

---

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.

---



# **ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ARS**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΤΟΥ**

**ΑΡΙΤΖΑΚΗ ΙΩΑΝΝΗ**

**Επιβλέπων: ΜΠΑΖΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, Αναπληρωτής Καθηγητής**

ΣΙΝΔΟΣ, 2018

---

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία και τα συμπεράσματά της, σε οποιαδήποτε μορφή, αποτελούν συνιδιοκτησία του Τμήματος Μηχανολόγων Οχημάτων του Αλεξάνδρειου ΤΕΙ Θεσσαλονίκης και του φοιτητή . Οι προαναφερόμενοι διατηρούν το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης και αναπαραγωγής (τμηματικά ή συνολικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να αναφέρεται ο τίτλος, ο συγγραφέας, ο επιβλέπων και το Τμήμα του ΑΤΕΙΘ.

Η έγκριση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Οχημάτων δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

---

---

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα Πτυχιακή Εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και συγγράφηκε ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανολόγων Οχημάτων.

Δηλώνω υπεύθυνα ότι κατά τη συγγραφή ακολούθησα την πρέπουσα ακαδημαϊκή δεοντολογία αποφυγής λογοκλοπής και έχω αποφύγει οποιαδήποτε ενέργεια που συνιστά παράπτωμα λογοκλοπής.

Ο Φοιτητής.....

---

(Ολογράφως)

---

(Υπογραφή)

Σίνδος, \_\_\_ / \_\_\_ / 20\_\_

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	iv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	v
ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	vii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> - ΑΝΑΡΤΗΣΗ.....	3
1.1 Ορισμός ανάρτησης.....	3
1.2 Στόχοι συστήματος ανάρτησης .....	4
1.4 Κατηγορίες συστημάτων ανάρτησης.....	7
1.5 Εξέλιξη αναρτήσεων.....	8
1.5.1 Άκαμπτος άξονας.....	8
1.5.2 Ημιάκαμπτος άξονας .....	9
1.5.3 Ανάρτηση με διπλά ψαλίδια.....	9
1.5.4 Ανάρτηση με γόνατα Μακ-Φέρσον (Mac-Pherson).....	9
1.5.5 Ανάρτηση παλλαπλών συνδέσμων («Multi-link suspension»).....	10
1.6 Κύρια στοιχεία ανάρτησης.....	10
1.6.1 Ελατήρια .....	10
1.6.2 Στρεπτική ράβδος .....	12
1.6.3 Αποσβεστήρας ταλαντώσεων («αμορτισέρ») .....	12
1.6.4 Σάιλεντ Μπλοκ (Σινεμπλόκ) - («Silent block») .....	15
1.6.5 Αντιστρεπτική ράβδος .....	15
1.7 Σύνοψη κεφαλαίου .....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> - ΕΝΕΡΓΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΒΟΗΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	18
2.1 Σύστημα ABS.....	19
2.2 Λειτουργία του συστήματος ABS .....	20
2.3 Σύστημα ESP.....	24
2.4 Σύστημα DSC.....	27
2.5 Σύστημα CDC .....	28
2.6 Σύστημα ARC .....	29

2.7 Ράβδος κατά της κύλισης (Anti-roll bar) .....	30
2.7.1 Σκοπός.....	33
2.7.2 Λειτουργία.....	33
2.7.3 Μειονεκτήματα.....	34
2.8 Σύνοψη κεφαλαίου .....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3° - ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ.....	36
3.1 Παθητικά συστήματα.....	36
3.1.1 Παθητικός σταθεροποιητής κύλισης (ελατήριο).....	36
3.1.2 Παθητικοί αποσβεστήρες (αμορτισέρ) .....	37
3.1.3 Πλεονεκτήματα –Μειονεκτήματα παθητικών συστημάτων .....	37
3.2 Ημι-ενεργά συστήματα.....	38
3.2.1 Πλεονεκτήματα –Μειονεκτήματα ημι-ενεργών συστημάτων .....	39
3.3 Ενεργά συστήματα.....	39
3.3.1 Λειτουργία ενεργών συστημάτων .....	40
3.3.2 Πλεονεκτήματα –Μειονεκτήματα ενεργών συστημάτων.....	41
3.4 Σύγκριση παθητικών, ημι-ενεργών και ενεργών συστημάτων .....	43
3.5 Ενεργός μηχανισμός προστασίας κύλισης.....	44
3.6 Διαχωριστική ράβδος αντεπιστροφής με ενεργοποιητή .....	44
3.7 Σύστημα Dynamic Drive .....	47
3.7.1 Ανάλυση των επιμέρους στοιχείων .....	49
3.8 Συντήρηση και διάγνωση βλαβών δυναμικής κίνησης BMW.....	52
3.9 Σύνοψη κεφαλαίου .....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° - ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ARS .....	54
4.1 Μηχανισμός ARS .....	56
4.2 Σκοπός του Συστήματος .....	57
4.3 Τεχνολογία ενεργής σταθεροποίησης κύλισης .....	57
4.4 Μέρη σταθεροποιητικής ράβδου συστήματος ARS.....	58
4.6 Αιτίες φθοράς της ράβδου.....	60
4.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συστήματος ARS .....	61
4.8 Σύνοψη κεφαλαίου .....	61
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	63
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	64

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Εξαρτημένη και ανεξάρτητη ανάρτηση [5].....	6
Εικόνα 1.2 Ακαμπτος Άξονας [7].....	8
Εικόνα 1.3 Τομή τηλεσκοπικού υδραυλικού αμορτισέρ [8].....	13
Εικόνα 1.4 : Μαγνητοροϊκό αμορτισέρ [9].....	14
Εικόνα 1.5 : Ρυθμιζόμενα αμορτισέρ [10].....	15
Εικόνα 1.6 : Λειτουργία της αντι-στρεπτικής ράβδου [12].....	17
Εικόνα 2.1 : Anti-roll braking system [17].....	21
Εικόνα 2.2 : Λειτουργία συστήματος ESP [20].....	27
Εικόνα 2.3 : Η περιστροφή των δυο μισών του σταθεροποιητή μεταξύ τους επιτρέπει τη μείωση της κύλισης κατά την περιστροφή. Συνέπεια αυτής της περιστροφής είναι η αύξηση του φορτίου επαφής του εξωτερικού τροχού [28].....	30
Εικόνα 2.4 Όλες οι δυνάμεις της ράβδου κατά της κύλισης όταν οι στροφές μεταδίδονται μέσω των σχετικά λεπτών ράβδων σύνδεσης[31].....	34
Εικόνα 3.1 Dynamic Drive [45].....	46
Εικόνα 3.2 Στοιχεία του Dynamic Drive [51].....	51
Εικόνα 4.1 BMW Dynamic Drive: Complex But Effective [46].....	57
Εικόνα 4.2 Τμηματική άποψη διατομής ενεργοποιητή [58].....	59
Εικόνα 4.3 Αίτια φθοράς ράβδου [46].....	61

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα συστήματα ανάρτησης έχουν σημαντικό αντίκτυπο στα χαρακτηριστικά χειρισμού ενός οχήματος και έτσι καθορίζουν ουσιαστικά τον χαρακτήρα του. Οι αναρτήσεις έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να επιτυγχάνουν ένα καλό αντιστάθμισμα μεταξύ της πρόσφυσης, της άνεσης οδήγησης, την ασφάλεια χειρισμού, των μεταβολών φορτίου και της κίνησης του άξονα. Τα προηγμένα συστήματα ανάρτησης παρέχουν ένα καλύτερο αντιστάθμισμα μεταξύ τους, αλλά δεν καταργούν τις συγκρούσεις. Η αυξανόμενη σημασία τους αντανακλάται στη μεγαλύτερη αξία που οι ολοένα και πιο απαιτητικοί πελάτες αποδίδουν στις ιδιότητες οδήγησης και άνεσης. Τώρα που οι δυνατότητες των συμβατικών παθητικών συστημάτων εξαντλούνται σε μεγάλο βαθμό, τα προσαρμοστικά και ενεργά συστήματα ανοίγουν νέες δυνατότητες, όπως: η καταστολή των κινήσεων κύλισης και ολίσθησης, ο χειρισμός και το ύψος οδήγησης ανεξάρτητα από το φορτίο, τα χαρακτηριστικά χειρισμού και το ύψος οδήγησης προσαρμόσιμα στην κατάσταση και τον πελάτη. Το ενεργό σύστημα σταθεροποίησης (Active Roll Stabilization- ARS) είναι ένα ενεργό σύστημα ανάρτησης που έχει σχεδιαστεί για να μειώνει την κύλιση του αμαξώματος κατά τη στροφή. Το σύστημα χρησιμοποιεί αισθητήρες στο όχημα για να καθορίσει πότε λαμβάνει χώρα η εκτροπή του αμαξώματος και ρυθμίζει τους υδραυλικούς περιστροφικούς ενεργοποιητές στις ράβδους κατά της κύλισης για να αντισταθμίσουν την ανατροπή. Το σύστημα μπορεί να ρυθμίσει τόσο την πρόσθια και την οπίσθια ράβδο προστασίας των τροχών, με αποτέλεσμα να παρέχει αυξημένη εμπιστοσύνη στους οδηγούς και αυξημένη οδηγική άνεση.

## **ABSTRACT**

Suspension systems have a significant impact on the handling characteristics of a vehicle and thus essentially determine its character. The suspensions are designed to achieve a good balance between grip, driving comfort, handling safety, load changes and axle movement. Advanced suspension systems provide a better balance between them, but they do not eliminate collisions. Their growing importance is reflected in the greater value that ever-demanding customers attribute to driving and comfort. Now that the capabilities of conventional passive systems are depleted to a great extent, adaptive and active systems open up new possibilities such as: depressing the scrolling and sliding movements, handling and driving height regardless of load, handling characteristics and driving height customizable to the status and customer. The Active Roll Stabilization (ARS) is an active suspension system designed to reduce the scroll of the body during cornering. The system uses sensors on the vehicle to determine when the body deflection occurs and adjusts the hydraulic rotary actuators on the scroll bars to compensate for the overturning. The system can adjust both the front and rear wheel protection bars, resulting in increased driver confidence and increased driving comfort.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα τελευταία χρόνια ολοένα και αυξάνονται οι απαιτήσεις για ασφαλέστερη, οικονομικότερη και με άνεση οδηγική εμπειρία γεγονός που επηρεάζει σημαντικά τα διάφορα στάδια της εξέλιξης του οχήματος. Παράλληλα η διερεύνηση των σύγχρονων ερευνών βοηθάει στη συνεχή εξέλιξη των εξαρτημάτων γεγονός που συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας του οχήματος.

