεδιασμό δίνοντας μία μελέτη περίπτωσης.

Το αμερικάνικο πολεμικό ναυτικό φρόντισε να σχεδιάσει ηλεκτρικούς κινητήρες με πολύ χαμηλά επίπεδα δόνησης, άρα και θορύβου, με σκοπό την αθόρυβη κατά το δυνατόν λειτουργία των υποβρυχίων. Η τεχνολογία αυτή είχε ως αποτέλεσμα την αθόρυβη και ομαλή λειτουργία των κινητήρων, ο οποίοι ξεπερνούσαν κατά πολύ την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής τους.

Η διάρκεια ζωής μπορεί να προβλεφθεί από το επίπεδο των δονήσεων. Αυτό γίνεται τακτικά στα προγράμματα της προβλεπτικής συντήρησης, χρησιμοποιώντας δεδομένα δονήσεων. Το επίπεδο των δονήσεων εξαρτάται από τη συνολική ενέργεια εισόδου της μηχανής. Μέρος της εισερχόμενης ενέργειας μετατρέπεται σε δονήσεις και θόρυβο. Αυτό συμβαίνει λόγω των επιφανειών τριβής των στοιχείων μηχανής, όπως τα έδρανα, οι οδοντωτοί τροχοί, οι σύνδεσμοι και άλλα. Μια μεγάλη μηχανή με μεγάλη ενέργεια εισόδου, θα έχει μεγαλύτερο επίπεδο δονήσεων από μία μικρότερη. Υπάρχουν διεθνή πρότυπα που τυποποιούν το επίπεδο των δονήσεων σε σχέση με το μέγεθος της μηχανής, καθώς είναι αδύνατο να πετύχουμε πολύ χαμηλά επίπεδα δόνησης από μία μεγάλη μηχανή.

Άλλος παράγοντας που επηρεάζει το επίπεδο των δονήσεων και γίνεται αισθητός ακόμη και από την όψη της μηχανής, είναι η στιβαρότητα της. Μεγαλύτερες μηχανές συνήθως εδράζονται με στέρεο και αποτελεσματικό τρόπο. Μια μεγάλη ταλαντωτική δύναμη που δημιουργείται στο ρότορα, θα μπορούσε να προκαλέσει ζημιά στα έδρανα, αλλά δεν είναι επιθυμητό να μεταφερθεί και σε μεγάλο βαθμό σε όλο το σώμα της μηχανής, έτσι χρησιμοποιούνται εδράσεις με μεγάλη αδράνεια. Από την άλλη μεριά ένας μικρός, έστω μισού ίππου κινητήρας, δεν πρόκειται ποτέ να επιφέρει τόσο εκτεταμένες βλάβες λόγω της μικρής αναρτώμενης μάζας. Έτσι πρέπει να γίνει σαφές, ότι μία μέτρηση δόνησης σε ένα συγκεκριμένο σημείο, αποτελεί συνδυασμό της πηγής και του δρόμου μέχρι το σημείο μέτρησης.

4.2 Από πού προέρχονται οι δονήσεις σε ένα όχημα;

Η πηγή όλης της δόνησης των μηχανών προέρχεται, κυρίως, τόσο από τον κακό σχεδιασμό των εξαρτημάτων, όσο και από την κακή κατασκευή τους. Με άλλα λόγια, οι ατέλειες είναι οι πηγές δόνησης. Μια τέλεια μηχανή δεν θα παρήγαγε καμία δόνηση κατά τη λειτουργία της.

Κάθε πρόβλημα δόνησης (και θορύβου) είναι πρώτα ένα πρόβλημα στον προσδιορισμό και τον εντοπισμό της πηγής. Ο προσδιορισμός της πηγής σημαίνει την εύρεση μιας συχνότητας η οποία δημιουργείται από μια συγκεκριμένη βλάβη, που τελικά θα μας οδηγήσει στην πηγή της. Το μέγεθος της δόνησης σε αυτή τη συχνότητα μετριέται με κατάλληλα όργανα, και αναλύεται από αναλυτές, οι οποίοι θα μας καθορίσουν το μέγεθος της βλάβης. Αυτό ακούγεται αρχικά αρκετά απλό. Η δυσκολία όμως έγκειται στην περίπτωση που μια βλάβη προκαλείται από κάποιο εξάρτημα, που όμοιο του μπορεί να υπάρχει περισσότερες από μια φορές στη μηχανή. Στην περίπτωση αυτή, δεν αρκεί να εντοπίσουμε τη συχνότητα η οποία μας οδηγεί στη βλάβη αυτή, αλλά πρέπει να εξακριβώσουμε την ακριβή θέση που υπάρχει

αυτό το εξάρτημα. Στο σημείο αυτό έγκειται η δυσκολία του προβλήματος, καθώς θα απαιτηθεί σειρά μετρήσεων ώστε να ταυτοποιηθεί το συγκεκριμένο εξάρτημα που προκαλεί τον κραδασμό. Παρακάτω, θα αναπτυχθούν οι βασικότερες βλάβες των μηχανών που προκαλούν κραδασμό και θόρυβο. Ο δρόμος, εισάγει κατά κάποιο τρόπο σύνθετη αντίσταση λόγω της μάζας που πρέπει να κινηθεί και την ακαμψία.

Αυτές οι σκέψεις σε σχέση με το μέγεθος της μηχανής και την ακαμψία της μας οδηγούν στο ότι είναι απαραίτητο σε κάθε ανάλυση των δονήσεων να εξετάζουμε ιδιαίτερος το πλάτος, από όπου θα εξάγεται η σοβαρότητα της βλάβης, καθώς αυτό είναι μέτρο για την ενέργεια του κραδασμού. Επιπλέον η συχνότητα είναι παράγοντας που εξαρτάται από το συγκεκριμένο, μετρούμενο στοιχείο μηχανής. Τίθεται έτσι η αναγκαιότητα να γνωρίζει ο αναλυτής τον τρόπο που εμφανίζονται οι βλάβες στα φάσματα, και να γνωρίζει πότε τα διεγερμένα πλάτη υποδηλώνουν βλάβη και πότε είναι φυσιολογικά για την εκάστοτε μηχανή. Για παράδειγμα ψηλά πλάτη σε υψηλές συχνότητες, είναι συνήθως φυσιολογικά για μηχανές που διαχειρίζονται υγρά, ή υψηλά πλάτη σε πολύ χαμηλές συχνότητες (για παράδειγμα 20Hz), συνήθως δεν λαμβάνονται καν υπόψη.

Συνοψίζοντας θα μπορούσαμε να διατυπώσουμε ότι η συχνότητα εμφάνισης της βλάβης αποτελεί για μας στοιχείο ταυτοποίησης για την πηγή της δόνησης και το πλάτος του παλμού μέτρο της οξύτητας της βλάβης.

Η μελέτη αυτών των παραγόντων, μεγέθους μηχανής, αναρτώμενης μάζας, ακαμψίας της έδρασης, πλάτους και συχνότητων, είναι η βάση για τον αναλυτή.

Τέλος, στα οχήματα οι δονήσεις μπορεί να προέρχονται:

- Από τη μη ομαλότητα του οδοστρώματος
- Στον άνεμο που βρίσκει αντίσταση στο σώμα του οχήματος
- Σε κακό σχεδιασμό του οχήματος
- Σε ένα ελαττωματικό εξάρτημα
- Σε λανθάνουσα σχεδίαση ενός εξαρτήματος
- Στη λειτουργία του κινητήρα του οχήματος
- Από την οδική συμπεριφορά του οχήματος και τέλος
- Από αζυγοσταθμία¹ που είναι η πιο κοινή αιτία δόνησης και η ευκολότερη στο να εντοπιστεί. ο Από την οδήγηση ή το οδηγικό στυλ του εκάστοτε οδηγού.

4.3 Τι προκαλεί ένα αυτοκίνητο να δονείται σε κατάσταση αναμονής;

Αν οι βάσεις του κινητήρα φθαρεί, ή ο κινητήρας δεν βρίσκεται στο ρελαντί έχοντας την

κατάλληλη ρύθμιση, η οποία μπορεί να προκαλέσει κραδασμούς στις στροφές ρελαντί.

Επίσης ένας παράγοντας που συνεισφέρει στο να δονείται ένα όχημα είναι όταν οι αποσβεστήρες (αμορτισέρ) και τα ελατήρια να έχουν φθαρεί.

Η ομαλότητα του ρελαντί σε ένα όχημα εξαρτάται από διάφορες πτυχές όπως: πρώτον, είναι πολύ σημαντικό οι παλμοί του ρεύματος που προέρχονται από κάθε κύλινδρο να είναι κατά το δυνατόν ίσοι και να παράγονται κατά ίσα διαστήματα. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε χαλασμένο σπινθηριστή (μπουζί), σε φθαρμένα καλώδια ή ακόμη και σε ένα ελαττωματικό κάλυμμα διανομέα και ρότορα. Ο κακός χρονισμός είναι ένα θέμα στο οποίο μπορεί να οφείλονται δονήσεις. Ωστόσο όχι μόνο η ανάφλεξη και το σύστημα αυτής μπορούν να επιφέρουν δονήσεις κατά τη λειτουργία του κινητήρα, αλλά και το σύστημα εισαγωγής κ.ο.κ. Γενικότερα ένας κακοσυντηρημένος κινητήρας επιφέρει μια μη ομαλή λειτουργία και συνεπώς μεταφέρει δονήσεις σε όλο το όχημα..

Τώρα, σε ένα οκτακύλινδρο κινητήρα, μπορεί να επιτευχθεί σχεδόν η αρμονικότερη λειτουργία σε σχέση με ένα δκύλινδρο και ένα 4κύλινδρο κινητήρα. Στους νεότερους δκύλινδρους κινητήρες, η ποιότητα του ρελαντί και συνάμα τη μεταφορά των δονήσεων που προκύπτουν από νεκρούς χρόνους (δηλ ο χρόνος που υπάρχει ενδιάμεσα σε δύο αναφλέξεις), μπορεί να βελτιστοποιηθεί χάριν των βάσεων της μηχανής οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να φιλτράρουν τους μη σταθερούς παλμούς που δημιουργούνται στο διάστημα των νεκρών χρόνων ανάφλεξης.

Εν ολίγοις, η συχνότητα απόκρισης των μηχανικών συστημάτων, όπως των οχημάτων, διέπεται από τις ιδιοσυχνότητες του συστήματος και από τις συχνότητες διέγερσης. Το εύρος της δόνησης αυξάνεται όταν μια συχνότητα διέγερσης προσεγγίζει μία από τις ιδιοσυχνότητες του συστήματος. Τα πεδία συχνοτήτων που βρίσκονται κοντά στις ιδιοσυχνότητες, ονομάζονται η ζώνη συντονισμού. Το εύρος της δόνησης στις περιοχές συντονισμού μπορεί να περιοριστεί εισάγοντας αποσβεστήρες.

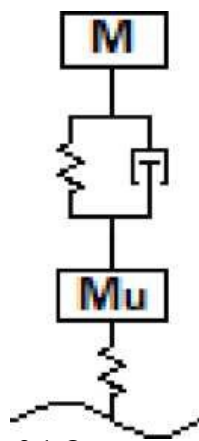
Ένας βαθμός ελευθερίας, σημαίνει αρμονικά διεγερμένα συστήματα που μπορούν να ταξινομηθούν ως βασικές διεγέρσεις², εκκεντρικές διεγέρσεις και δυναμικές διεγέρσεις. Κάθε συχνότητα που ανταποκρίνεται σε αυτά τα συστήματα μπορούν να εκφραστούν από κάποιες συναρτήσεις, όπου η καθεμία έχει ειδικά χαρακτηριστικά. Χρησιμοποιούνται συνήθως γραφικές παραστάσεις ώστε να δούμε την απόκριση συχνότητας του συστήματος ως συνάρτηση του λόγου της συχνότητας $r = \omega/\omega_n$ και λόγου απόσβεσης $\zeta = c/rf4^{km10}$.

5. Μοντελοποίηση διάταξης

Μοντέλα οχημάτων

Τα οχήματα είναι συστήματα πολλών βαθμών ελευθερίας. Η άνεση των επιβατών εξαρτάται από τις ταλαντώσεις που δέχεται το όχημα, οι οποίες είναι άμεσα συνδεδεμένες με τις ιδιοσυχνότητες του οχήματος.

5.1.1 Quarter car model



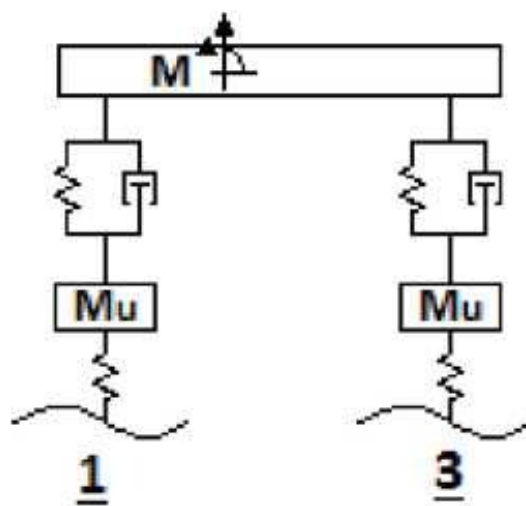
Σχήμα 2.1 Quarter car model

Για την βελτιστοποίηση ενός συστήματος ανάρτησης ως προς τις κατακόρυφες ταλαντώσεις του οχήματος αναλύουμε το σύστημα με ένα μοντέλο Quarter car. Το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει την μάζα του οχήματος διαιρεμένη με τον αριθμό τέσσερα, συνδεδεμένη με την μη αναρτώμενη μάζα με χρήση ελατηρίου και αποσβεστήρα. Η μη αναρτώμενη μάζα συνδέεται με χρήση απλού ελατηρίου με το έδαφος. Το σύστημα αυτό είναι δυο βαθμών ελευθερίας και μας επιτρέπει να αναλύσουμε την επίδραση των κατακόρυφων επιταχύνσεων

στο όχημα.

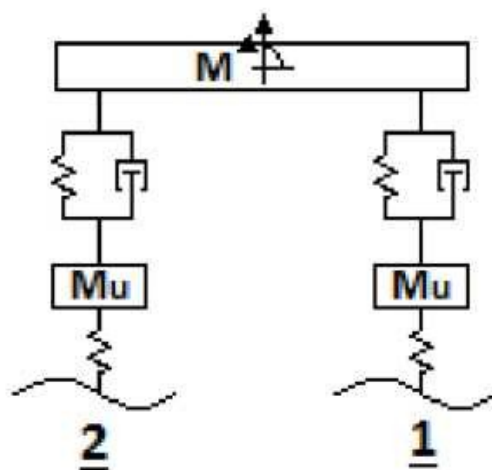
5.1.2 Half car model

Με χρήση Quarter car model είναι ανέφικτο να μελετηθεί η επίδραση των επιταχύνσεων στον διαμήκη και τον εγκάρσιο άξονα, καθώς και των κλίσεων που επιφέρουν. Η περιστροφή του σώματος περί τον εγκάρσιο άξονα μελετάται με μοντέλο ποδήλατου, δηλαδή με χρήση της μιας μόνο πλευράς του οχήματος. Το σύστημα αυτό αποτελείται από την μισή μάζα του οχήματος συνδεδεμένης μέσω ελατηρίων και αποσβεστήρων με τις αναρτώμενες μάζες ενός τροχού από κάθε άξονα, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με το έδαφος με ελατήριο.



Σχήμα 2.1.2 Bicycle model

Έκτος από το μοντέλο ποδήλατου χρησιμοποιείται επίσης μοντέλο του μισού οχήματος με τους τροχούς του ίδιου άξονα. Με αυτό το μοντέλο μπορούμε να προσδιορίσουμε τις κλίσεις του οχήματος περί τον διαμήκη άξονα του. Αυτό το μοντέλο αποτελείται από την μισή μάζα του οχήματος συνδεδεμένης με τις μη αναρτώμενες μάζες στους τροχούς του ίδιου άξονα μέσω ελατηρίων και αποσβεστήρων, ενώ οι μη αναρτώμενες μάζες συνδέονται με το οδόστρωμα με χρήση ελατηρίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1.3. Με αυτό το σύστημα παρατηρείται και η επίδραση αντιστρεπτικής ράβδου στο όχημα.

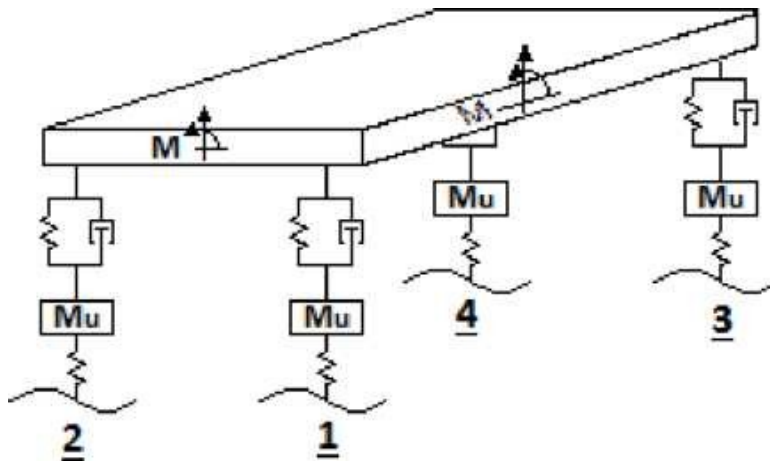


Σχήμα 2.1.3 Half car model

Τα δυο παραπάνω συστήματα είναι 4^{ων} βαθμών ελευθερίας, αφού αποτελούνται από την διάφορα ύψους του κέντρου μάζας του οχήματος και των εξεταζόμενων μη αναρτώμενων μαζών καθώς και την μεταβολή τις κλίσης του οχήματος.

5.1.3 Μοντέλο αυτοκινήτου

Για να προσημειωθεί με ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια η συμπεριφορά του οχήματος χρησιμοποιείται μοντέλο που περιγράφει ολόκληρο το όχημα. Αυτό αποτελείται από ολόκληρη την μάζα του οχήματος, συνδεδεμένη μέσω ελατηρίων και αποσβεστήρων με τις μη αναρτώμενες μάζες, οι οποίες συνδέονται μέσω ελατηρίου στο οδόστρωμα. Αυτό το μοντέλο περιλαμβάνει τις μεταβολές στις γωνίες περί τον διαμήκη και εγκάρσιο άξονα καθώς και των υψών του κέντρου μάζας και των μη αναρτώμενων μαζών, οπότε είναι σύστημα 7 βαθμών ελευθερίας. Οι επιπλέον δυνατότητες που προσφέρει αυτό το μοντέλο είναι η μελέτη διαφορετικών διεγέρσεων στην κάθε πλευρά του οχήματος και της ύπαρξης διαφορετικών διατάξεων αναρτώσης στους άξονες.



Σχήμα 5.1 Full car vibrating model

Στα παραπάνω μοντέλα παρουσιάζεται το επίσωτρο σαν απλό ελατήριο χωρίς απόσβεση. Αυτό γίνεται επειδή η απόσβεση που παρουσιάζει το ελαστικό είναι αρκετά μικρότερη από αυτήν του συστήματος ανάρτησης, ενώ ταυτόχρονα το μετρό ελαστικότητας είναι ιδιαίτερα μεγαλύτερο, οπότε η παράβλεψη της απόσβεσης του ελαστικού επιφέρει μικρές αποκλίσεις από την πραγματικότητα.

6. Άκαμπτοι - ημιάκαμπτοι άξονες

6.1. Άξονας Ντε-Ντιόν

Πρόκειται για διάταξη ανάρτησης η οποία έβρισκε εφαρμογή στον πίσω άξονα και ειδικά σε αυτοκίνητα με πίσω κίνηση. Το βασικό της μέρος ήταν ένας άκαμπτος άξονας όπου το διαφορικό μαζί με το κιβώτιο ταχυτήτων είναι συνδεδεμένα σταθερά με το πλαίσιο ενώ οι τροχοί συγκρατούνται μεταξύ τους με έναν μικρού βάρους άξονα. Η κίνηση μεταδίδεται στους τροχούς με ημιαξόνια. Στα παλιότερης τεχνολογίας αυτοκίνητα είχε καθιερωθεί ως μία αποτελεσματική λύση καθώς πρόσφερε καλή γεωμετρία και πάτημα των τροχών στην ασφαλτο. Μέχρι που εμφανίστηκαν τα ανεξάρτητα συστήματα πίσω ανάρτησης όπου και ο άξονας Ντε Ντιόν εγκαταλείφθηκε από τα επιβατικά αυτοκίνητα, υπάρχει όμως στα φορτηγά. Το τελευταίο αυτοκίνητο ευρείας παραγωγής που είχε πίσω ανάρτηση Ντε Ντιόν ήταν η σειρά 75 της Alfa Romeo ενώ σήμερα συνεχίζει να υιοθετείται ανάλογη διάταξη στο smart fortwo.

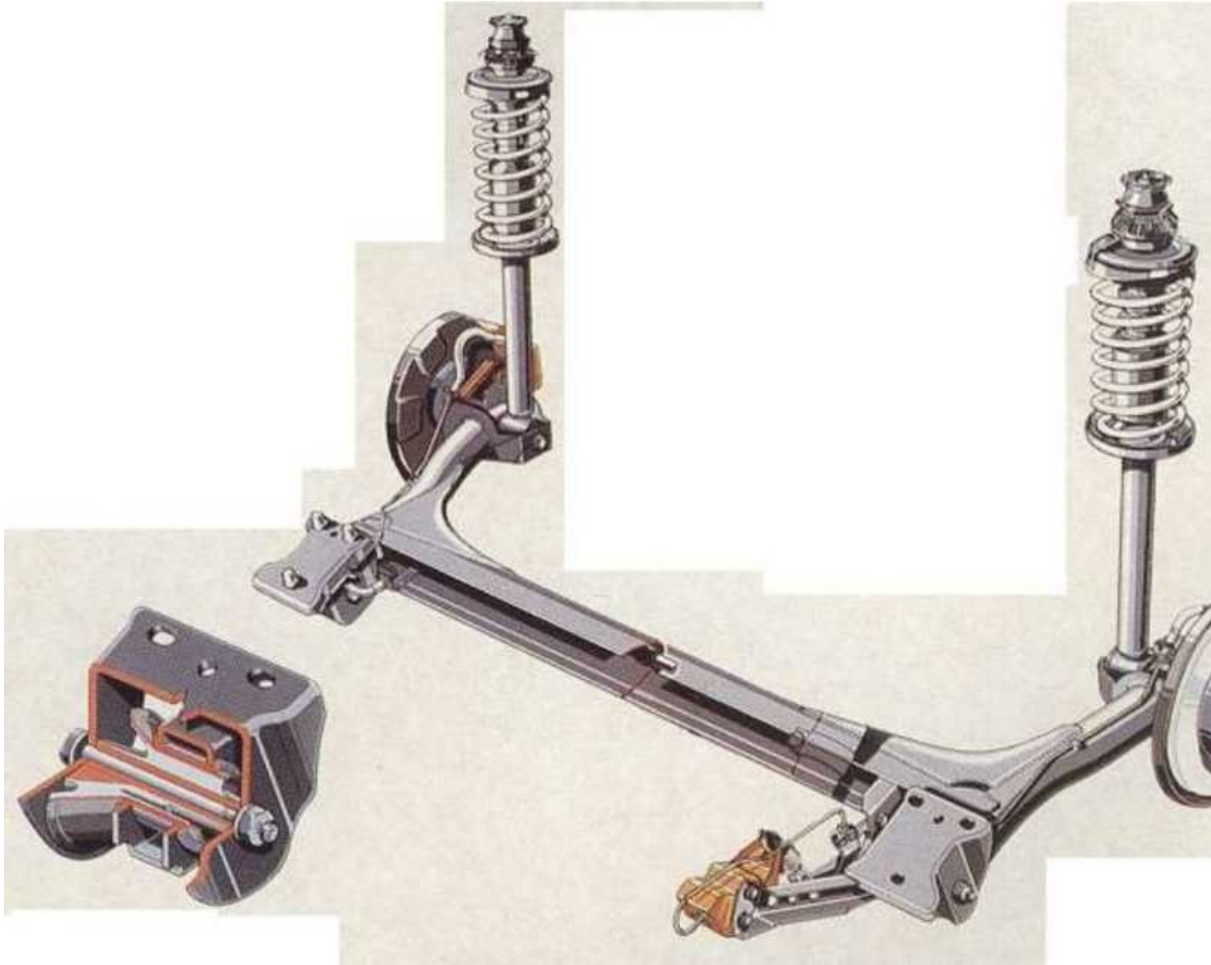


Εικόνα 6.1.1. Άξονας ντε Ντιόν

6.2 Ημιάκαμπτοι άξονες

Μια ενδιαφέρουσα παραλλαγή του άκαμπτου άξονα είναι η «στρεπτική δοκός», γνωστότερη στην ελληνική βιβλιογραφία σαν «ημιάκαμπτος άξονας». Στην περίπτωση αυτή έχουμε δυο υστερούντες βραχίονες συνδεδεμένους στο μέσο, περίπου, του μήκους τους με μια εγκάρσια δοκό αυστηρά υπολογισμένης αντοχής σε στρέψη. Με τον τρόπο αυτό, έχουμε μια ελαφριά ανάρτηση με ροπή αδράνειας παραπλήσια με αυτή των υστερούντων βραχιόνων αλλά με σημαντικά μετριασμένο το πρόβλημα τους: της μεταβολής δηλαδή του κάμπερ ισόποσα με την κλίση του αμαξώματος στις στροφές. Αυτό επιτυγχάνεται με τη στρεπτική αλληλεπίδραση των βραχιόνων εξαιτίας της εγκάρσιας συνδετικής δοκού. Σε αντίθεση με τους υστερούντες βραχίονες, τα φορτία καθενός τροχού δεν επιδρούν αποκλειστικά σε μία άρθρωση βραχίονα και ένα αμορτισέρ αλλά διαμοιράζονται στη στήριξη και των δύο τροχών, επιτρέποντας στην όλη κατασκευή να είναι αισθητά ελαφρύτερη και εξίσου ανθεκτική, ιδιαίτερα στα πλευρικά φορτία. Το κύριο προσόν της βέβαια, είναι η ευκολία

κατασκευής και το αρκετά χαμηλό κόστος της. Μια εξελιγμένη παραλλαγή του ημιάκαμπτου άξονα διαθέτει έκκεντρες αρθρώσεις των βραχιόνων, επιτρέποντας έτσι σε ολόκληρο το «γκρουπ» να στρέφεται ελαφρά δεξιά - αριστερά ανάλογα με την κίνηση της ανάρτησης, βελτιώνοντας έτσι την ευστάθεια του πίσω μέρους του αυτοκινήτου, ιδιαίτερα όταν κινείται στην ευθεία, σε ανώμαλο οδόστρωμα.



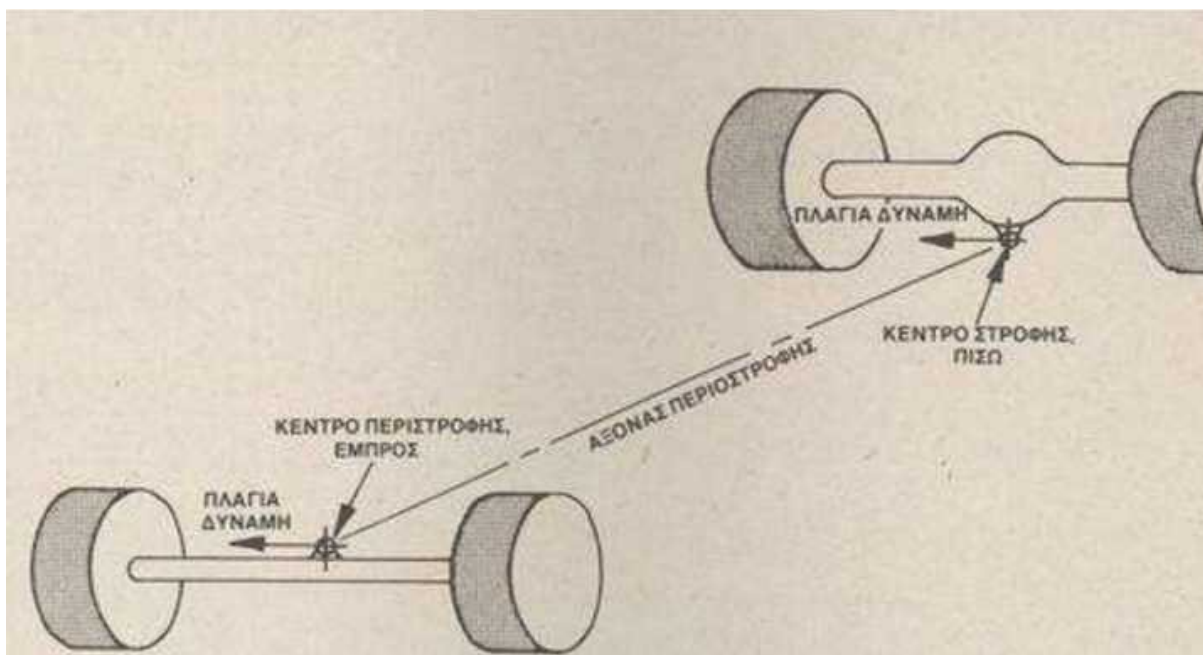
Εικόνα 6.2.2 Ημιάκαμπτος άξονας πίσω τροχών αυτοκινήτου με μπροστινή κίνηση (VW-Κοράντο). Όπως βλέπουμε, αποτελείται από αιωρούμενους βραχίονες συνδεδεμένους μεταξύ τους με ένα - σχετικά εύκαμπτο - εγκάρσιο μέλος. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η καινοτομία έγκειται στις έκκεντρες βάσεις στήριξης των βραχιόνων που «στρέφουν» το σύνολο δεξιά - αριστερά, ανάλογα με το βαθμό συμπίεσης της ανάρτησης καθενός τροχού.

7.Γεωμετρία ανάρτησης

7.1 Κέντρα περιστροφής

Ο συνδυασμός της κακής ανάρτησης, της ανύπαρκτης γεωμετρίας, των μαλακών ελατηρίων και του ύψους του αμαξώματος από το έδαφος, κάνει τ' αυτοκίνητο να γέρνει, συμπιέζοντας τα ελατήρια. Υπεύθυνη για την κλίση, για την περιστροφή του αμαξώματος περί το διαμήκη άξονα είναι βέβαια ή φυγόκεντρη δύναμη. Όσο πιο «μαλακά» είναι τα ελατήρια της ανάρτησης, τόσο πιο πολύ γέρνει το αμάξωμα, μεταβαλλόντας τη γωνία του ως προς το οριζόντιο επίπεδο που ορίζεται από την επιφάνεια του δρόμου.