Συγχρόνως, η τεχνολογία εξελίσσεται και συμβάλει στην αξιολόγηση της ποιότητας των οχημάτων, όπως φαίνεται μέσα από πληθώρα ερευνών. Η παρούσα πτυχιακή εργασία σκοπό έχει να δώσει στον αναγνώστη τη γνώση εκείνη σχετικά με τις αρχικές χρησιμοποιούμενες αναρτήσεις, την ιστορική εξέλιξη αυτών και την ανάλυση του συστήματος ARS, ενός συστήματος που μπορούμε να την ονομάσουμε «έξυπνη ανάρτηση». Απλουστευμένα παραδείγματα επεξηγούνται με σκοπό να προσδοθεί στην εργασία αυτή το ανάλογο επιστημονικό υπόβαθρο.

Ο λόγος επιλογής του συγκεκριμένου θέματος είναι η διερεύνηση του βαθμού που επηρεάζει η ύπαρξη του συστήματος ARS στο σύστημα ανάρτησης των οχημάτων ώστε να επιτευχθεί η βελτίωση τους. Ερέθισμα ήταν η συμβολή στην επιστημονική γνώση και η απόκτηση εμπειρικά τεκμηριωμένης γνώσης πάνω στο φαινόμενο που μελετάται, όπως αυτή προκύπτει μέσα από την ελληνική και ξένη βιβλιογραφία.

Στο σημείο αυτό επιθυμία μου είναι να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή μου κ. Μπάζιο Ιωάννη, ο οποίος είναι και ο Εισηγητής της εργασίας αυτής, για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια, τις πολύτιμες συμβουλές του και την άριστη καθοδήγηση της εργασίας μου.



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι απαιτήσεις των προμηθευτών στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας αλλάζουν δραματικά. Όλο και περισσότερο, οι προμηθευτές καλούνται να ενσωματώσουν στοιχεία σε πολύπλοκα συστήματα -ένα εγχείρημα που μπορεί μόνο να επιτευχθεί σε συνεργασία με τους κατασκευαστές οχημάτων. Το μέλλον θα φέρει συνεχείς απαιτήσεις για μειωμένη κατανάλωση καυσίμων, εκπομπών, όπως επίσης και περιορισμό του βάρους και του χώρου εγκατάστασης, μαζί με την αυξημένη άνεση, την ασφάλεια και τη δυναμική οδήγησης. Για την επίτευξη αυτών των στόχων, καινοτόμες λύσεις και νέα προϊόντα είναι απαραίτητα.

Πολλές τεχνικές διεργασίες και προϊόντα στον τομέα της μηχανικής και της ηλεκτρομηχανολογίας ολοένα και παρουσιάζουν μια αυξανόμενη εξοικείωση με τα ψηφιακά ηλεκτρονικά και την επεξεργασία πληροφοριών. Αυτή η ενσωμάτωση είναι μεταξύ των συστημάτων (hardware) και των λογισμικών, με αποτέλεσμα τα ολοκληρωμένα συστήματα να ονομάζονται μηχαντρονικά συστήματα. Η ανάπτυξή τους περιλαμβάνει τη βέλτιστη ισορροπία μεταξύ της βασικής μηχανικής δομής, της εφαρμογής του αισθητήρα και του ενεργοποιητή της αυτόματης επεξεργασίας πληροφοριών καθώς και του συνολικού ελέγχου. Μείζονος σημασίας είναι ο ταυτόχρονος σχεδιασμός της μηχανικής και της ηλεκτρονικής, του υλικού και του λογισμικού και οι ενσωματωμένες λειτουργίες ελέγχου με αποτέλεσμα ένα ολοκληρωμένο στοιχείο ή σύστημα.

Αυτή η τεχνική πρόοδος έχει πολύ μεγάλη επίδραση σε πλήθος προϊόντων στον τομέα της μηχανικής, ηλεκτρικής και ηλεκτρονικής μηχανικής και αλλάζει τον σχεδιασμό, για παράδειγμα, συμβατικών ηλεκτρομηχανολογικών εξαρτημάτων, μηχανών, οχημάτων και μηχανικών μηχανισμών ακριβείας με αυξανόμενη ένταση. Αυτή η συμβολή συνοψίζει τις συνεχιζόμενες εξελίξεις για τα μηχανικά συστήματα, παρουσιάζει προσεγγίσεις σχεδιασμού και παραδείγματα μηχαντρονικών προϊόντων και θεωρεί διάφορες ενσωματωμένες λειτουργίες ελέγχου και ακεραιότητας του συστήματος. Ένα πεδίο των συνεχιζόμενων εξελίξεων, η αυτοκινητοβιομηχανία, περιγράφεται λεπτομερέστερα συζητώντας τις μηχανικές αναρτήσεις, τα μηχανικά φρένα, τα ενεργά συστήματα σταθεροποίησης τιμονιού και του συστήματος διεύθυνσης [1].

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.

Η παρούσα εργασία γίνεται στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας και σκοπό έχει να διερευνήσει το σύστημα ανάρτησης και ειδικότερα τη λειτουργία του συστήματος ARS.

Η πτυχιακή εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια όπου το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στον ορισμό, στην περιγραφή και τις κατηγορίες του συστήματος ανάρτησης, καθώς γίνεται και αναφορά στην εξέλιξη αυτών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται λόγος για τα ενεργά ηλεκτρονικά συστήματα υποβοήθησης και σταθεροποίησης και περιγράφεται η ράβδος αντι-κύλισης.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εξέλιξη των μηχανικών λειτουργιών του οχήματος για το πεδίο της τεχνολογίας απόσβεσης, παραθέτοντας τα παθητικά, ημι-ενεργά και ενεργά συστήματα μέσα από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους και γίνεται η μεταξύ τους σύγκριση. Επιπλέον, αναλύεται το σύστημα Dynamic Drive, ένα ενεργειακά βελτιστοποιημένο ενεργό σύστημα σταθεροποίησης κυλίνδρων το οποίο θα έχει την πρώτη εισαγωγή του στις νέες 7 σειρές του BMW Group.

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι κυριότερες διαστάσεις των ενεργών υδραυλικών σταθεροποιητών του Active Roll Stabilization (ARS), συστήματος για την απαλοιφή των κραδασμών και βελτίωση της σταθεροποίησης της συμπεριφοράς του οχήματος και της οδηγικής άνεσης. Καταγράφονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζει το σύστημα, οι πιθανές αιτίες φθοράς της ράβδου και τεχνολογία του.

Στα παραπάνω κεφάλαια παρουσιάζονται ερευνητικά δεδομένα από μελέτες που παρατέθηκαν για μέγιστη κατανόηση του συστήματος αναρτήσεως και του ARS.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> - ΑΝΑΡΤΗΣΗ

Το σύστημα ανάρτησης ενός οχήματος είναι αναμφισβήτητα ένα από τα βασικότερα μέρη του οχήματος. Ο καθορισμός τόσο της γεωμετρίας της ανάρτησης όσο και των διαφόρων σχεδιαστικών παραμέτρων (όπως η σταθερά ελατηρίου και η σταθερά απόσβεσης), επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την απόκριση του συστήματος στις διαταραχές που προέρχονται από το οδόστρωμα, και οι οποίες εισέρχονται στο σύστημα της ανάρτησης. Οι αναρτήσεις σε συνδυασμό με το όχημα συνθέτουν ένα πλήρες ταλαντευτικό σύστημα, στο οποίο μια ομαλή αλλά και έντονη εξασθένηση των ανωμαλιών του οδοστρώματος αποτελεί όχι μόνο στόχο, αλλά και πρόκληση για πολλούς μηχανικούς και κατασκευαστές αυτοκινήτων. Σε γενικές γραμμές, ο έλεγχος του συστήματος ανάρτησης του οχήματος, η αποφυγή της ανατροπής του, και η εκτίμηση της κλίσης του εδάφους, είναι τρεις από τις κύριες ερευνητικές κατευθύνσεις του τομέα της κάθετης δυναμικής του οχήματος.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εστιάζει με τον εξέλιξη του συστήματος ανάρτησης του οχήματος και κυρίως του μοντέλου του ενεργού σταθεροποιητή. Το σύστημα ανάρτησης του οχήματος το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο στην κάθετη δυναμική του οχήματος, ελκύει σήμερα το έντονο ενδιαφέρον των ακαδημαϊκών κοινοτήτων, των ερευνητών, και των βιομηχανιών αυτοκινήτων παγκοσμίως, λόγω των αυξανόμενων απαιτήσεων για την καλύτερη οδηγική άνεση και τη δυνατότητα ελέγχου των οδικών οχημάτων.