Όσο περισσότερα γέρνει το αμάξωμα τόσο πιο επικίνδυνη γίνεται η οδήγηση, ιδιαίτερα σε δρόμους που έχουν πολλές και συνεχείς στροφές (S) όπου το αμάξωμα αναγκάζεται να αλλάξει κλίση κάθε 30-50 μέτρα. Υπάρχουν βέβαια αυτοκίνητα με προηγμένες τεχνολογικά και μελετημένες γεωμετρικά αναρτήσεις, που επιτρέπουν στα αμαξώματά τους να γέρνουν χωρίς να επηρεάζεται η ποιότητα του κρατήματος του δρόμου. Αυτό που ενδιαφέρει τον απλό οδηγό είναι όχι τόσο το που βρίσκονται τα Κέντρα Περιστροφής που ορίζουν το διαμήκη άξονα γύρω απ' τον όποιο το αμάξωμα γέρνει (περιστρέφεται, rolls), αλλά το πως οι διάφοροι τύποι ανάρτησης επηρεάζουν τα Κέντρα Περιστροφής, άρα τη θέση του άξονα περιστροφής κι επομένως τις τυχόν κλίσεις του αμαξώματος. Ακόμα αυτό που ενδιαφέρει τον οδηγό είναι πως οι μεγάλες κλίσεις του αμαξώματος επηρεάζουν το κράτημα σε αυτοκίνητα που δε διαθέτουν μελετημένα και σχετικά πολύπλοκα συστήματα ανάρτησης. Οι μεγάλες κλίσεις επηρεάζουν αρνητικά το κράτημα σε αυτοκίνητα με άκαμπτους πίσω άξονες και με πρωτόγονα συστήματα ανάρτησης (σούστες). Καθώς το αμάξωμα γέρνει, «τραβάει» μαζί του και τον εσωτερικό τροχό, ανασηκώνοντας το λάστιχο από το έδαφος και κάνοντάς το να χάσει την επαφή του με το δρόμο! Αν η επιφάνεια είναι στεγνή και ο οδηγός έχει κάποια πείρα, το ακροβατικό τελειώνει χωρίς απρόοπτα. Αν όμως ο δρόμος είναι βρεγμένος ή έχει λάδια ή χώματα και ο οδηγός χρειάζεται την πρόσφυση και από τους δύο τροχούς, τότε τα πράγματα γίνονται δύσκολα.



Εικόνα 7.1.1 : Στο απλό αυτό σχήμα, βλέπουμε ότι η εγκάρσια δύναμη της φηγόκεντρης επενεργεί στο μη φερόμενο βάρος στα σημεία που βρίσκονται τα Κέντρα Περιστροφής. Το αμάξωμα γέρνει σε μια στροφή γύρω από τον άξονα περιστροφής που ορίζεται αν τραβήξουμε μια γραμμή από το ένα Κέντρο Περιστροφής στο άλλο.

Η μεταβολή των γωνιών των τροχών είναι ένα ακόμα ανεπιθύμητο φαινόμενο της υπερβολικής κλίσης του αμαξώματος. Παρουσιάζεται έντονη σε αναρτήσεις πρωτόγονες, αλλά και σε ανεξάρτητες. Καθώς το αμάξωμα γέρνει, οι γωνίες κάμπερ των τροχών μεταβάλλονται σε τέτοιο βαθμό, ώστε, οι πίσω τροχοί π.χ. αρχίζουν να έχουν «γνώμη» για την τροχιά του αυτοκινήτου, που σχεδόν ποτέ δεν συμπίπτει με τη γνώμη, τις επιθυμίες ή τις εντολές του οδηγού! Το αυτοκίνητο αποκτάει έτσι, εκτός από δύο κέντρα περιστροφής, και δύο κέντρα αποφάσεων, με καταστρεπτικά συνήθως αποτελέσματα. Ακόμα ένα ανεπιθύμητο φαινόμενο της μεγάλης κλίσης του αμαξώματος στις στροφές είναι το τερμάτισμα της ανάρτησης. Το αμάξωμα μπορεί — ιδιαίτερα όταν το αυτοκίνητο είναι φορτωμένο — να αναγκάσει τα ελατήρια και τ' αμορτισέρ να τερματίσουν (να φθάσουν στο τέλος της διαδρομής τους) με άσχημα πολλές φορές αποτελέσματα. Ο τροχός μπορεί να πέσει σε μια λακκούβα και χωρίς την ευεργετική συμπαράσταση του ελατηρίου, να διαλύσει τις βάσεις στήριξης της ανάρτησης ή να μετατρέψει βίαια τη γεωμετρία της εμπρός ή της πίσω ανάρτησης και του συστήματος διεύθυνσης.

Τέλος, δεν πρέπει να ξεχάσουμε ότι η μεγάλη κλίση στις στροφές έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγάλη μεταφορά βάρους, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε αλυσωτά φαινόμενα και τέλος στην ανατροπή του αυτοκινήτου.

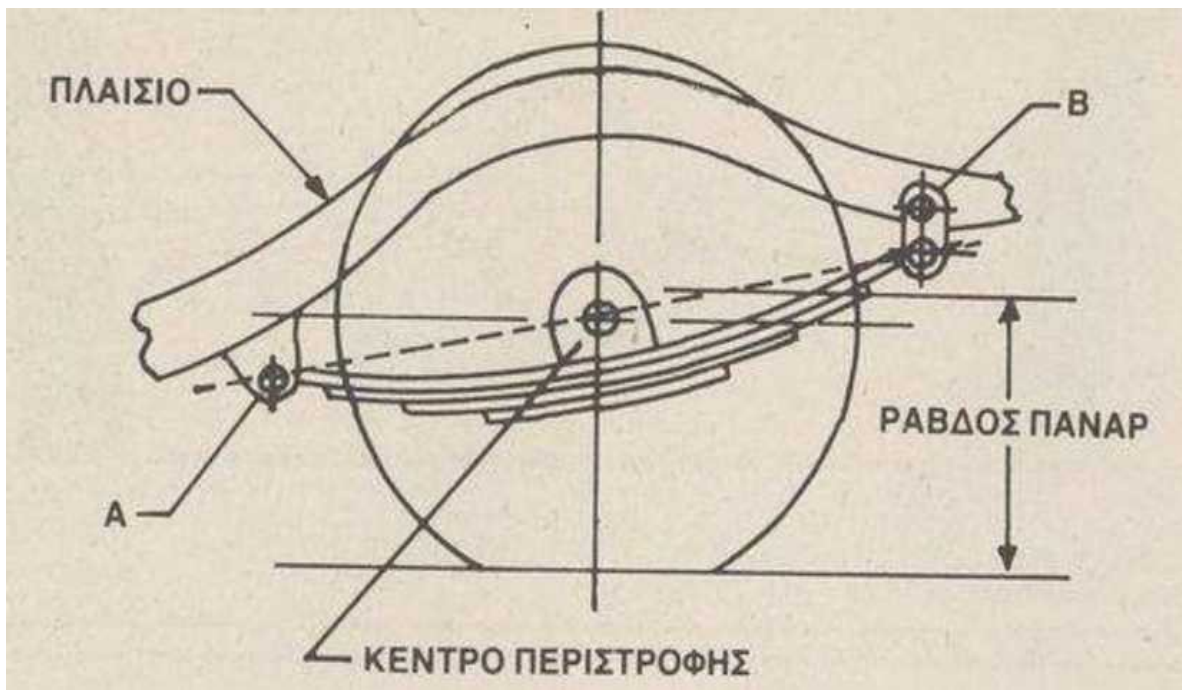
Τα Κέντρα Περιστροφής (ένα για την εμπρός κι ένα για την πίσω ανάρτηση) δεν είναι σημεία υπαρκτά που μπορεί να σκύψει κάποιος και να δει, άλλα σημεία θεωρητικά, γεωμετρικά. Αν τα γνωρίζουμε (στο χαρτί) μπορούμε να τραβήξουμε μια ευθεία απ' το ένα στο άλλο και να έχουμε το Διαμήκη Άξονα περιστροφής. Σε ορισμένα συστήματα ανάρτησης, το Κέντρο Περιστροφής βρίσκεται «επάνω» στην ανάρτηση. Σ' άλλα βρίσκεται σε κάποιο φανταστικό σημείο στο κενό. Στις πιο πολλές περιπτώσεις το σημείο του Κ.Π. βρίσκεται κάπου ανάμεσα στην επιφάνεια του δρόμου και το ύψος του άξονα του τροχού. Η απόσταση του Κ.Π. από το έδαφος, το ύψος του δηλαδή, παίζει αποφασιστικό ρόλο στο κράτημα του δρόμου. Σε αρκετά συστήματα ανάρτησης το ύψος του Κ.Π. μεταβάλλεται καθώς το αμάξωμα γέρνει στις στροφές. Πέρα απ' το ότι είναι το κέντρο γύρω απ' το οποίο γέρνει (κλίνει) το αμάξωμα, το Κ.Π. διαθέτει ένα ακόμα χαρακτηριστικό. Η εγκάρσια δύναμη της φυγόκεντρης «μεταδίδεται» από το φερόμενο στο μη φερόμενο βάρος, μέσω του Κ.Π. θα ήταν πολύ απλό ακόμα και για έναν μη ειδικό να κατανοήσει το προηγούμενο, αν όλοι οι βραχίονες της ανάρτησης ξεκινούσαν από το Κ.Π. Αυτό όμως δεν συμβαίνει. Οι βραχίονες που συγκρατούν τους τροχούς στηρίζονται σε διάφορα σημεία του αμαξώματος ή του υποπλαίσιου, ανάλογα με τον τύπο του αυτοκινήτου. Παρόλη την ποικιλία των σημείων στήριξης όμως, το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι η φυγόκεντρη δύναμη επιβάλλεται πάλι σ' ένα σημείο που βρίσκεται κάπου ανάμεσα στις μάζες του φερόμενου και του μη φερόμενου βάρους.

7.2 Τα Κ.Π. σε διάφορους τύπους αναρτήσεων

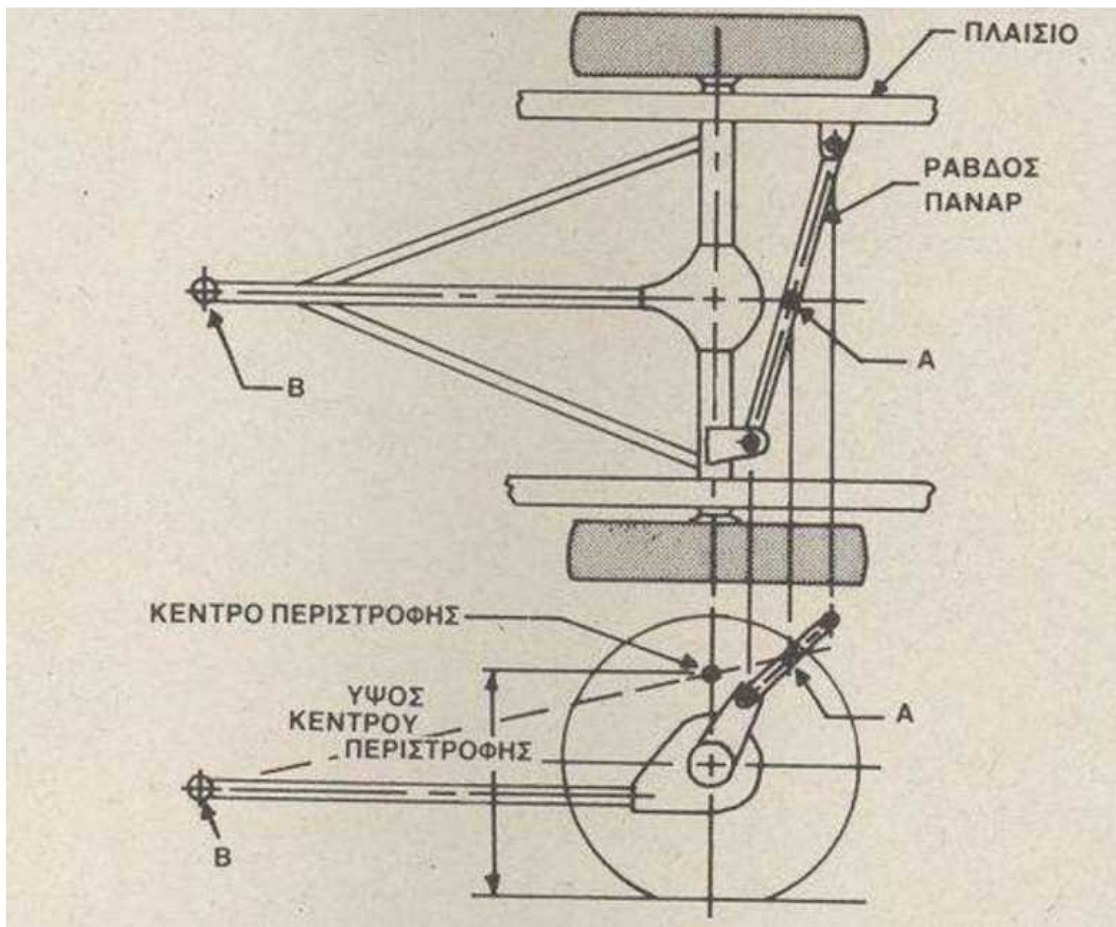
Ας αρχίσουμε από τις πιο απλές αναρτήσεις, αυτές που χρησιμοποιούν τα περίφημα πια ημιελλειπτικά φύλλα σούστας και τον άκαμπτο άξονα. Η θέση του Κ.Π. σ' αυτό το σύστημα εξαρτάται από τον τύπο των βραχιόνων που στηρίζουν τον άκαμπτο άξονα (αν υπάρχουν). Οι βραχίονες αυτοί ορίζουν τη θέση του άκαμπτου άξονα (που πολλοί ονομάζουν γενικά «διαφορικό») και περιορίζουν την κίνηση του εμπρός-πίσω σε σχέση με το πλαίσιο. Οι εικόνες 7.2.1,7.2.2,7.2.3,7.3.3,7.3.4 και 7.2.5 αναφέρονται σε αναρτήσεις με άκαμπτους άξονες. Οι εικόνες 7.3.5, 7.3.6 και 7.3.7 σε ανεξάρτητες αναρτήσεις με «σπαστούς» άξονες. Στις εικόνες το σημείο Α ορίζεται και το σημείο Β βρίσκεται με τον παρακάτω τρόπο: τραβάμε μια γραμμή από το Α στο Β. Το Κ.Π. βρίσκεται εκεί που η ευθεία που χαράξαμε

τέμνει το κάθετο επίπεδο που περνάει απ' το μέσο του άξονα. Η πιο απλή μορφή ανάρτησης άκαμπτου άξονα είναι η Χότσκις, όπου ο άξονας στηρίζεται και ορίζεται από δύο φύλλα σούστας (ημιελλειπτικά ελατήρια). Το Κ.Π. βρίσκεται όπως περιγράφεται στην εικόνα 6.2.1. Αν κανείς τοποθετήσει μια ακόμα ράβδο στήριξης (στην περίπτωση μας μια ράβδο πανάρ) ανάμεσα στον άξονα (διαφορικό) και το πλαίσιο (σασί), τότε σίγουρα θα αλλάξει και το ύψος του Κ.Π. Για να προσφέρει έργο η ράβδος αυτή πρέπει να είναι πιο σκληρή από τα ελατήρια, ώστε να εμποδίζει την εγκάρσια μετατόπιση του άξονα και τη μεταβολή των γωνιών σύγκλισης/απόκλισης των πίσω τροχών που επακολουθεί. Τα ημιελλειπτικά ελατήρια δεν ορίζουν πλέον τη θέση του άκαμπτου άξονα στην εγκάρσια κίνηση, αλλά μόνο στην εμπρός-πίσω.