### 1.1 Ορισμός ανάρτησης

Ένας γενικός ορισμός της ανάρτησης θα μπορούσε να την καταστήσει ως ένα είδος ελαστικού συνδέσμου, ο οποίος έχει ως θεμελιώδη στόχο να διαχωρίζει τις αναρτημένες μάζες (όπως είναι το πλαίσιο, η μηχανή, οι επιβάτες, κ.ά.) με τις μη αναρτημένες μάζες (δηλαδή οι τροχοί, οι δίσκοι πέδησης, οι άξονες του διαφορικού, κ.ά.) ενός οχήματος, το επονομαζόμενο σύστημα ανάρτησης. Κάθε σύστημα ανάρτησης αποτελείται από ένα σύνολο μηχανικών αρθρώσεων και συναρμογών, όπου με αυτό το σύνολο συνεργάζονται τα ελατήρια και οι αποσβεστήρες ταλαντώσεων (των ελατηρίων) ή αλλιώς αποσβεστήρες κραδασμών (που προέρχονται από τις ανωμαλίες του δρόμου). Τα μέρη από τα οποία αποτελείται μια ανάρτηση αυτοκινήτου λειτουργούν για να ελέγξουν την κατακόρυφη ταλάντωση των τροχών και τη συνεπαγόμενη αυξομείωση της απόστασης τους από το αναρτημένο κυρίως σώμα του

οχήματος. Επίσης εξασφαλίζουν την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ενίσχυση της οδηγικής άνεσης, δηλαδή την μείωση των ταλαντώσεων που φτάνουν στο αμάξωμα και στην καμπίνα των επιβατών, οι οποίες ταλαντώσεις οφείλονται στη διαταραχή του δρόμου, με τη διαταραχή αυτή να αποτελεί την είσοδο στο σύστημα ανάρτησης. Συνεισφέρουν στην ασφάλεια της οδήγησης, στη βελτίωση της συμπεριφοράς του αυτοκινήτου, αλλά και στον ευκολότερο χειρισμό του οχήματος [2].

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η ανάρτηση αποτελεί ένα σύστημα των μηχανοκίνητων τροχοφόρων οχημάτων που εξυπηρετεί την απόσβεση των κραδασμών και συνδέει ελαστικά το αμάξωμα με τους άξονες των τροχών, ελέγχοντας την πρόσφυση στην κίνηση.

## 1.2 Στόχοι συστήματος ανάρτησης

Οι στόχοι ενός συστήματος ανάρτησης είναι οι ακόλουθοι:

- Εξασφαλίζει άνεση στους επιβάτες συνδυασμένη με ασφάλεια στο φορτίο. Αυτό είναι αποτέλεσμα της ρύθμισης της κίνησης του αμαξώματος, αφού ένας από τους ρόλους ενός συστήματος ανάρτησης είναι να απομονώνει το αμάξωμα από τις διαταραχές του εδάφους στο οποίο προσπίπτουν οι τροχοί, όπως επίσης και να απομονώνει το αμάξωμα από τις διαταραχές που σχετίζονται με τις στροφές, οι οποίες προκαλούν διαταραχές στη γωνία κύλισης του αμαξώματος, και με την πέδηση/επιτάχυνση, που προκαλούν διαταραχές επίσης.
- Αντιστέκεται στην περιστροφή του πλαισίου ως προς το διαμήκη άξονα (Rolling)
- Εξασφαλίζει τη συνεχή επαφή των τροχών με το δρόμο και συγχρόνως την ευστάθεια του οχήματος στην πορεία του, μέσω της βέλτιστης διανομής των κάθετων δυνάμεων που ασκούνται από το δρόμο στους τέσσερις τροχούς
- Περιορίζει την καταπόνηση των μερών του οχήματος από τους κραδασμούς
- Συνδέει με ελαστικότητα αλλά και με ομαλότητα, όπως επίσης και με ασφάλεια, τις αναρτημένες με τις μη αναρτημένες μάζες, και μεταδίδει από τις πρώτες στις δεύτερες και αντίστροφα, όλες εκείνες τις δυνάμεις και αντιδράσεις που δημιουργούνται κατά

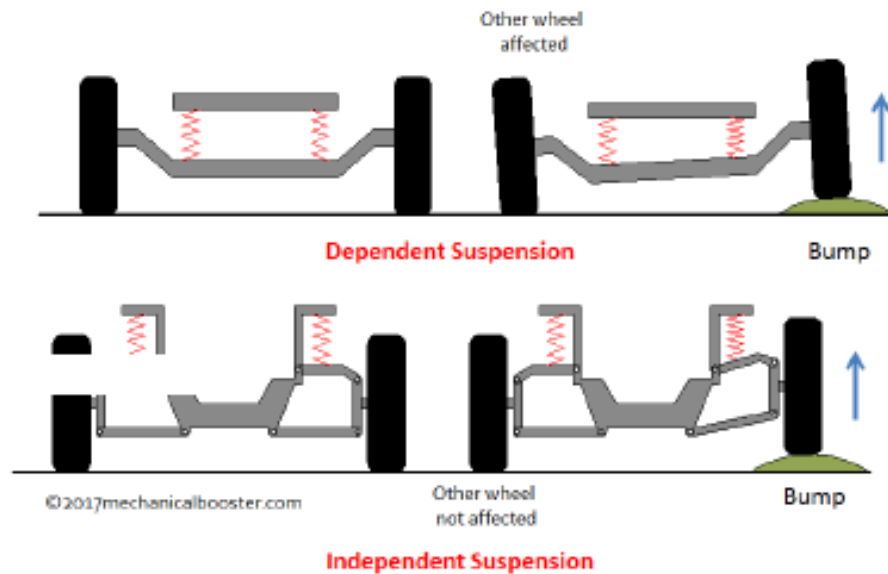
την κίνηση του οχήματος, και οι οποίες γενικά, συνθέτουν τη στατική και δυναμική του κατάσταση, όπως για παράδειγμα τις δυνάμεις του βάρους, της αδράνειας, της επιτάχυνσης

Οι σημαντικές για τη δυναμική του οχήματος ιδιότητες της ανάρτησης φαίνονται κυρίως στην κινηματική συμπεριφορά και στις ροπές που μεταφέρονται στο πλαίσιο από τα ελαστικά. Η χωροταξία, η προσαρμοστικότητα συναρμολόγησης, το κόστος και το βάρος είναι οι επιμέρους παράμετροι για τη δημιουργία ενός συστήματος ανάρτησης [2].

### 1.3 Περιγραφή αναρτήσεων

Όπως αναφέρει ο Μαρινόπουλος [3] στο άρθρο του η ανάρτηση είναι ένας τύπος ελαστικού συνδέσμου μεταξύ των τροχών και του αμαξώματος διαχωρίζοντας τις μάζες του οχήματος σε δυο ομάδες, ως συνέπεια της παρεμβολής της ανάρτησης στις μάζες αυτές μη αναρτώμενη (τροχοί, δισκόφρενα) ή αναρτημένη (αμάξωμα, κινητήρας, επιβάτες κ.α.) [Εικόνα 1.1]:

- Τις μάζες που υπόκεινται άμεσα τους κραδασμούς που δημιουργούνται απ' την τραχύτητα του εδάφους, όπως είναι οι τροχοί και τα εξαρτήματα που συνδέονται σταθερά με τους τροχούς, με τα εξαρτήματα αυτά να είναι οι άξονες του διαφορικού, οι δίσκοι πέδησης. Οι μάζες αυτές ονομάζονται μη αναρτημένες μάζες.
- Τις μάζες που συνδέονται με τους τροχούς μέσω της ανάρτησης (δηλαδή μέσω του ελατηρίου και του αποσβεστήρα), με τις μάζες αυτές να είναι το πλαίσιο, το αμάξωμα, η μηχανή, το κιβώτιο ταχυτήτων, οι επιβάτες, τα φορτία. Οι μάζες αυτές στηρίζονται στα ελατήρια και ονομάζονται αναρτημένες μάζες [4].



Εικόνα 1.1 Εξαρτημένη και ανεξάρτητη ανάρτηση [5].

Έπειτα από την περιγραφή των μαζών, σειρά έχει η περιγραφή των εξαρτημάτων του συστήματος της ανάρτησης. Το ελατήριο αποτελεί το κύριο εξάρτημα μιας ανάρτησης και είναι ένα ελαστικό σώμα που καθώς συμπιέζεται και αλλάζει σχήμα, αποθηκεύει μέσα του ένα ποσό μηχανικής (και συγκεκριμένα δυναμικής) ενέργειας και το απελευθερώνει αμέσως μόλις επανέλθει στο αρχικό του σχήμα. Όλα τα ελατήρια χαρακτηρίζονται από το συντελεστή ακαμψίας. Ο συντελεστής αυτός είναι ο λόγος της δύναμης που ασκεί το ελατήριο για να επαναφερθεί στο μήκος ισορροπίας του, προς το μέγεθος της παραμόρφωσης που προκαλείται.

Στη γενική διάταξη λοιπόν, έχουμε το πλαίσιο του οχήματος το οποίο φέρει το βάρος του κινητήρα, του αμαξώματος, των μηχανικών μερών και των επιβατών. Το πλαίσιο με τη σειρά του στηρίζεται στα ελατήρια, που αποτελούν τη σύνδεση του αυτοκινήτου με τους τροχούς και με το δρόμο. Το βάρος του οχήματος ενεργεί σαν μια αρχική συμπίεση στα ελατήρια.

Τα τελευταία θα συμπιεστούν ακόμα περισσότερο, ή θα εκταθούν, καθώς οι τροχοί περνούν πάνω από ανωμαλίες του δρόμου. Οι τροχοί μπορούν να αλλάζουν θέση σχετικά ανεξάρτητα από το πλαίσιο, καθώς τα ελατήρια παραλαμβάνουν ένα μέρος της κίνησης των τροχών. Έτσι, μέσω της ύπαρξης των ελατηρίων, απομονώνεται όσο το δυνατόν περισσότερο η κίνηση του αμαξώματος από την κίνηση των τροχών. Υψηλός συντελεστής απόσβεσης σημαίνει μεγάλη μείωση ενέργειας που μεταφέρεται στο αμάξωμα, και επομένως μικρότερη δύναμη που ασκείται από τον αποσβεστήρα στο πλαίσιο. Αντιθέτως,

χαμηλός συντελεστής απόσβεσης σημαίνει μικρή μείωση ενέργειας που ασκείται από τον αποσβεστήρα στο πλαίσιο [4].