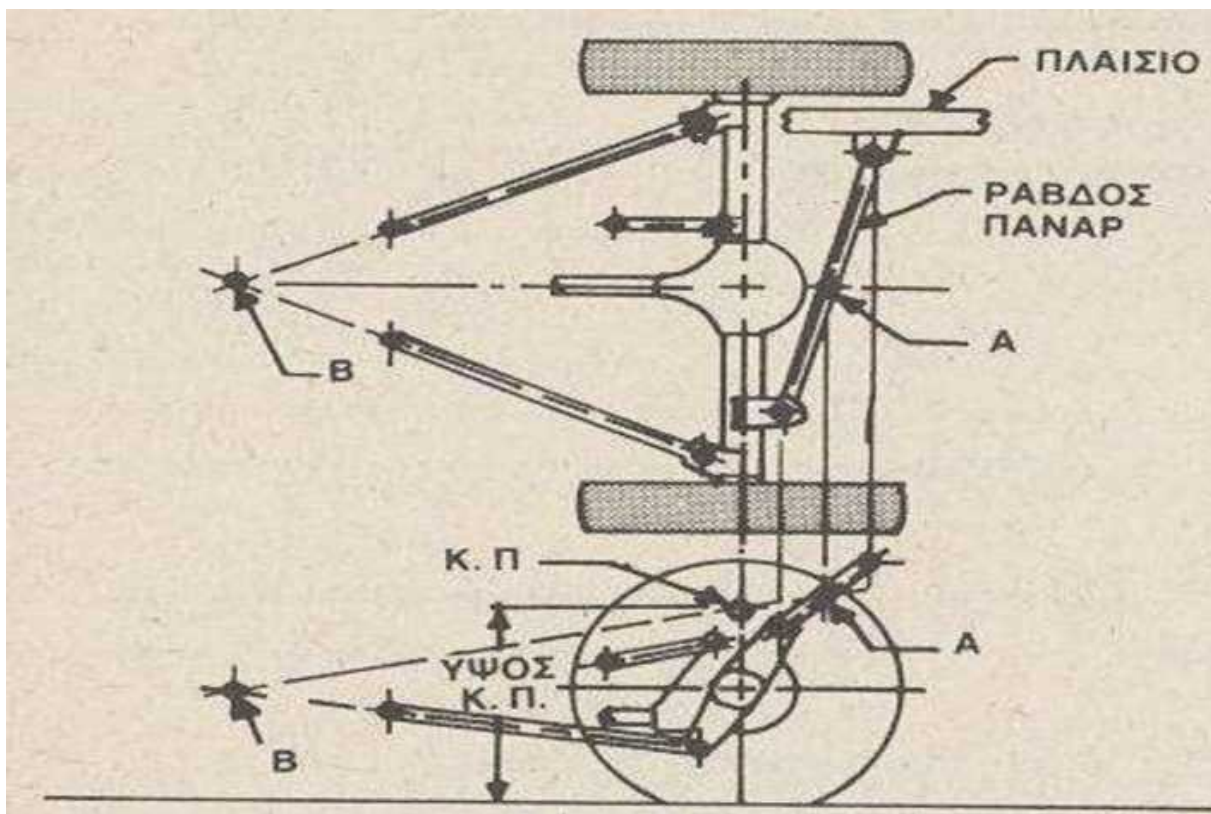
Την ίδια τακτική ακολουθούμε για να βρούμε το Κ.Π. σε μια ανεξάρτητη ανάρτηση. Για να τραβήξουμε τις γραμμές μας πρέπει να αναγνωρίσουμε σημεία που μπορεί να είναι υπαρκτά ή υποθετικά. Εμείς κάναμε τις εικόνες 7.3.5,7.3.6,7.3.7 και προχωρούμε στην περιγραφή τους. Παράλληλα όμως παρακολουθούμε —με τη φαντασία μας— και τις κινήσεις ενός τροχού σε μια ανεξάρτητη ανάρτηση. Ο τροχός κινείται προς τα εμπρός. Κάποια στιγμή συναντά μια ανωμαλία του δρόμου, μια υπερύψωση της ασφάλτου. Ο τροχός και το ημιαξόνιο ανεβαίνουν διαγράφοντας ένα τόξο γύρω απ' ένα σημείο που αποκαλούμε στιγμιαίο κέντρο περιστροφής. Το σημείο αυτό μπορεί να είναι πραγματικό (όπως στην περίπτωση του σχ. 18) ή υποθετικό. Για κάθε στιγμή της κίνησης του τροχού όμως υπάρχει ένα στιγμιαίο κέντρο περιστροφής. Στο παρακάτω σχήμα μπορείτε να δείτε που βρίσκονται τα στιγμιαία κέντρα περιστροφής για μια ανάρτηση (ανεξάρτητη) με διπλά «ψαλίδια».



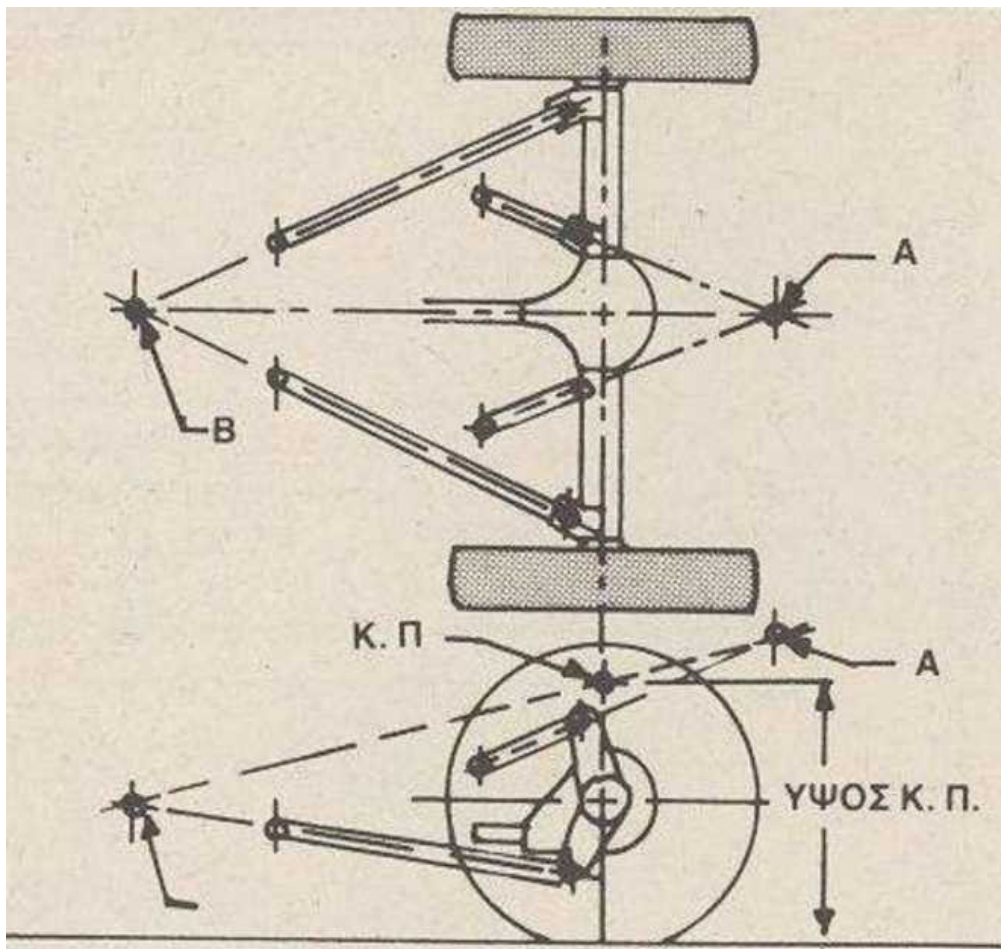
Εικόνα 7.2.1: Αν ο άκαμπτος πίσω άξονας συγκρατείται μόνο από δύο ημιελλειπτικά φύλλα σούστας (ελατήρια) τότε λέμε ότι έχουμε ανάρτηση τύπου Χότσκις (δεν υπάρχει πια παρά μόνο σε τρίκυκλες μοτοσικλέτες). Το Κέντρο Περιστροφής βρίσκεται αν τραβήξουμε μια γραμμή από το σημείο A στο σημείο B, τα σημεία που στηρίζεται το ελατήριο. Το Κ.Π. βρίσκεται στο σημείο όπου η ευθεία τέμνει το κάθετο επίπεδο που περνάει από το κέντρο του διαφορικού. Η ευθεία A-B είναι ο άξονας περιστροφής. Αν στην απλοϊκή αυτή ανάρτηση τοποθετήσουμε μια ράβδο Πανάρ, η θέση του Κ.Π. μεταβάλλεται αυτόματα.



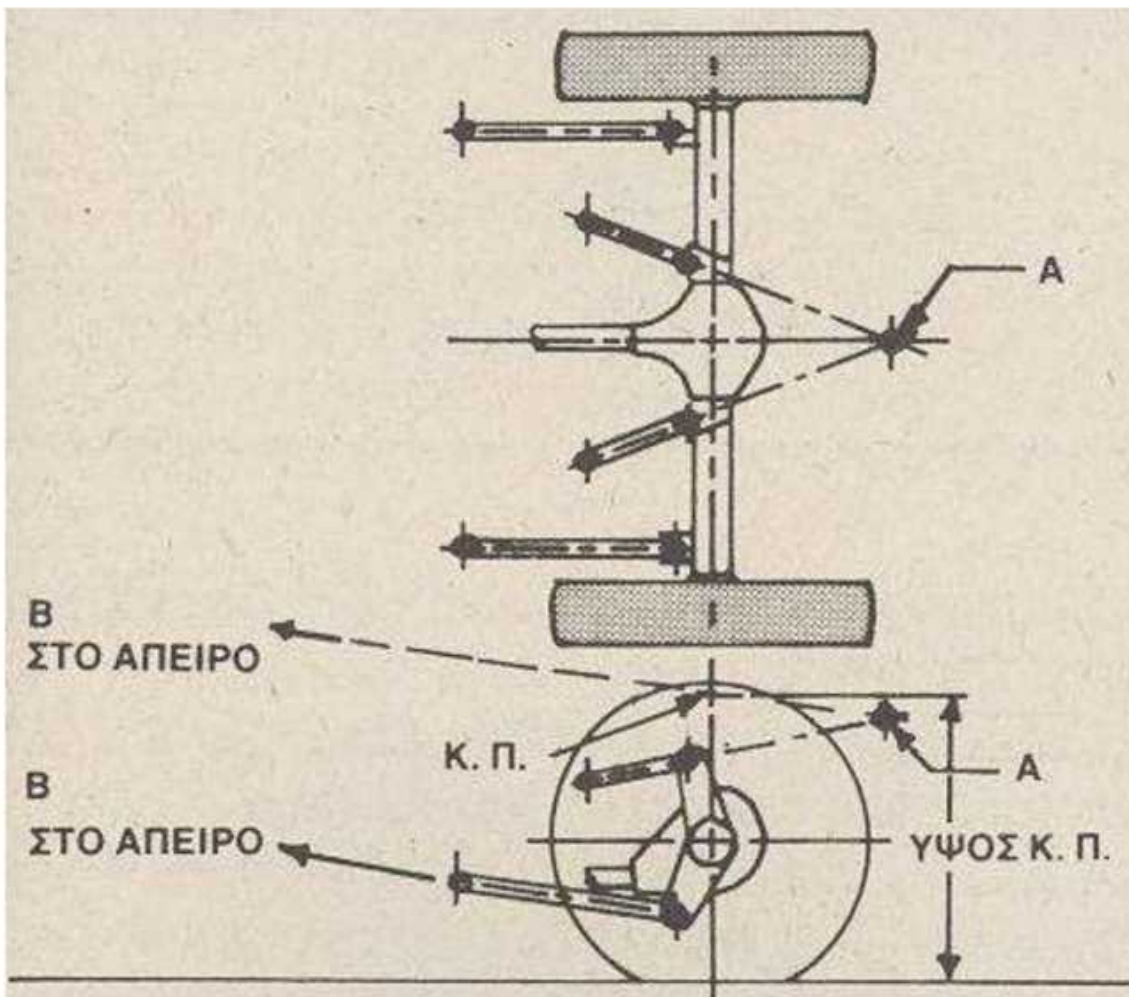
Εικόνα 7.3.2: Σ' ένα σύστημα που χρησιμοποιεί ράβδο Πανάρ για καλύτερη εγκάρσια στήριξη, πρέπει πρώτα να βρούμε το σημείο *A*. Το σημείο αυτό βρίσκεται εκεί που η ράβδος Πανάρ τέμνει το διαμήκη άξονα του αυτοκινήτου (κάτοψη 3α). Το σημείο *B* στο σχέδιο είναι το σημείο γύρω από το οποίο θα περιστρέφονταν ο άκαμπτος άξονας αν δεν υπήρχε η ράβδος Πανάρ. Αν ενώσουμε το *A* με το *B*, βλέπουμε ότι το ΚΠ βρίσκεται ψηλά, εκεί που η γραμμή τέμνει το επίπεδο που είναι κάθετο στον άξονα του διαφορικού.



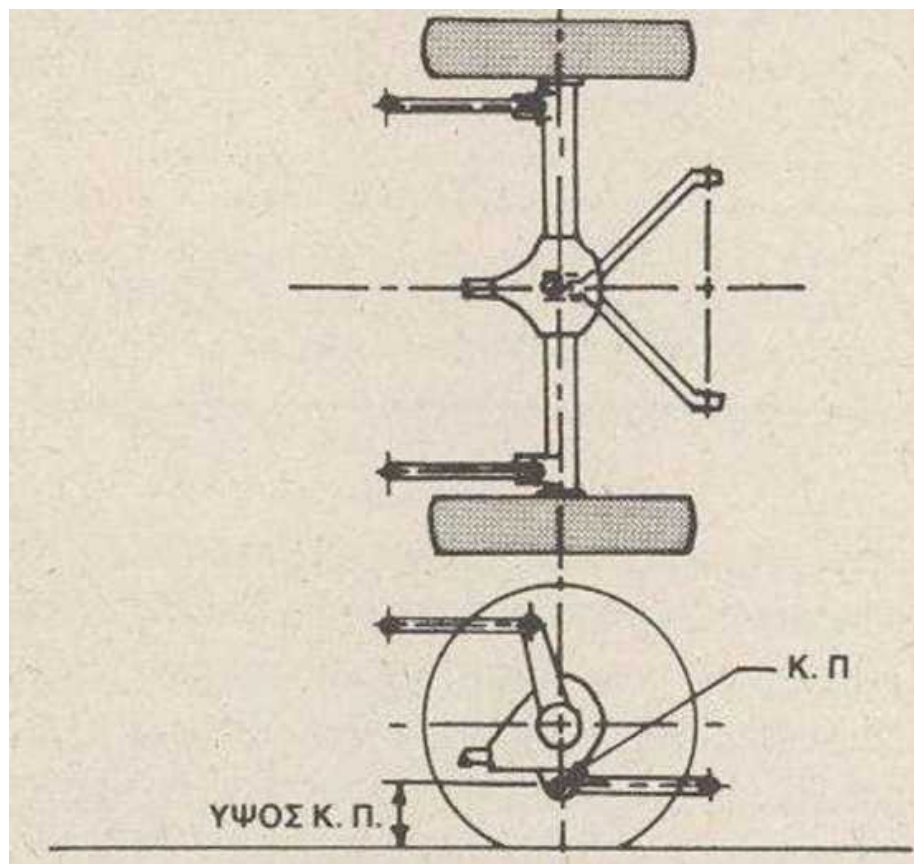
Εικόνα 7.3.3: μια ανάρτηση με τρεις βραχίονες στήριξης και ράβδο Πανάρ για τη συγκράτηση του άκαμπτου πίσω άξονα που μοιάζει πολύ με την ανάρτηση του σχήματος 3. το σημείο *A* βρίσκεται στη ράβδο Πανάρ, εκεί που συναντά το διαμήκη άξονα του αυτοκινήτου. το σημείο *B* βρίσκεται στο σημείο που τέμνονται οι προεκτάσεις των κάτω βραχιόνων στήριξης. Γύρω απ' το σημείο *B* θα περιστρέφονταν ο άκαμπτος άξονας αν αφαιρούσαμε τη ράβδο Πανάρ. Το Κ.Π, βρίσκεται εκεί που η ευθεία από το *A* στο *B* τέμνει το επίπεδο το κάθετο στον άξονα του διαφορικού.



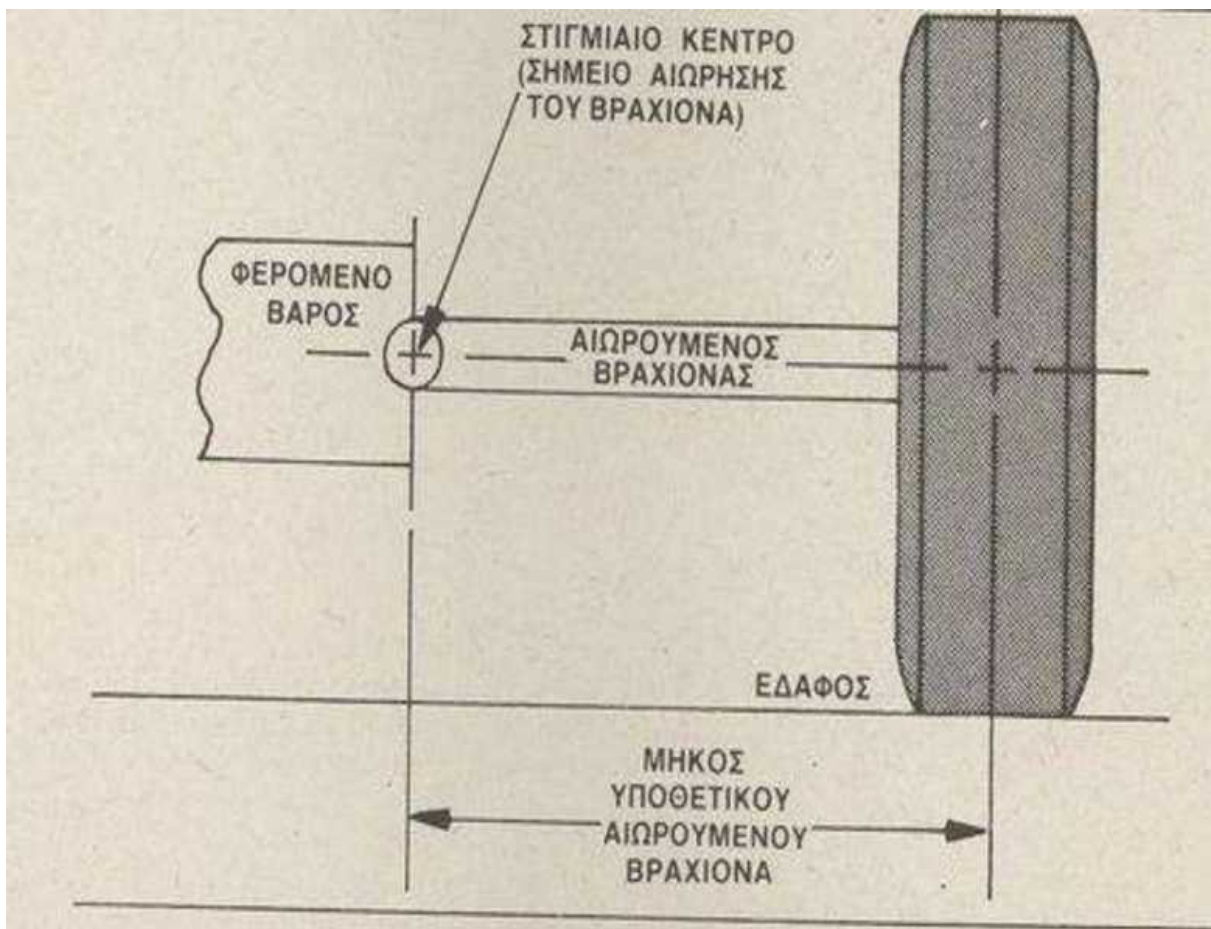
Εικόνα 7.3.4: Ανάρτηση με τέσσερις μη παράλληλους ράβδους στήριξης για τον άκαμπτο άξονα που συναντάται σε πολλά οικογενειακά αυτοκίνητα σήμερα. Στο σημείο *A* τέμνονται οι προεκτάσεις των επάνω ράβδων στήριξης, ενώ στο σημείο *B* οι προεκτάσεις των κάτω. Το Κ.Π. βρίσκεται εκεί που η ευθεία από το *A* στο *B* τέμνει το επίπεδο το κάθετο στον άξονα του διαφορικού. Η ανάρτηση αυτή εξασφαλίζει χαρακτηριστικά υποστροφής κλίσης.



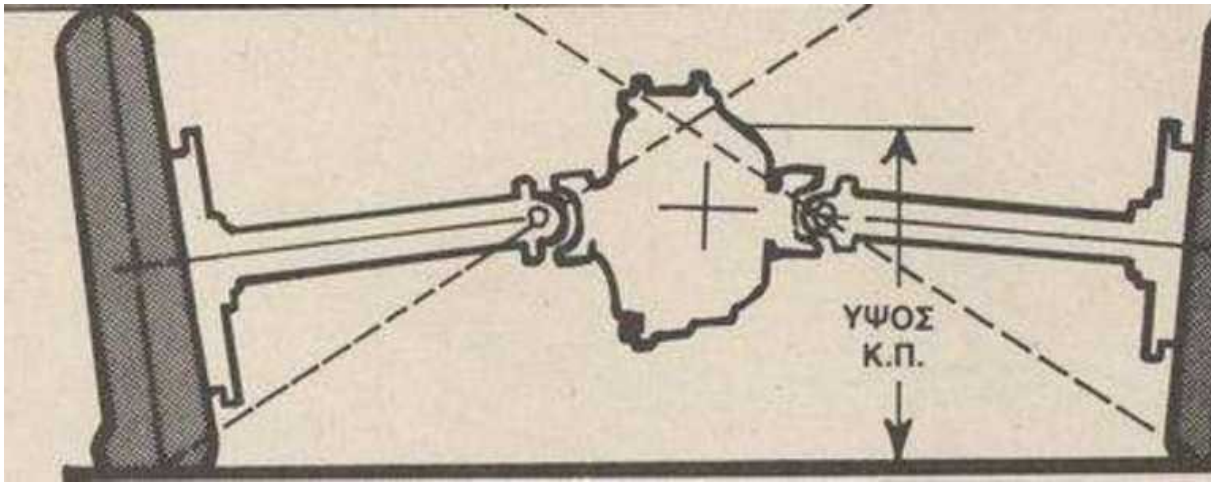
Εικόνα 7.3.5: Ανάρτηση με τέσσερις ράβδους στήριξης του άκαμπτου άξονα, δύο από τους οποίους (οι κάτω) είναι παράλληλοι. το σημείο A βρίσκεται από την προέκταση των επάνω ράβδων. Το σημείο B βρίσκεται εκεί που τέμνονται οι κάτω ράβδοι στο άπειρο. Η ευθεία από το A στο B είναι παράλληλη προς τις κάτω ράβδους, γιατί κι αυτή τους τέμνει στο άπειρο. Το Κ.Π. βρίσκεται εκεί που η ευθεία A-B τέμνει το επίπεδο το κάθετο στον άξονα του διαφορικού. Η διάταξη αυτή ή οποιοδήποτε άλλη που ο Άξονας Περιστροφής έχει κατεύθυνση προς τα εμπρός και επάνω εξασφαλίζει χαρακτηριστικά υπερστροφής κλίσης.



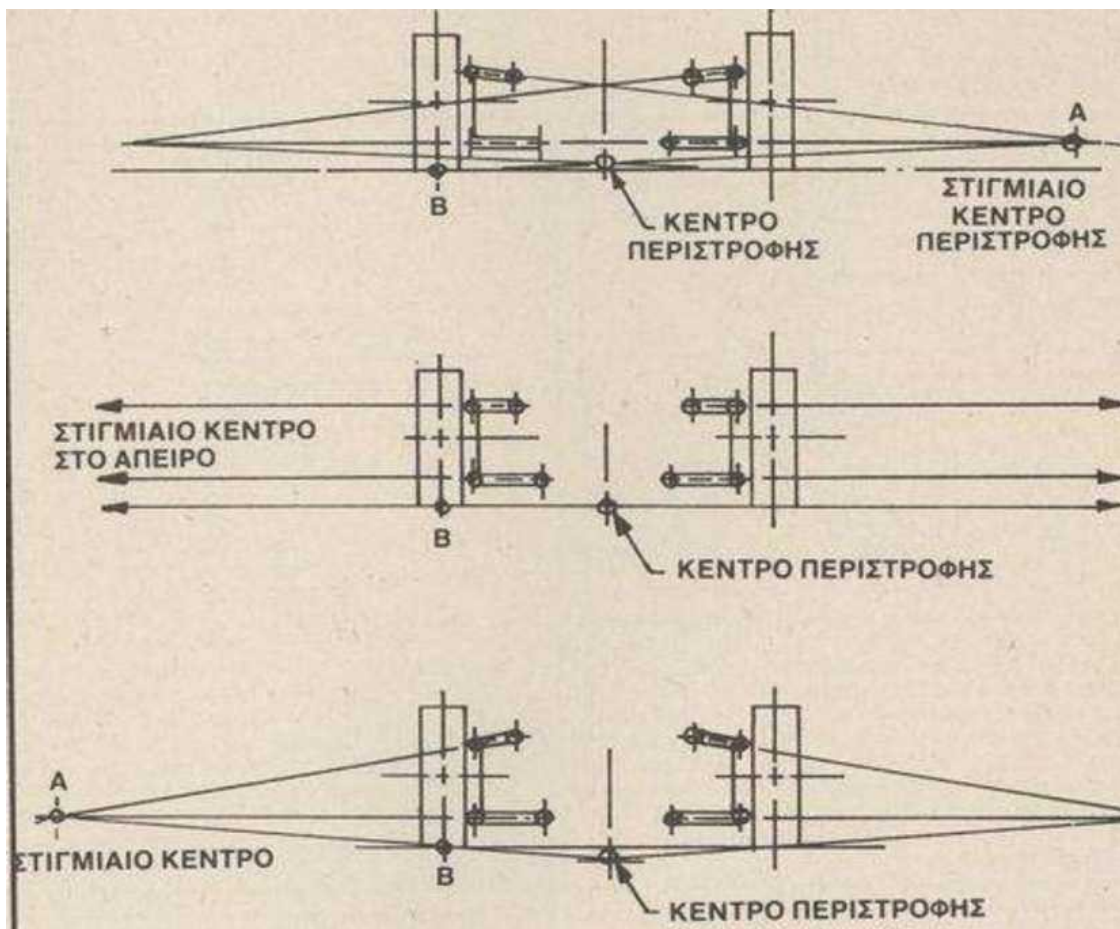
Εικόνα 7.3.6: Αν ένας άκαμπτος άξονας έχει δύο διαμήκεις ράβδους για τη στήριξή του στον διαμήκη άξονα και εξασφαλίζει τη στήριξή του στο εγκάρσιο επίπεδο μ' ένα κεντρικό σημείο στήριξης που βρίσκεται στο κέλυφος του διαφορικού, τότε το σημείο αυτό είναι το Κέντρο Περιστροφής. για να στηρίξουμε έναν άκαμπτο πίσω άξονα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα βραχίονα *A* σαν αυτό του σχεδίου, ένα σύνδεσμο *Βατ* ή μια ράβδο *Πανάρ*. Όλοι κάνουν την ίδια δουλειά και δεν επηρεάζουν το *Κ.Π.* το μόνο που αλλάζει τη θέση του είναι το ύψος του σημείου στήριξης του βραχίονα στο κέλυφος του διαφορικού. Η διάταξη αυτή δίνει ουδέτερα χαρακτηριστικά κρατήματος, γιατί ο Άξονας Περιστροφής είναι παράλληλος με το οριζόντιο επίπεδο.



Εικόνα 7.3.7: Η απλή ανάρτηση αιωρουμένων βραχιόνων. Ο άξονας αιωρείται με κέντρο ένα σημείο κοντά στο κάλυμμα του διαφορικού που συνήθως βρίσκεται στο πλαίσιο. Το σημείο είναι και το στιγμιαίο κέντρο περιστροφής για τον τύπο αυτής της ανάρτησης. Το μήκος του αιωρούμενου βραχίονα είναι ίδιο με το μήκος του υποθετικού βραχίονα (βλέπε κείμενο)



Εικόνα 7.3.8: Η ανάρτηση με αιωρούμενους βραχίονες έχει πολύ ψηλά το Κ.Π. Το Κ.Π. βρίσκεται αν ενώσουμε τα σημεία επαφής των ελαστικών με το δρόμο με τα σημεία αιώρησης των βραχιόνων. Η θέση του Κ.Π. έχει σαν αποτέλεσμα να παρουσιάζεται μια τάση ανύψωσης του τροχού, που κάνει τ αυτοκίνητο ιδιαίτερα ασταθές και επικίνδυνο στην οδήγηση,



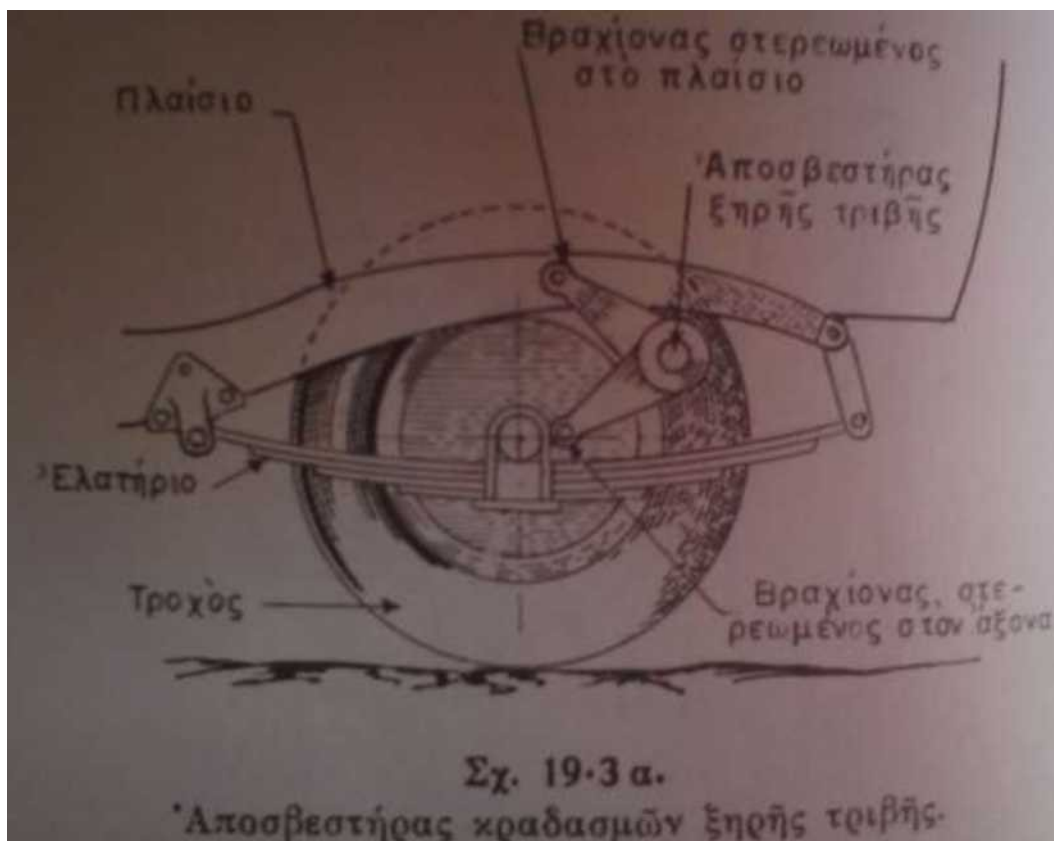
Εικόνα 7.3.9: Το Κέντρο Περιστροφής για μια ανάρτηση με διπλά «ψαλίδια» ή βραχίονες σχήματος A μπορεί να βρίσκεται σε οποιοδήποτε ύψος, ανάλογα με τις γωνίες που σχηματίζουν τα «ψαλίδια». Στα σχέδια βλέπουμε τρεις αναρτήσεις με ψαλίδια ίδιου μήκους, αλλά με διαφορές στις γωνίες των επάνω «ψαλιδιών».

8. Αποσβεστήρες κραδασμών ή μειωτήρες ταλαντώσεων (αμορτισέρ).