## 1.4 Κατηγορίες συστημάτων ανάρτησης

Η κατηγοριοποίηση των συστημάτων ανάρτησης γίνεται ανάλογα με τον έλεγχο της ενέργειας που καταναλώνεται ή παράγεται στα συστήματα αυτά. Οι κατηγορίες που διακρίνονται είναι οι εξής:

- Συστήματα παθητικής ανάρτησης (passive suspension)
- Συστήματα ημι-ενεργητικής ανάρτησης (semi-active suspension)
- Συστήματα ενεργητικής ανάρτησης (active suspension)

Ο έλεγχος της ενέργειας αφορά τα συστήματα ενεργητικής και ημι-ενεργητικής ανάρτησης, διότι στα συστήματα παθητικής ανάρτησης, ο έλεγχος αυτός είναι μηδενικός. Η ενέργεια που καταναλώνεται και ελέγχεται αφορά τα συστήματα ημι-ενεργητικής ανάρτησης, και η ενέργεια που ελέγχεται και παράγεται αφορά τα συστήματα ενεργητικής ανάρτησης. Έχουμε λοιπόν ενέργεια που καταναλώνεται στα συστήματα παθητικής ανάρτησης, ενώ στα συστήματα ημιενεργητικής ανάρτησης έχουμε κυρίως ενέργεια που καταναλώνεται, με ένα ελάχιστο ποσό ενέργειας να παράγεται μέσω του ελέγχου της ενέργειας που καταναλώνεται.

Η διαφορά λοιπόν μεταξύ αυτών των δυο συστημάτων είναι ότι στην ημιενεργητική ανάρτηση η ενέργεια που καταναλώνεται ελέγχεται (με αποτέλεσμα να παράγεται ένα ελάχιστο ποσό ενέργειας), ενώ στην παθητική δεν παράγεται ενέργεια, μόνο καταναλώνεται, η οποία ενέργεια δεν ελέγχεται και είναι καθορισμένη. Στα συστήματα ενεργητικής ανάρτησης έχουμε ενέργεια η οποία καταναλώνεται, αλλά και ενέργεια η οποία παράγεται, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα δυο συστήματα αυτής της κατηγοριοποίησης όπου είτε δεν παράγεται ενέργεια (σύστημα παθητικής ανάρτησης), είτε παράγεται ελάχιστο ποσό ενέργειας (σύστημα ημι-ενεργητικής ανάρτησης). Η ενέργεια της ενεργητικής ανάρτησης που παράγεται είναι και αυτή η οποία ελέγχεται.

Στην παθητική ανάρτηση η ενέργεια αυτή είναι μηδενική αφού είδαμε ότι δεν παράγεται ενέργεια. Στην ημιενεργητική η ενέργεια που παράγεται είναι ελάχιστη, ενώ στην ενεργητική

το εύρος της ενέργειας είναι μεγάλο. Στα δυο τελευταία είδη παρατηρείται ότι η ενέργεια που παράγεται “αγγίζει” όλες τις συχνότητες των δονήσεων, αφού ο έλεγχος που εφαρμόζεται σε αυτά φροντίζει να βελτιώνει την οδηγική άνεση και την ευστάθεια του αυτοκινήτου για κάθε συχνότητα δονήσεων. Σε αντίθεση με αυτά τα δυο συστήματα, το σύστημα παθητικής ανάρτησης δεν “αγγίζει” κάποιο εύρος συχνοτήτων, αφού δε βελτιώνει κάποια στοιχεία, όπως κάνουν τα άλλα δυο συστήματα, και η συμπεριφορά του είναι προκαθορισμένη, “αγνοώντας” έτσι οποιαδήποτε συχνότητα δονήσεων [4].

## 1.5 Εξέλιξη αναρτήσεων

Μπορούν να γίνουν διάφοροι διαχωρισμοί των συστημάτων ανάρτησης ανάλογα με τη γεωμετρία της ανάρτησης, αλλά και ανάλογα με το είδος, τα χαρακτηριστικά, και τις ιδιότητες των στοιχείων της. Παρακάτω αναφέρεται η εξέλιξη των αναρτήσεων χρονολογικά [2,6].

### 1.5.1 Άκαμπτος άξονας

Η παλαιότερη μορφή ανάρτησης [εικόνα 1.2], 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 [2,3]



Εικόνα 1.2 Άκαμπτος Άξονας [7].



### **1.5.2 Ημιάκαμπτος άξονας**

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 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].

### **1.5.3 Ανάρτηση με διπλά ψαλίδια**

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.

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 [2,3,6].

### **1.5.4 Ανάρτηση με γόνατα Μακ-Φέρσον (Mac-Pherson)**

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 σασσομαζώματος [2,6].

### **1.5.5 Ανάρτηση παλλαπλών 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 πέλματα 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 [2,6]

## **1.6 Κύρια στοιχεία ανάρτησης**

### **1.6.1 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 λόγο ακαμψίας, 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 [2].

#### A) Ελάσματα (ημι-ελλειπτικά ελατήρια)

Τα ελάσματα 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 ελάσματα μπορούν να παίζουν 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 [2].

#### B) 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, το σε συμπαγή μεταλλικό κύλινδρο. Για να αποφευχθεί η πιθανότητα να συμβεί κάτι τέτοιο, τα ελατήρια αυτά έχουν συνήθως ελαστικά στόπερ (bump stop), 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].

### **1.6.2 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].

### **1.6.3 Αποσβεστήρας ταλαντώσεων («αμορτισέρ»)**

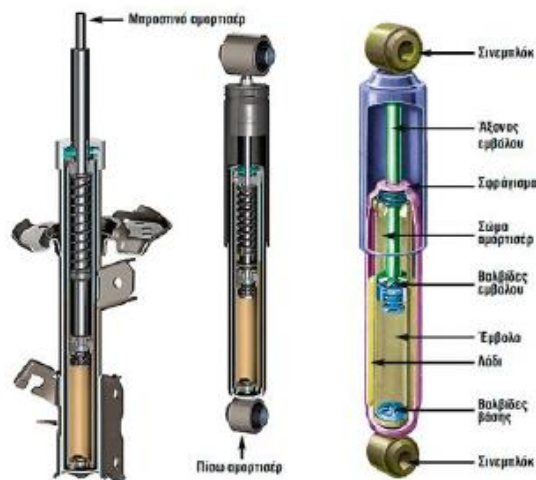
Οι αποσβεστήρες ταλαντώσεων γνωστοί και ως αμορτισέρ, έχουν ως σκοπό να αποσβέσουν τις ταλαντώσεις που δημιουργούνται από τα ελατήρια και είναι ενοχλητικές για τους επιβάτες. Η λειτουργία των αποσβεστήρων βασίζεται κυρίως στην τριβή, που μπορεί να είναι ξηρή ή υγρή. Γι' αυτό και οι αποσβεστήρες διακρίνονται σε ξηρής τριβής και υγρής τριβής ή υδραυλικούς [2].

α) Υδραυλικός τηλεσκοπικός αποσβεστήρας

Η αρχή λειτουργίας του υδραυλικού αμορτισέρ [εικόνα 1.6.3.α] βασίζεται στο ότι, με την κίνηση της ανάρτησης, ένα μικρό έμβολο αναγκάζεται σε παλινδρόμηση μέσα σε έναν κύλινδρο γεμάτο με κάποιο υγρό. Το υγρό πιέζεται και αναγκάζεται να περάσει μέσα από κάποια ή κάποιες οπές. 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 (συμπύεση 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 [2].



Εικόνα 1.3 Τομή τηλεσκοπικού υδραυλικού αμορτισέρ [8].

## β) Μαγνητοροϊκά αμορτισέρ

Αποτελούν δημιουργία της αμερικανικής 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 την 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*, έως τόσο παχύρρευστο όσο μία βαλβολίνη *SAE 80*. Και αυτό σχεδόν ακαριαία, χωρίς τη συμμετοχή κινούμενων μερών. Το μαγνητοροϊκό αμορτισέρ [εικόνα 1.6.3.β] είναι ένας απλός 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 [2].



**Εικόνα 1.4 : Μαγνητοροϊκό αμορτισέρ [9].**

#### γ) Ρυθμιζόμενα αμορτισέρ

Τα περισσότερα τέτοια συστήματα [εικόνα 1.4] λειτουργούν μέσω μιας ή δυο ηλεκτρομαγνητικά ελεγχόμενων διόδων του υδραυλικού υγρού, οι οποίες παίζουν το ρόλο του bypass μίας 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 ή 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" [2].



Εικόνα 1.5 : Ρυθμιζόμενα αμορτισέρ [10].

#### 1.6.4 Σάιλεντ Μπλοκ (Σινεμπλόκ) - («Silent block»)

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 συγκόλληση, ελαστικό χιτώνιο (ελαστικός δακτύλιος). Οι σύνδεσμοι αυτοί που είναι γνωστοί ως «σάιλεντ μπλοκ» (λανθασμένα αναφέρονται και ως "σινεμπλόκ"), έχουν ως σκοπό τη μεταφορά δυνάμεων μεταξύ αναρτημένων και μη αναρτημένων μερών του αυτοκινήτου με ελαστικότητα και παράλληλα, με αθόρυβη λειτουργία [2].

#### 1.6.5 Αντιστρεπτική ράβδος

Η χρήση της «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 ράβδος. Αυτή δεν είναι παρά μια ράβδος με πολυμορφικά άκρα που στηρίζεται στο σασί με δυο αρθρώσεις, μέσα στις οποίες μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα. Κάθε άκρο συνδέεται με μια ανάρτηση. Το ένα

άκρο ανεβαίνει, το άλλο κατεβαίνει και η αντιστρεπτική ράβδος 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, τόσο περιορίζονται οι κλίσεις του αμαξώματος. Η διάμετρος της στα περισσότερα αυτοκίνητα παραγωγής κυμαίνεται από 2 ως 5 εκατοστά. Το ιδανικό είναι, σε κάθε αυτοκίνητο να βρίσκεται η σωστή αναλογία που αφορά στο μέγεθος της ράβδου, ώστε να μην εντείνει αυτό το φαινόμενο, αλλά και να είναι όσο αποτελεσματική χρειάζεται.