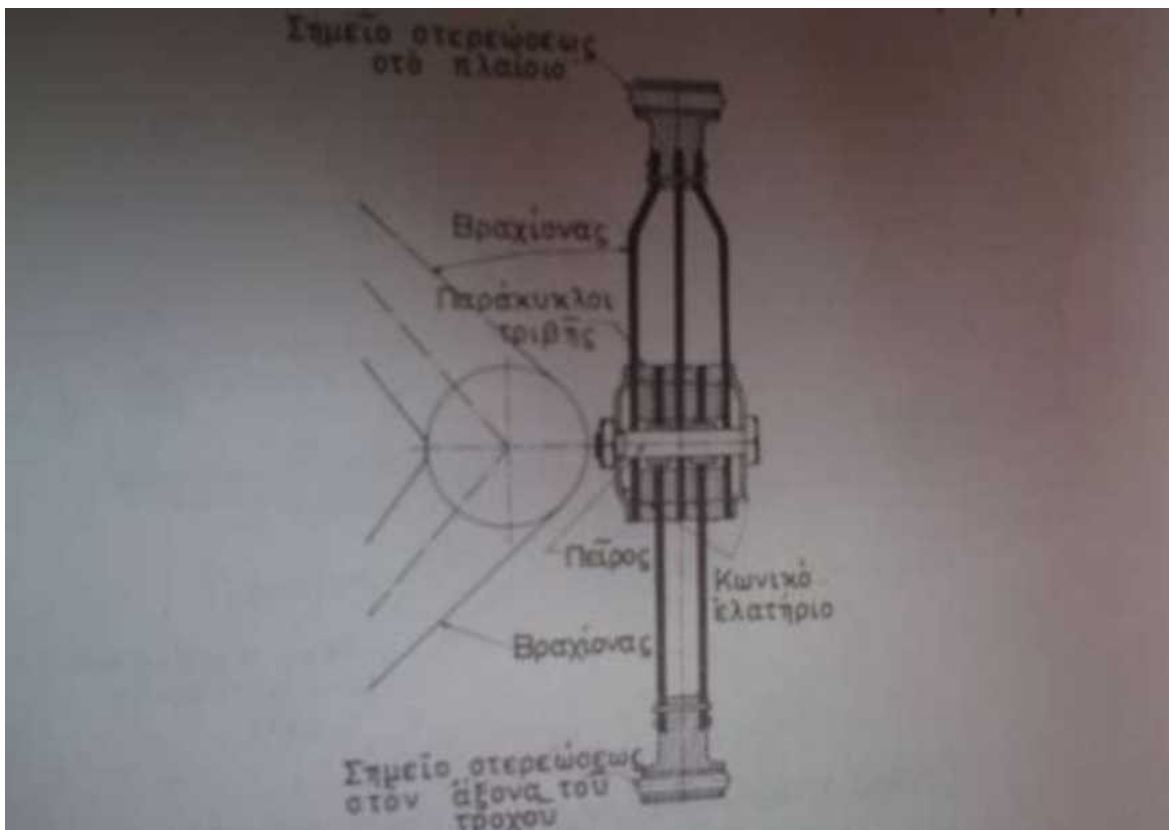
Με την ανάρτηση, που περιγράψαμε παραπάνω, δεν αποφεύγουμε τελείως την μετάδοση των κραδασμών από τους τροχούς στο πλαίσιο, αλλά την μεταβάλουμε σε μια μαλακή αιώρηση, η οποία όμως γίνεται πολύ ενοχλητική, όταν δεν σταματήσει γρήγορα. Γι'αυτό λοιπόν αναγκαζόμαστε να χρησιμοποιούμε και έναν άλλο μηχανισμό, με τον οποίο την απόσβεση των αιωρήσεων και την μείωση των ταλαντώσεων. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται αποσβεστήρας κραδασμών ή μειωτήρας ταλαντώσεων(αμορτισέρ).

Η λειτουργία των αποσβεστήρων βασίζεται κυρίως στην τριβή, που μπορεί να είναι ξηρή ή υγρή. Γι'αυτό και οι αποσβεστήρες διακρίνονται σε ξηρής τριβής και υγρής τριβής ή υδραυλικούς.

Εικόνα 8.1.Αποσβεστήρες ξηρής τριβής



Ο αποσβεστήρας αυτός αποτελείται από δυο βραχίονες ενωμένους με μια άρθρωση τριβής(Εικόνα 8.1).Ανάμεσα στους βραχίονες και στο σημείο τριβής τοποθετούνται παράκυκλοι από υλικό που μεγαλώνει τη τριβή, γίνεται με δυο κωνικά ελατήρια, τα όποια κρατούνται σε εντατική κατάσταση με ένα βλήτρο.



Εικόνα 8.2. Ανάμεσα στους βραχίονες και στο σημείο τριβής τοποθετούνται παράκυκλοι από υλικό που μεγαλώνει τη τριβή, γίνεται με δυο κωνικά ελατήρια, τα όποια κρατούνται σε εντατική κατάσταση με ένα βλήτρο.

8.1 Αποσβεστήρας ταλαντώσεων («αμορτισέρ»)

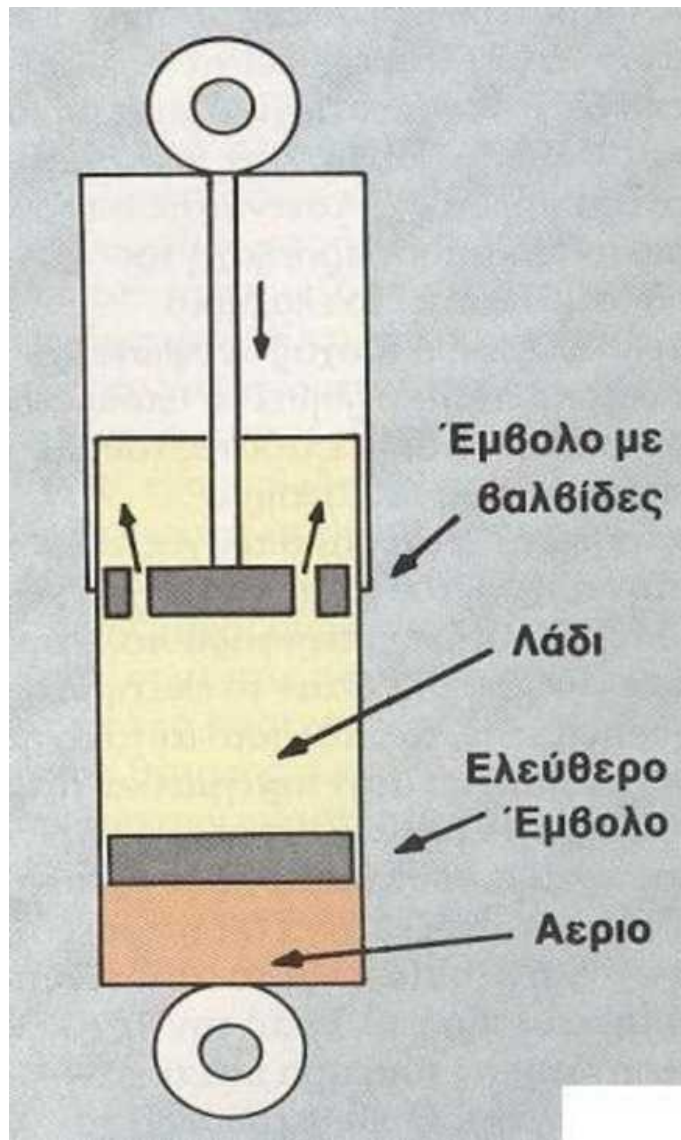
Οι αποσβεστήρες ταλαντώσεων γνωστοί και ως αμορτισέρ, έχουν ως σκοπό να αποσβέσουν τις ταλαντώσεις που δημιουργούνται από τα ελατήρια και είναι ενοχλητικές για τους επιβάτες.

8.1.1 Υδραυλικός τηλεσκοπικός αποσβεστήρας

Τα πρωτόγονα συστήματα τριβής έδωσαν σιγά-σιγά τη θέση τους στα σημερινά αμορτισέρ. Την «ψυχή» ενός αμορτισέρ (στην απλούστερη μορφή του) αποτελεί ένα έμβολο που κινείται μέσα σ' έναν κύλινδρο γεμάτο λάδι. Ο κύλινδρος είναι συνδεδεμένος με τους τροχούς, το έμβολο με το σασί. Κατά την κίνηση του εμβόλου το λάδι εξαναγκάζεται να περάσει από τη μία πλευρά του στην άλλη μέσω μικροσκοπικών βαλβίδων. Στις αργές κινήσεις το πέρασμα αυτό γίνεται χωρίς δυσκολία, στις γρήγορες όμως η αντίσταση στην κίνηση του εμβόλου είναι σημαντικότερη. Με τον τρόπο αυτό και με προσεκτική επιλογή της ρευστότητας του λαδιού και των διαμέτρων των βαλβίδων, που κατά κανόνα είναι διαφορετικές για τη συμπίεση και διαφορετικές για την αποσυμπίεση, σε συνδυασμό με τη σκληρότητα των ελατηρίων, μπορεί να επιτευχθεί αρκετά αποτελεσματική απόσβεση των ταλαντώσεων και των αναπηδήσεων των τροχών. Τονίζουμε και πάλι ότι τα αμορτισέρ δεν στηρίζουν το αυτοκίνητο (αυτό είναι καθήκον αποκλειστικά και μόνον των ελατηρίων), φρενάρουν μόνο τις κινήσεις της ανάρτησης προβάλλοντας όλο και περισσότερη αντίσταση όσο οι τελευταίες είναι ταχύτερες. Όταν η ανάρτηση μένει ακίνητη, τα αμορτισέρ στην ουσία δεν λειτουργούν.

Τα σημερινά αμορτισέρ είναι όλα απλές τηλεσκοπικές υδραυλικές τρόμπες και έχουν στο έμβολο τους οπές διαφορετικών διαστάσεων και μονόδρομες βαλβίδες (reed valves), που φροντίζουν να μεταβάλλουν ανάλογα την αποσβεστική δύναμη, όταν κινούνται προς τη μία ή προς την άλλη κατεύθυνση (συμπίεση ή έκταση της ανάρτησης).

Η παρουσία αέρα μέσα στο υδραυλικό σύστημα τροποποιεί τη συμπεριφορά του υγρού μετατρέποντας το σε ελαστικό, ενώ κανονικά θα έπρεπε να είναι ασυμπίεστο. Πολλά αμορτισέρ, ιδίως αυτά των αυτοκινήτων υψηλών επιδόσεων, περιέχουν ένα θάλαμο αερίου υψηλής πίεσης (συνήθως αζώτου) που αποτρέπει το σχηματισμό φυσαλίδων, αλλά και προφυλάσσει τα υλικά από άμεση επαφή με το φθοροποιό οξυγόνο.



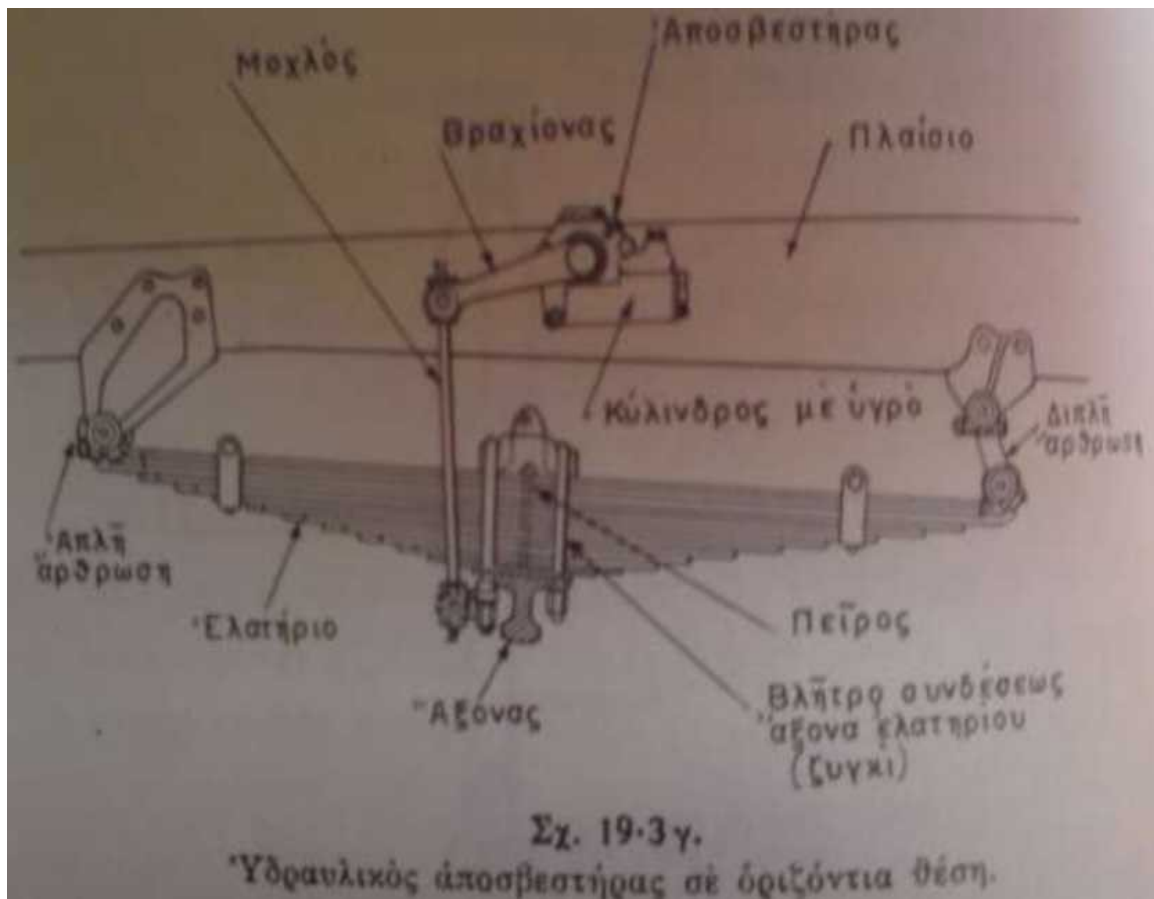
Εικόνα 8.1.1: Τομή ενός τυπικού αμορτισέρ. Το συμπιεζόμενο αέριο κάτω από το ελεύθερο έμβολο αντισταθμίζει τον πρόσθετο όγκο του εισερχόμενου στελέχους.

Το ελεύθερο άκρο του ενός βραχίονα στερεώνεται επάνω στο πλαίσιο ,ενώ τα άλλου επάνω στον άξονα. Έτσι ,όταν το ελατήριο της αναρτήσεως υποχωρεί, παρασύρει και τους βραχίονες του αποσβεστήρα, που κινούνται σαν ψαλίδι. Με την τριβή, που γίνεται στο σημείο επαφής ανάμεσα στους βραχίονες, οι δυνάμεις αδράνειας, που δημιουργούνται από τους κραδασμούς, μεταβάλλονται σε θερμότητα και έτσι γίνεται η απόσβεση τους.

Αυξάνοντας ή ελαττώνοντας την πίεση των ελατήριων της άρθρωσης, σφίγγοντας δηλαδή ή χαλαρώνοντας το περικόχλιο του βλητρού της άρθρωσης, μπορούμε να επιτύχουμε πλήρη ή μερική απόσβεση της παλμικής κινήσεως, η όποια μεταδίδεται από το ελατήριο αναρτήσεως.