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.

Η αντιστρεπτική ράβδος (γνωστή και ως «ζανφόρ») είναι μία ράβδος-ελατήριο που συνήθως έχει σχήμα Π και δεν συνδέει τους τροχούς με το σασί, όπως όλα τα ελατήρια των αναρτήσεων, αλλά συνδέει τον κάθε τροχό με τον απέναντι της άλλης πλευράς, έτσι που όταν η ανάρτηση του ενός τροχού συμπιεστεί, να μεταφερθεί η πίεση, ελαστικά, και στην ανάρτηση του άλλου. Ανάλογα με τη σκληρότητα της ράβδου αυτής, αλλά και των μοχλικών δυνάμεων της έδρασής της, επηρεάζεται η αντίσταση του αυτοκινήτου στο φυγοκεντρικό ρολάρισμα. Η αντιστρεπτική ράβδος μπορεί να περιορίσει το ρολάρισμα επειδή κάνει το ελατήριο του εξωτερικού τροχού να συμπεριφέρεται σαν πιο σκληρό απ' όσο πραγματικά είναι, γιατί «βοηθιέται» απ' το ελατήριο του εσωτερικού τροχού, το οποίο χωρίς αυτήν θα ήταν ελάχιστο ή καθόλου φορτισμένο. Έτσι σε επίπεδο σχεδιασμού, οι αντιστρεπτικοί ράβδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ρυθμίσουν την οδική συμπεριφορά το ονομαζόμενο και σύστημα αντικύλησης [2].

Η ενεργή αντιστρεπτική ράβδος (AARB) [εικόνα 1.6] έχει σχεδιαστεί για να αυξάνει την άνεση του οχήματος, να μειώνει την πλευρική μεταφορά φορτίου και να ενισχύει την ασφάλεια και την απόδοση του οχήματος [11].





Εικόνα 1.6 : Λειτουργία της αντι-στρεπτικής ράβδου [12].

## 1.7 Σύνοψη κεφαλαίου

Το σύστημα ανάρτησης του αυτοκινήτου είναι υπεύθυνο για την εξομάλυνση της οδήγησης και τη διατήρηση του αυτοκινήτου υπό έλεγχο. Συγκεκριμένα, το σύστημα ανάρτησης μεγιστοποιεί την πρόσφυση μεταξύ των ελαστικών και του δρόμου ώστε να προσφέρει σταθερότητα στο τιμόνι και καλό χειρισμό. Το σύστημα ανάρτησης παρέχει επίσης άνεση στους επιβάτες να περιορίζουν την επίδραση συγκεκριμένων οδικών συνθηκών όχι μόνο στο αυτοκίνητο, αλλά και στους ίδιους τους επιβάτες..

Το σύστημα ανάρτησης αποτελείται από διάφορα εξαρτήματα, συμπεριλαμβανομένου του πλαισίου, το οποίο συγκρατεί την καμπίνα του αυτοκινήτου. Συνοψίζοντας στο παραπάνω κεφάλαιο αναφέρθηκε το σύστημα ανάρτησης και τα στοιχεία ελέγχου του, που περιλαμβάνουν τα ελατήρια, τα αμορτισέρ και τους σταθεροποιητές. Τα ελατήρια υποστηρίζουν το βάρος του οχήματος, απορροφούν και μειώνουν την υπερβολική ενέργεια από οδικά ατυχήματα, μαζί με τα αμορτισέρ και τις αντηρίδες. Παρουσιάζονται τα διάφορα είδη αξόνων και ο στόχος της ανάρτησης. Η δυναμική της κύλισης του οχήματος επηρεάζεται έντονα από τις ιδιότητες ανάρτησης, όπως το ύψος του κέντρου των κυλίνδρων, τον οδηγό κυλίνδρων και την καμπυλότητα. Δεν υπήρξαν αξιοσημείωτες αλλαγές σε συσκευές ελέγχου, αλλά σύμφωνα με τις πρόσφατες τάσεις, η ανάρτηση με αέρα και τα ηλεκτρονικά ελεγχόμενα αμορτισέρ υιοθετήθηκαν κυρίως σε καινούριας τεχνολογίας οχήματα. Το τέλος του κεφαλαίου επικεντρώνεται στην κατανόηση της δυναμικής συμπεριφοράς του οχήματος υπό την επίδραση και τις επιπτώσεις του μηχανισμού αντεστραμμένων ράβδων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> - ΕΝΕΡΓΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΒΟΗΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Την τελευταία δεκαετία έχουν ληφθεί σημαντικά μέτρα για τη βελτίωση της ασφάλειας των οχημάτων μέσω της συστήματα ασφαλείας που λειτουργούν με φρένο, όπως σύστημα αντιμπλοκαρίσματος φρένων (ABS) και ηλεκτρονική ευστάθεια ελέγχου (ESC). Το πρώτο σύστημα αυξάνει σημαντικά την ελεγχόμενη ικανότητα του οχήματος σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης καταστάσεις πέδησης εμποδίζοντας το μπλοκάρισμα του τροχού. Δεδομένου ότι ένας μπλοκαρισμένος τροχός μπορεί να παράγει μόνο μια δύναμη αντίθετα από την κατεύθυνση του, είναι άχρηστο σε έναν ελιγμό διαφυγής, καθώς δεν υπάρχουν πλευρικές δυνάμεις που μπορεί να αναπτύξει. Με τον έλεγχο της πίεσης πέδησης, το ABS προσπαθεί να διατηρήσει την περιστροφή του τροχού, επιτρέποντας έτσι στο ελαστικό να παράγει επίσης μια πλευρική δύναμη. Το σύστημα ESC επηρεάζει την εκτροπή και την πλευρική δυναμική του οχήματος με ξεχωριστή πέδηση ανά τροχό, διορθώνοντας την πορεία του [13].

Το ABS εισήχθη για πρώτη φορά στα μέσα της δεκαετίας του '80, ήταν αυστηρά ένα σύστημα πέδησης για την αποτροπή ακινητοποίησης και της ολίσθησης του τροχού. Στη συνέχεια προστέθηκε ο έλεγχος πρόσφυσης καθώς η τεχνολογία εξελίχθηκε για να αποτρέψει την περιστροφή του τροχού κατά την επιτάχυνση. Ο ηλεκτρονικός έλεγχος ευστάθειας (ESC) επιτρέπει στα συστήματα ABS να φρενάρουν αυτόματα τους επιμέρους τροχούς όπως απαιτείται για τη βελτίωση του χειρισμού και του ελέγχου διεύθυνσης σε όλες τις συνθήκες οδήγησης.

Στα σύγχρονα αυτοκίνητα χρησιμοποιούνται σύγχρονα ενεργές τεχνολογίες όπως η ηλεκτρονική σταθερότητα ελέγχου (ESC). Το ESC είναι χαρακτηριστικό ασφαλείας που ανιχνεύει και παρεμποδίζει (ή ανακάμπτει από) ολισθήσεις. Μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση του ο οδηγός από το να χάσει τον έλεγχο του αυτοκινήτου σε μια διαταραχή πανικού ή όταν κινείται σε ολισθηρούς δρόμους. Η General Motors χρησιμοποιεί Active Stability Control (ASC) που βοηθά τους οδηγούς να διατηρούν σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες και κατά τη διάρκεια έκτακτης ανάγκης το όχημα σταθερό. Στα οχήματα της BMW είναι ο Δυναμικός Σταθερός Έλεγχος (DSC) που χρησιμοποιείται. Το DSC προσθέτει ασφάλεια στον έλεγχο του οχήματος ακόμη και σε δυσμενείς συνθήκες οδήγησης ή σε ανώμαλα οδοστρώματα. Εξασφαλίζει τα υψηλότερα δυνατά επίπεδα σταθερότητας κατά την

οδήγηση και μεγιστοποιεί την πρόσφυση όλων των τροχών κατά την εκκίνηση ή την επιτάχυνση [14].

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται η λειτουργία των συστημάτων πέδησης (ABS), του συντονισμένου ελέγχου του ηλεκτρονικού ελέγχου ευστάθειας (ESC) και μεταγενέστερα ως ηλεκτρονικό πρόγραμμα ευστάθειας ή ηλεκτρονικός έλεγχος ευστάθειας (Electronic Stability Programme) γνωστό ως ESP, του ελέγχου συνεχούς απόσβεσης (CDC) και του ενεργού συστήματος ελέγχου κύλισης (ARC).[15].

## 2.1 Σύστημα ABS

Το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος τροχών (Anti-Block System) είναι ηλεκτρονικό και μηχανικό σύστημα ελέγχου της κίνησης των τροχών κατά τη διαδικασία φρεναρίσματος ενός οχήματος έτσι ώστε να αποφεύγεται η συνεχής ακινητοποίηση τους (μπλοκάρισμα). Το μπλοκάρισμα των τροχών είναι μη επιθυμητό κατά το φρενάρισμα ενός αυτοκινήτου γιατί μειώνει σημαντικά την πρόσφυση του, δηλαδή μειώνει τη δυνατότητα αλλαγής πορείας και υπό ορισμένες συνθήκες αυξάνει σημαντικά το χρόνο που απαιτείται για την ακινητοποίηση του. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή πέδησης στον περιστρεφόμενο τροχό και με αυτόν τον τρόπο μεταφέρει περισσότερη δύναμη στον τροχό με καλύτερη πρόσφυση.

Η όλο και μεγαλύτερη ανάγκη για μείωση των ατυχημάτων, τα οποία προκαλούνται από την αυξανόμενη πυκνότητα της κυκλοφορίας και τις υψηλότερες ταχύτητες και τα οποία έχουν ως συνέπεια μεγάλους αριθμούς νεκρών και τραυματιών, οδήγησε τα τελευταία χρόνια την παγκόσμια αυτοκινητοβιομηχανία σε εντατικές προσπάθειες για βελτίωση τόσο της ενεργητικής όσο και της παθητικής ασφάλειας των οχημάτων. Σημαντική συμβολή στην ενίσχυση της ενεργητικής ασφάλειας έχει προσφέρει τις τελευταίες δεκαετίες το Σύστημα Αντιμπλοκαρίσματος Τροχών (ABS).