8.2 Υδραυλικοί αποσβεστήρες

Με τους αποσβεστήρες αυτούς η απόσβεση των ταλαντώσεων επιτυγχάνεται με την τριβή, η όποια γίνεται κατά την κίνηση

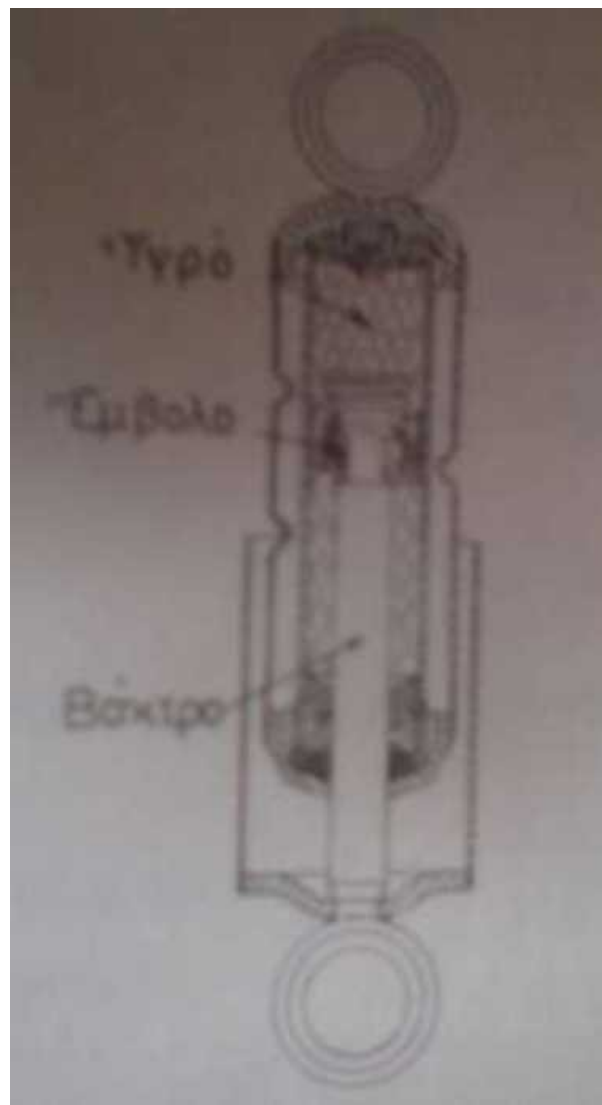


Εικόνα 8.2.1 Υδραυλικός αποσβεστήρας σε οριζόντια θέση

υγρού, που βρίσκεται μέσα σε ένα κύλινδρο και αναγκάζεται να περάσει από τις μικρές τρύπες ενός εμβόλου. Οι αποσβεστήρες αυτοί μπορεί να τοποθετηθούν είτε σε οριζόντια είτε σε κατακόρυφη θέση



Εικόνα 8.2.2 Υδραυλικός αποσβεστήρας σε κατακόρυφη θέση



Εικόνα 8.2.3. Υδραυλικός τηλεσκοπικός αποσβεστήρας

Η αρχή λειτουργίας του υδραυλικού αμορτισέρ βασίζεται στο ότι, με την κίνηση της ανάρτησης, ένα μικρό έμβολο αναγκάζεται σε παλινδρόμηση μέσα σ' ένα κύλινδρο γεμάτο από κάποιο υγρό. Το υγρό πιέζεται και αναγκάζεται να περάσει μέσα από κάποια ή κάποιες

οπές. Κι επειδή κάτι τέτοιο δεν του είναι εύκολο, ενεργοποιεί μια δύναμη αντίδρασης στην κίνηση του πιστονιού, άρα και στην κίνηση της ανάρτησης. Δηλαδή αυτό που κάνει το υδραυλικό αμορτισέρ είναι να μετατρέπει την κινητική ενέργεια της πάνω κάτω κίνησης του τροχού, σε τριβή μεταξύ των μορίων του λαδιού και σε θερμότητα η οποία αποβάλλεται. Τα σημερινά αμορτισέρ είναι όλα απλές τηλεσκοπικές υδραυλικές τρόμπες και έχουν στο έμβολο τους οπές διαφορετικών διαστάσεων και μονόδρομες βαλβίδες (reed valves), που φροντίζουν να μεταβάλλουν ανάλογα την αποσβεστική δύναμη, όταν κινούνται προς τη μία ή προς την άλλη κατεύθυνση (συμπίεση ή έκταση της ανάρτησης). Η παρουσία αέρα μέσα στο υδραυλικό σύστημα τροποποιεί τη συμπεριφορά του υγρού μετατρέποντας το σε ελαστικό, ενώ κανονικά θα έπρεπε να είναι ασυμπίεστο. Πολλά αμορτισέρ, ιδίως αυτά των αυτοκινήτων υψηλών επιδόσεων, περιέχουν ένα θάλαμο αερίου υψηλής πίεσης (συνήθως αζώτου) που αποτρέπει το σχηματισμό φυσαλίδων, αλλά και προφυλάσσει τα υλικά από άμεση επαφή με το φθοροποιό οξυγόνο.

8.3 Ρυθμιζόμενα αμορτισέρ

Τα περισσότερα τέτοια συστήματα λειτουργούν μέσω μιας ή δύο ηλεκτρομαγνητικά ελεγχόμενων διόδων του υδραυλικού υγρού οι οποίες παίζουν το ρόλο του bypass μιας κεντρικής μόνιμα ανοιχτής διόδου. Στις διόδους αυτές υπάρχουν βαλβίδες που λειτουργούν σε θέσεις On-Off, δηλαδή κρατούν τις διόδους εντελώς ανοιχτές ή εντελώς κλειστές. Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται το συνολικό εμβαδόν των ανοιγμάτων διέλευσης του υγρού και επιτρέπονται δύο τρεις διαφορετικές ρυθμίσεις των χαρακτηριστικών απόσβεσης του αμορτισέρ. Για παράδειγμα, στην τρίτη σκάλα και οι δύο βαλβίδες των διόδων είναι κλειστές. Αυτή είναι η επιλογή "Sport". Με τη μία βαλβίδα κλειστή και την άλλη ανοιχτή έχουμε την επιλογή "Normal" και όταν ανοίξουν και οι δυο βαλβίδες, το αμορτισέρ λειτουργεί πολύ μαλακά στη θέση "Comfort".

8.4 Μαγνητοροϊκά αμορτισέρ

Αποτελούν δημιουργία της αμερικάνικης εταιρείας Delphi και είναι γνωστά με το εμπορικό όνομα Magnetic Ride Control. Η μαγνητοροϊκή αρχή λειτουργίας του συστήματος βασίζεται στην ιδιότητα ενός ειδικού υγρού, να μεταβάλλει τη ρευστότητά του ανάλογα με την ένταση του μαγνητικού πεδίου μέσα στο οποίο βρίσκεται. Το υγρό αυτό μπορεί να γίνει από τόσο λεπτόρρευστο, όσο ένα λιπαντικό SAE 10, μέχρι τόσο παχύρρευστο όσο μια βαλβολίνη SAE 80. Κι αυτό σχεδόν ακαριαία, χωρίς τη συμμετοχή κινούμενων μερών. Το μαγνητοροϊκό

αμορτισέρ Είναι ένας απλούστατος μηχανισμός χωρίς βαλβίδες, οπές, ελατήρια και κλαπέτα. Το μόνο που χρειάζεται είναι κάποιος αυλός που να περνάει κοντά από έναν ηλεκτρομαγνήτη. Η αυξομείωση της έντασης του πεδίου κάνει όλη την υπόλοιπη δουλειά.

8.5 Συνεμπλόκ

Τα διάφορα μέρη της ανάρτησης συνδέονται με το πλαίσιο ή αμάξωμα και, σπανιότερα, μεταξύ τους, με μεταλλοελαστικούς συνδέσμους. Συνήθως, οι σύνδεσμοι αυτοί περιλαμβάνουν δύο μεταλλικά χιτώνια μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται με ειδική κόλληση, ελαστικό χιτώνιο (ελαστικός δακτύλιος). Οι σύνδεσμοι αυτοί που είναι γνωστοί ως "σινεμπλόκ" έχουν ως σκοπό τη μεταφορά δυνάμεων μεταξύ αναρτημένων και μη αναρτημένων μερών του αυτοκινήτου με ελαστικότητα και παράλληλα, με αθόρυβη λειτουργία.

9. Ώθηση και αντίδραση.

Εφόσον όπως είπαμε παραπάνω , η σύνδεση του πλαισίου και του αμαξώματος με τους τροχούς δεν είναι σταθερή, αλλά ελαστική μέσω των ελατήριων αναρτήσεως, είναι φανερό ότι πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα, για να μεταφέρει την ώθηση, που δημιουργείται με την κύλιση των τροχών στο έδαφος από τους άξονες στο πλαίσιο. Επίσης να μεταφέρει από το πλαίσιο στους άξονες και απ εκεί στους τροχούς, την αντίδραση που δημιουργείται επάνω στο πλαίσιο και στο αμάξωμα από την πέδηση ή την κατωφέρεια.

Σε όσα αυτοκίνητα η αναρτήση γίνεται με διαμήκη πεπλατυσμένα ελατήρια με μια μονή και μια διπλή άρθρωση, δηλαδή με άπλες ημιελλειπτικές σούστες, την δουλειά αυτή την κάνουν τα ελατήρια αναρτήσεως(οι σούστες) με το σταθερό σημείο συνδέσεως τους επάνω στο πλαίσιο.

Σε όσα όμως αυτοκίνητα το σύστημα αναρτήσεως γίνεται με οποιονδήποτε άλλο τρόπο (πχ με εγκάρσια ελατήρια, με ελικοειδή, κ.α)την μεταβίβαση των δυνάμεων ωθήσεως και αντιδράσεως την κάνουν ειδικά ανεξάρτητα τεμάχια όπως π.χ ο κεντρικός σωλήνας ωθήσεως, τα τρίγωνα ωθήσεως, οι διωστήρες των συζύγων αξόνων κλπ.

9.1 Ο κεντρικός σωλήνας ωθήσεως.

Είναι ένας χαλύβδινος σωλήνας που περιβάλλει τον άξονα μεταδόσεως κινήσεως και είναι προσαρμοσμένος ανάμεσα στο κιβώτιο ταχυτήτων και το κέλυφος του διαφορικού.



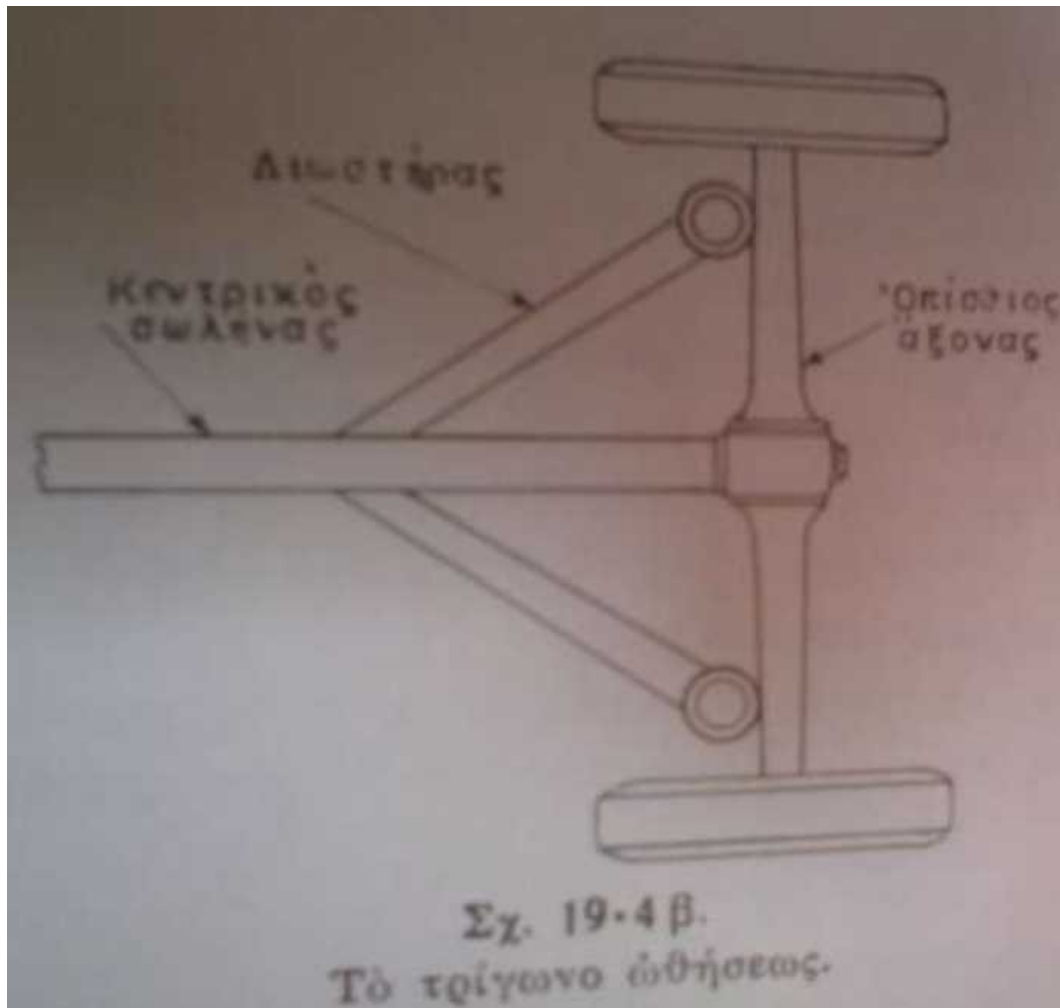
Εικόνα 9.1 κεντρικός σωλήνας ώθησεως

Ο σωλήνας αυτός έχει μια σφαιρική άρθρωση, που αντιστοιχεί στον σταυρό του άξονα μεταδόσεως κινήσεως, για να μπορεί να εξουδετερώνει τις γωνιακές μικρομετακινήσεις ανάμεσα στον άξονα και στο πλαίσιο.

Με τον κεντρικό σωλήνα η ώθηση από το κέλυφος του διαφορικού μεταδίδεται στο κιβώτιο ταχυτήτων και από εκεί στον κινητήρα και μέσω των στηριγμάτων του κινητήρα στο πλαίσιο.

9.2 Το τρίγωνο ώθησεως

Σε μερικούς τύπους αυτοκινήτων, τα δυο ακραία περίπου σημεία του κελύφους του διαφορικού συνδέονται με δυο επιμήκεις αντηρίδες με μια άρθρωση, που βρίσκεται στο κέντρο περίπου του πλαισίου ή κατευθείαν με τον κεντρικό σωλήνα. Έτσι σχηματίζεται ένα τρίγωνο που συγκρατεί τον κινητήριο άξονα στην θέση του και μεταδίδει την ώθηση κλπ. Από τον άξονα στο πλαίσιο.



Εικόνα 921. Το τρίγωνο ωθήσεως

9.3 Οι βραχίονες συγκρατήσεως.

Η εικόνα 921. παρουσιάζει μια διάταξη συγκρατήσεως του εμπρόσθιου άξονα, όταν το σύστημα αναρτήσεως έχει δυο διπλές αρθρώσεις

10. Επίλογος

Η πλειοψηφία των οχημάτων της κορυφαίας κατηγορίας, όπως η Lexus LS, η Mercedes S-Class και η Audi A8, χρησιμοποιούν την ανάρτηση με αέρα για να δημιουργήσουν υψηλό επίπεδο άνεσης με χαμηλή ακαμψία, ρυθμιζόμενο ύψος οδήγησης και ρυθμιζόμενα χαρακτηριστικά αποσβεστήρα. Η Citroën χρησιμοποιεί ένα υδροπνευματικό σύστημα γνωστό για το υψηλό επίπεδο άνεσής του, καθώς και το ίδιο δυναμικό προσαρμογής της ανάρτησης. το ύψος οδήγησης και τα χαρακτηριστικά απόσβεσης μπορούν να προσαρμοστούν στις συνθήκες οδήγησης του οχήματος.

Το απλούστερο υδροπνευματικό σύστημα ανάρτησης αποτελείται από τρία μόνο συστατικά στοιχεία: έναν υδραυλικό κύλινδρο, έναν υδροπνευματικό συσσωρευτή, ο οποίος είναι τοποθετημένος απευθείας στον κύλινδρο και, φυσικά, το υδραυλικό υγρό. Σε περίπτωση που ο κύλινδρος και ο συσσωρευτής πρέπει να διαχωριστούν - για παράδειγμα λόγω λόγων σχεδίου χώρου - για την παροχή της υδραυλικής σύνδεσης είναι απαραίτητες πρόσθετες γραμμές και εξαρτήματα λαδιού. Αφού ρυθμίσετε την υδραυλική πίεση στο απαιτούμενο επίπεδο (με την

προσθήκη ή την αποδέσμευση υδραυλικού υγρού) αυτό το σύστημα παρέχει ήδη τη λειτουργία αναστολής. Κατά την μετατόπιση της ράβδου εμβόλου, η ποσότητα ρευστού στον συσσωρευτή αλλάζει και με αυτόν τον τρόπο η πίεση ($p_1 \rightarrow p_2$). Αυτό προκαλεί μεταβολή της δύναμης στην ράβδο εμβόλου η οποία, σε συνδυασμό με την αλλαγή της θέσης, καθορίζει τον ρυθμό ελατηρίου c. Η εξωτερική δύναμη ελατηρίου FF η οποία δρα επί της ράβδου εμβόλου είναι πάντοτε σε ισορροπία με τις δυνάμεις που προκύπτουν από τις πιέσεις επί του εμβόλου, όταν αγνοούνται οι δυνάμεις αδράνειας και τριβής. Όταν η δύναμη FF αυξηθεί σε FF *, η θέση του εμβόλου αλλάζει (αλλάζουν) και συνεπώς κάποιο υδραυλικό υγρό μετατοπίζεται στον συσσωρευτή.