Το ABS ελέγχει την πίεση των υγρών των φρένων που εφαρμόζεται στον κύλινδρο του φρένου κάθε τροχού από την αντλία των φρένων, ώστε να μη μπλοκάρει κανένας τροχός, ακόμη και όταν το πεντάλ έχει πατηθεί με μεγάλη δύναμη. Εξασφαλίζει έτσι την ικανότητα πλήρους ελέγχου του αυτοκινήτου και την ευστάθεια πορείας κατά το φρενάρισμα. Η πορεία που θα ακολουθήσει ένα αυτοκίνητο εάν μπλοκάρουν οι τροχοί κατά το φρενάρισμα, διαφέρει ανάλογα με την ύπαρξη ή μη συστήματος ABS. Το αυτοκίνητο χωρίς ABS θα στρίψει με κατεύθυνση τη στροφή αλλά και ταυτόχρονα θα ακολουθήσει περιστροφή του αυτοκινήτου

γύρω από τον άξονά του, με αποτέλεσμα να εκτραπεί από την πορεία του. Αντίθετα, το αυτοκίνητο με ABS θα παραμείνει στη διεύθυνση κίνησης επάνω στη στροφή χωρίς ιδιαίτερο πρόβλημα [16].

Χρησιμοποιώντας αισθητήρες και άλλα ηλεκτρονικά συστήματα, μπορεί να εφαρμόσει τα φρένα όπως απαιτείται, να μειώσει την ισχύ του κινητήρα και με το ενεργό σύστημα διεύθυνσης μπορεί να κάνει μικρές διορθώσεις διεύθυνσης για να κρατήσει το αυτοκίνητο υπό έλεγχο.

Το ABS προσφέρει στον οδηγό, εκτός από τη διατήρηση της σταθερότητας και του ελέγχου του αυτοκινήτου κατά το φρενάρισμα τόσο στην ευθεία όσο και στις στροφές, και τις παρακάτω λειτουργίες [17]:

- Ενώ εφαρμόζεται δύναμη φρεναρίσματος από τον οδηγό και πριν ενεργοποιηθεί ο μηχανισμός του ABS, η δύναμη κατανέμεται μεταξύ των μπροστινών και πίσω τροχών, έτσι ώστε να μη μπλοκάρουν οι οπίσθιοι τροχοί πολύ νωρίτερα από τους πρόσθιους και να εξασφαλιστεί η σταθερή πορεία του αυτοκινήτου
- Επιτυγχάνεται συχνά το ιδανικό διάστημα πέδησης σε ξηρές και ολισθηρές επιφάνειες
- Το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος τροχών ABS εκμεταλλεύεται σχεδόν πλήρως τα όρια που παρέχουν οι φυσικές ιδιότητες των ελαστικών και του οδοστρώματος.

## **2.2 Λειτουργία του συστήματος ABS**

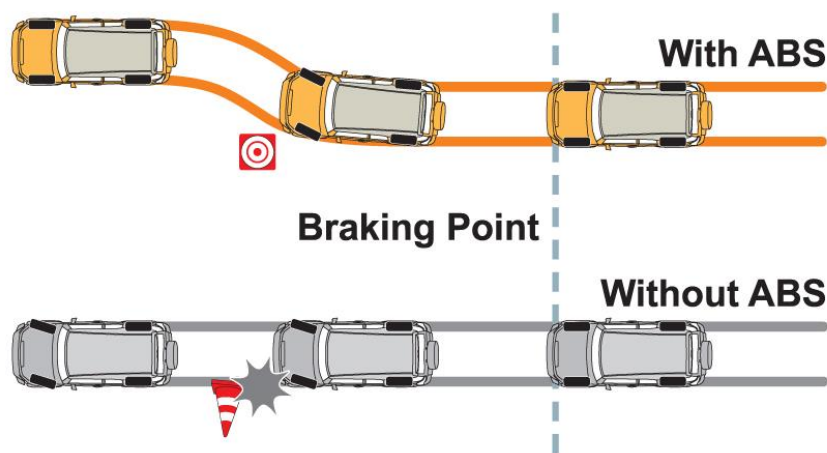
Η απόδοση ενός συστήματος πέδησης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, που έχουν άμεση ή έμμεση σχέση με το σύστημα και επηρεάζουν τη συνολική επιβράδυνση του αυτοκινήτου.

Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η συνολική απόδοση του συστήματος πέδησης είναι:

1. Η λειτουργική κατάσταση του συστήματος πέδησης και ιδιαίτερα ο συντελεστής τριβής που αναπτύσσεται ανάμεσα σε τύμπανο – σιαγόνες ή ανάμεσα σε δίσκους – τακάκια.
2. Η κατάσταση των ελαστικών και του οδοστρώματος και ο συντελεστής τριβής μεταξύ ελαστικών και οδοστρώματος.

Κατά το φρενάρισμα αναπτύσσεται μία δύναμη τριβής μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος. Ταυτόχρονα δημιουργείται ολίσθηση ανάμεσα στο ελαστικό και την επιφάνεια του οδοστρώματος. Όσο πιο μεγάλος είναι ο συντελεστής τριβής και όσο πιο μικρό το ποσοστό της ολίσθησης κάθε τροχού, τόσο συντομότερη είναι και η απόσταση φρεναρίσματος [16].

Το σύστημα ABS [εικόνα 2.1] δημιουργεί τέτοιες συνθήκες δυνάμεων πέδησης στον τροχό έτσι, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δύναμη τριβής. Ταυτόχρονα απομένει μία αρκετά μεγάλη δύναμη πλάγιας ευστάθειας για να υπάρχει ικανότητα εκτέλεσης ελιγμών και να εξασφαλίζεται η ευστάθεια της πορείας.



Εικόνα 2.1 : Anti-roll braking system [17].

Για να επιτύχει τις παραπάνω ιδανικές συνθήκες πέδησης, το σύστημα ABS ελέγχει την πίεση των υγρών των φρένων. Ο έλεγχος της πίεσης των υγρών των φρένων περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια λειτουργίας του συστήματος:

1. Την αύξηση της πίεσης
2. Την συγκράτηση της πίεσης σε σταθερή τιμή
3. Την μείωση της πίεσης

Η αρχική αύξηση της πίεσης προέρχεται από τη δύναμη που ασκεί ο οδηγός στο πεντάλ του φρένου. Στη συνέχεια η συγκράτηση, η μείωση και η αύξηση πάλι της πίεσης γίνεται από το ίδιο το σύστημα. Με τον τρόπο αυτό, το μπλοκάρισμα των τροχών καθίσταται αδύνατο ενώ η πέδηση πραγματοποιείται στο σημείο της μέγιστης δυνατής τριβής, επιτυγχάνοντας το

βέλτιστο δυνατό φρενάρισμα του οχήματος. Σημειώνεται ότι τα οχήματα που διαθέτουν σύστημα αντιμπλοκαρίσματος τροχών, ακριβώς εξαιτίας του γεγονότος ότι οι τροχοί δεν μπλοκάρουν δεν δημιουργούν ίχνη πέδησης των ελαστικών στο οδόστρωμα [16].

Πλεονεκτήματα του ABS:

- Μειώνει την πιθανότητα σύγκρουσης με ένα αντικείμενο που βρίσκεται στο προσκήνιο
- Καλύτερος έλεγχος του οχήματος σε χιονισμένες και βροχερές περιοχές με ολισθηρούς δρόμους
- Αυξάνει τη διάρκεια ζωής του ελαστικού

Για να ελέγχεται καλύτερα η δυναμική του οχήματος κάτω από όλες τις συνθήκες οδήγησης, το σύστημα ABS χρειάζεται μερικές πρόσθετες εισόδους. Περιλαμβάνει έναν αισθητήρα γωνίας τιμονιού για την παρακολούθηση των εισόδων διεύθυνσης του οδηγού, έναν αισθητήρα περιστροφής για την ανίχνευση αλλαγών στην ορμή του οχήματος που μπορεί να οδηγήσουν το όχημα να σβήνει, να υπερδιέχει ή να μην υποβιβάζεται και έναν αισθητήρα πλευρικής επιτάχυνσης στην επιβράδυνση. Όταν ο οδηγός κατευθύνει το όχημα, ο αισθητήρας γωνίας διεύθυνσης διατηρεί την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου ABS ενήμερη σχετικά με το σημείο στο οποίο ο οδηγός στοχεύει το όχημα και το ρυθμό με τον οποίο περιστρέφεται το τιμόνι (γρήγορο ή αργό) [18].

Ταυτόχρονα, η ηλεκτρονική μονάδα του ABS ελέγχει τους αισθητήρες ταχύτητας τροχού για να διαπιστώσει εάν υπάρχουν διαφορές στις ταχύτητες περιστροφής του δεξιού και αριστερού εμπρός και πίσω τροχού. Η περιστροφή του εσωτερικού τροχού γίνεται με ρυθμό λίγο πιο αργό από τον εξωτερικό τροχό. Εάν η υποστροφή του οχήματος χάνει την εμπρόσθια πρόσφυση και αυξάνεται σε μια στροφή, η διαφορά ταχύτητας μεταξύ του αριστερού και δεξιού μπροστινού τροχού μειώνεται [18].

Το ABS συνδυάζεται με διάφορα επιμέρους ηλεκτρονικά συστήματα υποβοήθησης πέδησης, όπως είναι ο ηλεκτρονικός κατανεμητής πίεσης των φρένων και το σύστημα βοήθειας φρεναρίσματος έκτακτης ανάγκης. Αυτά συμβάλλουν στην βέλτιστη πίεση των φρένων και τη μέγιστη δυνατή μικρότερη απόσταση ακινητοποίησης. Βέβαια εδώ μεγάλο ρόλο παίζει η κατάσταση και ποιότητα του οδοστρώματος και τα ελαστικά.

Εάν το λογισμικό ελέγχου ευστάθειας στη μονάδα ελέγχου ABS ανιχνεύσει μια διαφορά στις κανονικές ταχύτητες περιστροφής μεταξύ του αριστερού και του δεξιού τροχού κατά τη στροφή, μειώνει αμέσως την ισχύ του κινητήρα και εφαρμόζει αντιστρεπτή πέδηση σε μεμονωμένους τροχούς, εφόσον είναι απαραίτητο μέχρι να επανέλθει ο έλεγχος διεύθυνσης και η σταθερότητα του οχήματος. Αυτή η τελευταία λειτουργία, ανάλογα με τις ειδικές δυνατότητες και την εφαρμογή της, είναι γνωστή ως ηλεκτρονική κατανομή φορτίου πέδησης, σύστημα ελέγχου πρόσφυσης, υποβοήθηση πέδησης έκτακτης ανάγκης ή ηλεκτρονικός έλεγχος ευστάθειας [16].

Το ESP συνδυάζεται με το ABS (σύστημα αντιολίσθησης τροχών), το οποίο παρεμβαίνει στα φρένα των κινητήριων τροχών και στον κινητήρα για να μειώσει το σπινάρισμα. Από την άλλη πλευρά το σύστημα ελέγχου δυναμικής συμπεριφοράς ESP παρεμβαίνει στα φρένα ενός ή περισσότερων τροχών και στον κινητήρα προκειμένου να διατηρήσει το αυτοκίνητο στην επιθυμητή πορεία. Ωστόσο, το ESP δεν μπορεί να κάνει θαύματα όταν ξεπεραστούν τα όρια των νόμων της φυσικής.

Το ηλεκτρονικό πρόγραμμα ευστάθειας ή ηλεκτρονικός έλεγχος ευστάθειας (ESP), είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ενεργητικής ασφάλειας των σύγχρονων αυτοκινήτων, που βελτιώνει την ευστάθειά τους κατά την οδήγηση. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι πολύπλοκες συνθήκες λειτουργίας και να βελτιώσει την ασφάλεια, την απόδοση και την άνεση των οχημάτων χρησιμοποιούνται διάφορα ενεργά συστήματα ελέγχου, όπως ABS, 4WS, ESP και ημιενεργή / ενεργή ανάρτηση και ενεργή αντιολισθητική ράβδος [15].

Υπάρχουν δύο δυνατότητες για την κατανομή των κατακόρυφων δυνάμεων στους τροχούς της ροπής στη σταθεροποίηση της πλευρικής δυναμικής. Η πρώτη βάση του ελέγχου της πλευρικής σταθερότητας του οχήματος είναι οι μη γραμμικές ιδιότητες των ελαστικών. Ως αποτέλεσμα αυτής της μη γραμμικότητας, η άνιση κατανομή των κατακόρυφων δυνάμεων στα ελαστικά οδηγεί σε άνιση κατανομή των πλευρικών δυνάμεων και επομένως σε παραγωγή στροφής. Η δεύτερη δυνατότητα σχετίζεται με τον έλεγχο ανάρτησης για τη συνέργεια του με το ESP, μια εξέλιξη του ESC. Η ιδέα είναι να αυξηθούν κατακόρυφες δυνάμεις στους τροχούς όπου ελέγχεται από το ESP εφαρμόζοντας τη δύναμη του φρεναρίσματος.

Το ABS (Anti-lock Braking System) τοποθετείται υποχρεωτικά σε όλα τα αυτοκίνητα που πωλούνται στην Ε.Ε. από το 2007, ενώ το ESP (Electronic Stability Program) ή ESC

(Electronic Stability Control) ή DSC (Dynamic Stability Control) ανήκει στο βασικό εξοπλισμό υποχρεωτικά από το 2014.

### 2.3 Σύστημα ESP

Ο ηλεκτρονικός έλεγχος ευστάθειας (ESC), είναι ένα σύστημα αποφυγής συγκρούσεων επί των οχημάτων και έχουν σχεδιαστεί για να βοηθούν τους οδηγούς να διατηρούν τον έλεγχο κατά τη διάρκεια ελιγμών έκτακτης ανάγκης [εικόνα 2.2].

Η πρώτη εμπορική ονομασία ESC αναπτύχθηκε μεταξύ 1987 και 1992 από τη Mercedes-Benz και Robert Bosch GmbH. Σήμερα τα συστήματα ESC διατίθενται με εμπορικές ονομασίες όπως AdvanceTrac, δυναμικός έλεγχος ευστάθειας (DSC), δυναμικός έλεγχος ευστάθειας και έλξης (DSTC), Ηλεκτρονικό πρόγραμμα ευστάθειας (ESP), Δυναμικό έλεγχο οχήματος (VDC), Σύστημα υποβοήθησης σταθερότητας οχήματος (VSA), Έλεγχος ευστάθειας οχήματος (VSC), Έλεγχος ολίσθησης οχήματος (VSC), Βελτιωμένη ευστάθεια οχήματος (VSE), StabiliTrak και διαχείριση ευστάθειας Porsche (PSM). Αυτά τα προϊόντα διαφέρουν σε συνδυασμό των ενεργοποιητών που χρησιμοποιούνται και των συνθηκών για την ενεργοποίηση της στρατηγικής ελέγχου [19].

Αν το όχημά διαθέτει το ESP, τότε αυτό παρέχει άλλα δύο ενεργά συστήματα ασφαλείας: το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος ABS και το σύστημα ελέγχου πρόσφυσης TCS. Το ABS εμποδίζει το κλείδωμα των τροχών κατά τη διάρκεια της πέδησης. Το TCS αποτρέπει την περιστροφή των τροχών κατά την εκκίνηση και την επιτάχυνση. Ενώ το ABS και το TCS παρεμβαίνουν στη διαμήκη δυναμική του οχήματος, το ESP βελτιώνει επιπλέον την πλευρική δυναμική, εξασφαλίζοντας σταθερή οδήγηση προς όλες τις κατευθύνσεις.

Το 80% των κατασκευαστών οχημάτων στην Ευρώπη χρησιμοποιούν το ακρωνύμιο ESP για το ηλεκτρονικό πρόγραμμα ευστάθειας. Ορισμένες αυτοκινητοβιομηχανίες κυκλοφορούν στο εμπόριο το ESP με διαφορετικά ονόματα, όπως το DSC (Dynamic Stability Control), το VSA (Vehicle Stability Assist) ή το VSC (Control Stability Control) [20].

Διεθνείς μελέτες δείχνουν ότι τουλάχιστον το 40 τοις εκατό όλων των θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων προκαλούνται από ολίσθηση. Το ESP θα μπορούσε να αποτρέψει μέχρι και το 80% όλων των συγκρούσεων ολίσθησης. Το ESP αναγνωρίζει αν επικρατεί ολίσθηση και παρεμβαίνει πολύ γρήγορα. Ο οδηγός παραμένει υπό τον έλεγχο του οχήματος και δεν εισέρχεται σε ολίσθηση, εφόσον δεν σημειώνεται υπέρβαση των φυσικών ορίων. Παρά την βελτίωση της παθητικής ασφάλειας και τις προσπάθειες αλλαγής της συμπεριφοράς του οδηγού, ο απόλυτος αριθμός τροχαίων ατυχημάτων το 2002 αυξήθηκε στο υψηλότερο επίπεδο



από το 1990 στην US. Το ESP είναι μια ενεργή τεχνολογία ασφάλειας που βοηθά τον οδηγό να κρατήσει το όχημα στο και έτσι βοηθά στην πρόληψη ατυχημάτων. Το ESP είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό για τη διατήρηση του οχήματος στο δρόμο και για την άμβλυση των ατυχημάτων ανατροπής που αντιπροσωπεύουν πάνω από το 1/3 του συνόλου των θανάτων σε ατυχήματα με ένα μόνο όχημα. Το 1995 η Bosch ήταν ο πρώτος προμηθευτής για την εισαγωγή ηλεκτρονικού ελέγχου ευστάθειας (ESC) S-Class sedan [21].

Το ESP είναι πάντα ενεργό. Ένας μικροϋπολογιστής παρακολουθεί τα σήματα από τους αισθητήρες ESP και ελέγχει 25 φορές το δευτερόλεπτο, αν η είσοδος διεύθυνσης του οδηγού αντιστοιχεί στην πραγματική κατεύθυνση στην οποία κινείται το όχημα. Εάν το όχημα κινείται προς μια διαφορετική κατεύθυνση, το ESP ανιχνεύει την κρίσιμη κατάσταση και αντιδρά αμέσως - ανεξάρτητα από τον οδηγό. Χρησιμοποιεί το σύστημα πέδησης του οχήματος για να "κατευθύνει" το όχημα πίσω στην πίστα. Με αυτές τις επεμβάσεις επιλεκτικής πέδησης, το ESP παράγει την επιθυμητή δύναμη εξουδετέρωσης, έτσι ώστε το αυτοκίνητο να αντιδρά, όπως προτίθεται ο οδηγός. Το ESP δεν ενεργοποιεί μόνο την παρέμβαση πέδησης, αλλά μπορεί επίσης να παρέμβει στην πλευρά του κινητήρα για να επιταχύνει τους κινητήριους τροχούς. Έτσι, μέσα στα όρια της φυσικής, το αυτοκίνητο διατηρείται με ασφάλεια στην επιθυμητή διαδρομή [20].

Το σύστημα ESP αποτελεί μετεξέλιξη των συστημάτων ABS και traction control system και περιλαμβάνει τα ίδια εξαρτήματα με τα δύο αυτά συστήματα και έναν μεγάλο αριθμό αισθητήρων που έχουν την ικανότητα να «προβλέπουν» πιθανή απώλεια ελέγχου του οχήματος.