Αυτή η αλλαγή συνεχίζεται μέχρι η πίεση στον συσσωρευτή (και συνεπώς στην ενεργή επιφάνεια του εμβόλου) να φθάσει σε επίπεδο που παρέχει και πάλι ισορροπία στο σύστημα.

Αυτή η ισορροπία δυνάμεων είναι η βάση για τη λειτουργία και την κατανόηση του συστήματος αναστολής. Θα χρησιμοποιηθεί στις επόμενες ενότητες για περαιτέρω υπολογισμούς. Για να επιτραπεί πρόσθετη απόσβεση, τοποθετείται αντίσταση ροής μεταξύ του κυλίνδρου και του συσσωρευτή. Μετατρέπει μέρος της κινητικής ενέργειας του υδραυλικού υγρού σε θερμότητα (ιξώδη τριβή). Αυτό παρέχει την επιθυμητή απόσβεση σε συνδυασμό με την (ανεπιθύμητη) οριακή τριβή που προκαλείται από τα στοιχεία στεγανοποίησης και καθοδήγησης του κυλίνδρου. Αυτή η αποκαλούμενη "μονάδα ανάρτησης" που αποτελείται από κύλινδρο, συσσωρευτή, αντιστάθμιση ροής και υδραυλικό υγρό παρέχει ήδη τη λειτουργία ανάρτησης και μπορεί να αντικαταστήσει τον τυπικό συνδυασμό μηχανικού ελατηρίου και αποσβεστήρα. Ωστόσο, με αυτό το σύστημα το σημαντικό πλεονέκτημα των υδροπνευματικών συστημάτων ανάρτησης δεν χρησιμοποιείται ακόμα: έλεγχος στάθμης. Μια πρόσθετη μονάδα ελέγχου στάθμης παρέχει μια σταθερή κανονική θέση της ανάρτησης ανεξάρτητα από το στατικό φορτίο ελατηρίου FF. Η μονάδα ελέγχου στάθμης αποτελείται από έναν αισθητήρα θέσης ο οποίος, απευθείας ή μέσω ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου, στέλνει σήματα σε υδραυλική βαλβίδα ελέγχου, η οποία στη συνέχεια αλλάζει την ποσότητα του υδραυλικού υγρού στη μονάδα ανάρτησης, προκειμένου να επαναφέρει την ανάρτηση στη θέση σχεδιασμού αν είναι απαραίτητο. Με την αύξηση της ποσότητας υδραυλικού υγρού, η στάθμη του συστήματος αυξάνεται. μειώνοντας την ποσότητα υδραυλικού ρευστού μειώνει το επίπεδο του συστήματος.

Σε πραγματικές υδροπνευματικές αναρτήσεις υπάρχει πάντοτε η πιθανότητα οριακής εναλλαγής θερμότητας του αερίου με τα περιβάλλοντα συστατικά του και επομένως δεν θα υπάρξει ποτέ η ιδανική αδιαβατική αλλαγή της κατάστασης. Αυτό σημαίνει ότι οι υδροπνευματικές διεργασίες αιωρήματος ορίζονται από μία πολυτροπική αλλαγή κατάστασης που χαρακτηρίζεται από $1 < n < \kappa$. Όσο περισσότερη θερμότητα ανταλλάσσεται κατά την αλλαγή της κατάστασης, τόσο περισσότερο ο πολυτροπικός εκθέτης n για αυτή τη διαδικασία θα μεταβεί από το κ προς το 1. η τελευταία ορίζει και πάλι την ισόθερμη αλλαγή της κατάστασης με τέλεια ανταλλαγή θερμότητας. Οι ακριβείς συνθήκες για την ανταλλαγή θερμότητας είναι συνήθως άγνωστες και είναι πολύ δύσκολο να εντοπιστούν, γι 'αυτό είναι εξαιρετικά δύσκολο να βρεθεί πού ακριβώς πρέπει να επιλεγεί ο πολυτροπικός εκθέτης μεταξύ 1 και κ . Επιπλέον, ακόμη και η πραγματική τιμή για το κ είναι δύσκολο να προσδιοριστεί λόγω των προαναφερθέντων αποτελεσμάτων της πίεσης και της θερμοκρασίας στο κ . ακόμα περισσότερο επειδή και οι δύο παράμετροι αλλάζουν συνεχώς κατά τη διάρκεια των διαδικασιών αναστολής. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο είναι δυνατή μόνο η εκτίμηση του πολυτροπικού εκθέτη n για προκαταρκτικούς υπολογισμούς.

Αυτός είναι ο απλούστερος τύπος υδροπνευματικής ανάρτησης. Το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν κύλινδρο ανάρτησης με ένα μόνο ρόλο και από έναν συσσωρευτή. Ο κύλινδρος ανάρτησης μπορεί να σχεδιαστεί ως ένας κύλινδρος απλής δράσης (για παράδειγμα, ένας κύλινδρος εμβόλου) ή ως κύλινδρος διπλής δράσης με αλληλοσυνδεόμενο έμβολο και ράβδο του κυλίνδρου. Το τελευταίο σύστημα είναι σε θέση να παρέχει υψηλότερες ποσότητες απόσβεσης επαναφοράς. Είναι σημαντικό να θεωρηθεί ότι η εξωτερικά ενεργός περιοχή είναι μόνο η περιοχή διατομής της ράβδου εμβόλου. Λόγω της διασύνδεσης του θαλάμου εμβόλου και του θαλάμου ράβδου (το αποκαλούμενο σύστημα αναγέννησης), μόνο ο όγκος ρευστού που μετατοπίζεται από τη ράβδο εμβόλου ρέει μέσα στον συσσωρευτή ενώ το άλλο τμήμα του ρευστού που μετατοπίζεται από το έμβολο ρέει πίσω στη ράχη. Η πιο σημαντική μέθοδος για την περιγραφή της συμπεριφοράς ενός ελατηρίου είναι η καμπύλη μετατόπισης δύναμης για συμπίεση και ανάκαμψη. Ωστόσο, το υδροηλεκτρικό ελατήριο έχει πάντα δυσανάλογα προοδευτικό σχήμα της καμπύλης μετατόπισης δύναμης. Αυτό το σχήμα μπορεί να ελεγχθεί με παραλλαγή πολλών παραγόντων επηρεασμού. Οι σημαντικοί παράγοντες προκύπτουν στις επόμενες σελίδες. Πριν από τον υπολογισμό της μη προφορτισμένης πνευματικής ανάρτησης,

είναι απαραίτητο να ορίσουμε ορισμένες από τις διάφορες καταστάσεις ότι ένα σύστημα ανάρτησης μπορεί να είναι:

Κατάσταση 0: Ελαφριά δύναμη $FF_0 = 0$. Η πίεση στον συσσωρευτή είναι η πίεση προφόρτισης p_0 , η οποία ορίζεται κατά τη διαδικασία παραγωγής. Το αέριο συμπληρώνει τον πλήρη εσωτερικό όγκο V_0 του συσσωρευτή.

Κατάσταση 1: Τώρα η στατική δύναμη ανάρτησης FF_1 φορτώνει το σύστημα ανάρτησης (ενώ $FF_1 > FF_0$). Η δύναμη είναι επαρκής για να συμπιέσει ισομερώς τον όγκο αερίου στον συσσωρευτή στον όγκο V_1 και την πίεση p_1 .

Κατάσταση 2: Η FF_2 είναι η δυναμική δύναμη ανάρτησης και ταλαντεύεται γύρω από το FF_1 . Συνεπώς ο όγκος του αερίου συμπιέζεται (συμπίεση) και διογκώνεται (αναζωογονείται) με μία πολυτροπική αλλαγή της κατάστασης στον όγκο V_2 και την πίεση p_2 .

Αυτή η απεικόνιση παρουσιάζει ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά μιας υδροπνευματικής ανάρτησης: όσο υψηλότερο είναι το στατικό φορτίο ελατηρίου, τόσο μικρότερο είναι το ύψος της στήλης αερίου h_{0F} και επομένως η πιο σημαντική είναι η μεταβολή των δυνάμεων πίεσης αερίου στο έμβολο σε δεδομένη μετατόπιση s που τότε σημαίνει υψηλότερο ποσοστό ελατηρίου. Το απλό υπόβαθρο σε αυτό είναι η σχετική αλλαγή του ύψους στήλης $(h_{0F} - s) / h_{0F}$. γίνετα πιο σημαντική με μικρότερο h_{0F} και ως εκ τούτου η σχετική μείωση του όγκου και η σχετική αύξηση της πίεσης είναι πιο σημαντικές. Αυτή είναι η εξήγηση του αυξανόμενου ρυθμού ελατηρίου με αυξανόμενο φορτίο στατικού ελατηρίου για υδραυλικό σύστημα. Σε περίπτωση που μια υδροπνευματική ανάρτηση υποβληθεί σε ένα ευρύ φάσμα στατικών φορτίων ελατηρίων, πρέπει να ληφθεί υπόψη μια άλλη σημαντική χαρακτηριστική καμπύλη: η εξάρτηση του ρυθμού ελατηρίου σε αυτό το πολύ στατικό φορτίο ελατηρίου. Αυτό προκύπτει από τον ακόλουθο υπολογισμό. Αυτές είναι τώρα οι θεμελιώδεις εξισώσεις στις οποίες στηρίζεται η λειτουργία κάθε υδροπνευματικού συστήματος ανάρτησης. Μόνο το γεμισμένο με αέριο συσσωρευτή καθώς και το φορτίο που έχει αιωρηθεί καθορίζουν το περίγραμμα της καμπύλης μετατόπισης δύναμης και συνεπώς και τον ρυθμό ελατηρίου.

Από τη μία πλευρά, το γεμισμένο με αέριο συσσωρευτή μπορεί να περιγραφεί από το προϊόν της πίεσης προ-φορτίου του συσσωρευτή p_0 και του όγκου του συσσωρευτή V_0 . Από την άλλη

πλευρά μπορεί, σύμφωνα με την εξίσωση της κατάστασης για το ιδανικό αέριο, να δοθεί ως $mGRT$. Αυτό υπογραμμίζει εκ νέου σαφώς ότι, εκτός από το στατικό φορτίο ελατηρίου και τη μάζα του γεμίσματος αερίου mG , ο ρυθμός ελατηρίου εξαρτάται επίσης από τη θερμοκρασία του αερίου / του συσσωρευτή. Κατά τον σχεδιασμό ενός υδροπνευματικού συστήματος ανάρτησης, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η πίεση προφόρτισης που έχει οριστεί κατά τη διαδικασία παραγωγής αναφέρεται σε θερμοκρασία 20°C . Η πραγματική θερμοκρασία λειτουργίας μπορεί να ποικίλει λόγω των επιδράσεων από το περιβάλλον αλλά μπορεί επίσης να αυξηθεί λόγω της θερμότητας στο υδραυλικό υγρό που προκύπτει από την ιξώδη απόσβεση. Ο γενικός κανόνας είναι: οι υψηλότερες θερμοκρασίες μαλακώνουν το ελατήριο, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες το καθιστούν πιο άκαμπτο. Ένα σαφές παράδειγμα είναι η υδροπνευματική ανάρτηση του εμπρόςθιου άξονα ενός γεωργικού ελκυστήρα. Για την ανύψωση και τη μετακίνηση βαρέων μαζών είναι προαιρετικά διαθέσιμος ο λεγόμενος μπροστινός φορτωτής, ο οποίος αποτελείται από τον υδραυλικά ανυψούμενο βραχίονα σε συνδυασμό με έναν κλίβανο ή ένα πιρούνι με παλέτα προσαρτημένο στο άκρο του. Κατά την ανύψωση μιας βαριάς μάζας, το κέντρο βάρους (COG) αυτής της μάζας είναι πολύ απομακρυσμένο από το κέντρο βάρους του ελκυστήρα το οποίο αυξάνει σημαντικά τη ροπή αδράνειας για την κίνηση του ελκυστήρα. Η φυσική συχνότητα της κίνησης του βήματος πρέπει να διατηρηθεί πάνω από ένα ορισμένο επίπεδο, ώστε να αποφευχθεί η ανεξέλεγκτη βούληση του ελκυστήρα. Συνεπώς, είναι ευεργετικό να αυξηθεί η συχνότητα ελατηρίου περισσότερο από ό, τι θα ήταν απαραίτητο για μια σταθερή συχνότητα αναπήδησης. Τα συστήματα υδραυλικής ανάρτησης πληρούν αυτή την απαίτηση και κατά συνέπεια συμβάλλουν πολύ στην άνετη, σταθερή και ελεγχόμενη συμπεριφορά οδήγησης κατά τη διάρκεια της εργασίας των μπροστινών φορτωτών. Η καμπύλη δύναμης-μετατόπισης ενός υδροπνευματικού ελατηρίου καθώς και οι καμπύλες της ταχύτητας ελατηρίου και της φυσικής συχνότητας ως συνάρτηση του στατικού φορτίου που παρέχεται σε κατάσταση αιώρησης παρέχουν ουσιώδεις πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες ανάρτησης ενός συγκεκριμένου συστήματος ανάρτησης. Στις επόμενες σελίδες αυτής της ενότητας αυτές οι καμπύλες παρουσιάζονται και εξηγούνται για τα διάφορα συστήματα υδροπλαστικής ανάρτησης. Για να διασφαλιστεί η καλή συγκρισιμότητα μεταξύ των διαφόρων συστημάτων, όλες οι χαρακτηριστικές καμπύλες υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη βασική ρύθμιση για το σύστημα ανάρτησης:

- Ταλαντωτής μίας μάζας
- Πλήρης διαδρομή ανάρτησης (stop-to-stop) 100 mm
- Η θέση σχεδιασμού είναι το κέντρο μεταξύ των δύο ακραίων στάσεων
- Το στατικό φορτίο για την ανάρτηση είναι 10 kN
- Σύστημα συντονισμένο σε φυσική συχνότητα 2 Hz

11. Βιβλιογραφία

1. <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%AC%CF%81%CF%84%CE%B7%CF%83%CE7%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%BF%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%A E%CF%84%CE%BF%CF%85>
2. <http://iceal.wikidot.com/anartiseis-genika> (C&D 22, 9/1991)
3. <http://iceal.wikidot.com/anartiseis-piso-trochon> (C&D 2, 1/1990)
4. <http://iceal.wikidot.com/geometria-anartiseon> (4T 125, 2/1981)
5. <http://www.caroto.gr/2009/02/13/%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%8D%CE%BD%CF%84%CE%B5%CF%82->

6. <http://www.caroto.gr/2009/03/18/%CE%BD%CF%84%CE%B5%CE%BD%CF%84%CE%B9%CF%8C%CE%BD->

7. <http://www.caroto.gr/2009/02/13/%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AC%CE%B5%CE%BB%CE%B5%CE%B3%CF%87%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%82-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CF%81%CF%84%CE%AE%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/>

8. ΒΙΒΛΙΟ:ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΤΕΧΝΙΤΗ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

9. ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ:DRIVE

10. Vehicle Dynamics Theory and Applications (BBS)

11. Johan Granlund - Vehicle and driver vibration

12. Vehicle Vibration and Ride