Οι επιπρόσθετοι αυτοί αισθητήρες είναι οι εξής:

- Αισθητήρας γωνίας στροφής τιμονιού
- Αισθητήρας γωνίας στροφής του οχήματος. Τα στοιχεία συγκρίνονται με αυτά του προηγούμενου αισθητήρα, ώστε να ανιχνευτεί τυχόν απόκλιση μεταξύ της επιθυμητής από τον οδηγό πορείας και της πραγματικής πορείας του αυτοκινήτου
- Αισθητήρας ταχύτητας και επιτάχυνσης του αυτοκινήτου
- Αισθητήρας ταχύτητας για τον κάθε τροχό του αυτοκινήτου ξεχωριστά
- Αισθητήρας πλευρικής και γωνιακής επιτάχυνσης

Όλοι οι παραπάνω αισθητήρες ελέγχονται πλήρως από μία Κεντρική Ηλεκτρονική Μονάδα, η οποία διαρκώς επεξεργάζεται τις πληροφορίες που λαμβάνει και τις συγκρίνει με τις εντολές του οδηγού 25 φορές / δευτερόλεπτο. Με βάση τον συνδυασμό όλων αυτών των πληροφοριών, μπορεί να αντιληφθεί εγκαίρως αν υπάρχει απόκλιση μεταξύ των εντολών του οδηγού και της πορείας του οχήματος. Αν διαπιστώσει κίνδυνο εκτροπής από την επιθυμητή πορεία, τότε:

- ενεργοποιεί το φρένο του κατάλληλου τροχού ή τροχών και τον / τους φρενάει (στην πρωταρχική του μορφή - σε κάποια παλαιότερα μοντέλα, η μορφή αυτή αναφερόταν ως Σύστημα Ευστάθειας στις Στροφές / Cornering Stability Control / CSC, σε αντιδιαστολή με το πλήρες ESP και είχε υπό έλεγχο το σύστημα πέδησης κατά την οδήγηση σε στροφές)
- στα νεότερα μοντέλα μπορεί ακόμα και να μειώσει προσωρινά την ισχύ του κινητήρα, ώστε να σταθεροποιήσει το αυτοκίνητο και να βοηθήσει τον οδηγό να το επαναφέρει στην επιθυμητή πορεία του [16].

Σύμφωνα με μελέτη του Ahangarujead [11] τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του ηλεκτρονικού ελέγχου ευστάθειας παρατίθενται παρακάτω:

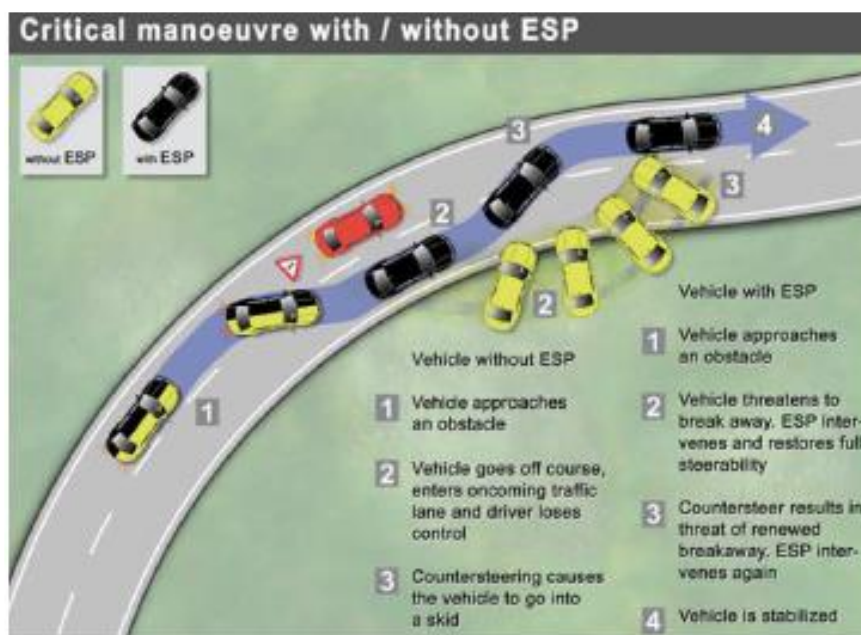
#### Πλεονεκτήματα

- Διόρθωση επικείμενης υπερδιέγερσης ή υποτροπής
- Σταθεροποίηση του αυτοκινήτου κατά τη διάρκεια αιφνίδιων ελιγμών
- Βελτιωμένοι ελιγμοί ταχείας αλλαγής λωρίδας
- Μικρότερη ακτίνα περιστροφής
- Σταθερότητα στη γωνία

#### Μειονεκτήματα

- Μείωση της ταχύτητας του οχήματος λόγω φρεναρίσματος

Επιπλέον μελετήθηκε η ενσωμάτωση του CDC αποσβεστήρα και σύστημα ESP, και διαπιστώθηκε ότι ο χρόνος δράσης της ενεργού πέδησης μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας την ανάρτηση του CDC. Η ενεργή κατανομή ροπής κατά της κύλισης και ο έλεγχος αυτής μπορεί να επηρεάσει τα χαρακτηριστικά υποστροφής του οχήματος, έμμεσα μεταβάλλοντας το πλάτος του μεγέθους του ελαστικού φορτίου μεταξύ του εμπρόσθιου και του πίσω άξονα.



Εικόνα 2.2 : Λειτουργία συστήματος ESP [20].

## 2.4 Σύστημα DSC

Το DSC χρησιμοποιεί μια σειρά αισθητήρων για να ανιχνεύσει την περιστροφή του τροχού, την ταχύτητα περιστροφής του αυτοκινήτου και άλλες ιδιότητες. Χρησιμοποιώντας αισθητήρες και άλλα ηλεκτρονικά, μπορεί να εφαρμόσει τα φρένα όπως απαιτείται, να μειώσει την ισχύ του κινητήρα και με το ενεργό σύστημα διεύθυνσης μπορεί να κάνει μικρές διορθώσεις διεύθυνσης για να κρατήσει το αυτοκίνητο υπό έλεγχο. Όταν παρεμβάλλεται το DSC, στη μονάδα οργάνων θα αναβοσβήνει μια ένδειξη. Το DSC είναι ενεργοποιημένο από προεπιλογή, δεν χρειάζεται να πατήσετε κανένα κουμπί κατά την εκκίνηση.

Σε ορισμένα μοντέλα, ο κωδικός DTC (Dynamic Traction control) είναι μια υπο-λειτουργία του DSC. Ενεργοποιείται πατώντας στιγμιαία το πλήκτρο DTC. Θα ανάβει μια λυχνία στο ταμπλό οργάνων που δείχνει ότι αυτή η λειτουργία έχει ενεργοποιηθεί. Ο κωδικός DTC θα επιτρέψει στους τροχούς να περιστρέφονται, θα αυξάνει τη γωνία με την οποία το σύστημα θα αρχίσει να εφαρμόζει τα φρένα (εξαλείφει τους αισθητήρες ταχύτητας στροφής) και ΔΕΝ κόβει την ισχύ του κινητήρα. Αυτή η λειτουργία του συστήματος έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει στον οδηγό να περιστρέφει τους τροχούς προκειμένου να περάσει από χιόνι, πάγο και άλλες συνθήκες όπου απαιτείται περιστροφή τροχού. Ο DSC / DTC μπορεί να απενεργοποιηθεί κρατώντας πατημένο το κουμπί DTC για 3 δευτερόλεπτα. Η ενδεικτική λυχνία προειδοποίησης (όπως φαίνεται παραπάνω) θα παραμείνει αναμμένη στη συστοιχία οργάνων [23].

Έλεγχος δυναμικής σταθερότητας (DSC):

Το DSC ελέγχει τη σταθερότητα του οχήματος στις συνθήκες οδήγησης εξουδετερώνοντας τις δυναμικές δυνάμεις, χρησιμοποιώντας την παρέμβαση πέδησης ή τον έλεγχο φορτίου κινητήρα.

Το DSC αποτελείται από τα ακόλουθα υποσυστήματα:

- Σύστημα ABS με αντιακρηκτική προστασία
- Αυτόματος έλεγχος ευστάθειας ASC
- Μείωση ροπής μηχανής έλξης κινητήρα MSR
- Δυναμικός έλεγχος φρένων DBC
- Έλεγχος φρεναρίσματος γωνίας CBC

## 2.5 Σύστημα CDC

Το CDC είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα απόσβεσης που αισθητά αυξάνει την οδηγική ασφάλεια, την άνεση και τη δυναμική ρυθμίζοντας τις δυνάμεις απόσβεσης στο βέλτιστο επίπεδο σε κάθε μεμονωμένο τροχό. Το σύστημα CDC είναι ικανό να πραγματοποιεί αυτοδιάγνωση, αλλά αναγνωρίζει μόνο ηλεκτρικά σφάλματα, όχι μηχανικές δυσλειτουργίες. Σε περίπτωση βλάβης, ανάβει η λυχνία ελέγχου CDC στο ταμπλό.

Μια μονάδα ελέγχου υπολογίζει τις απαιτούμενες δυνάμεις απόσβεσης μέσα σε χιλιοστά του δευτερολέπτου, και ρυθμίζει τους αποσβεστήρες εξίσου γρήγορα. Οι αισθητήρες οχημάτων ελέγχουν τιμές όπως το σώμα, ο τροχός και ο κινητήρας, την πλευρική επιτάχυνση και τα χρησιμοποιούν για να δημιουργήσουν ιδανικές δυνάμεις απόσβεσης για κάθε επιμέρους τροχό σε συνεχή βάση [24].

Σύμφωνα με άρθρο του Λιβανού [25] το σύστημα Continuous Damping Control (CDC) υπολογίζει κάθε φορά την απαιτούμενη δύναμη των αμορτισέρ, ανάλογα με το φορτίο του οχήματος και την ποιότητα του οδοστρώματος, κατά το φρενάρισμα ή την επιτάχυνση, όταν κινείστε σε στροφές ή σε βουνά. Μια μονάδα ελέγχου που αποτελεί τον εγκέφαλο του συστήματος, ρυθμίζει ηλεκτρομαγνητικά μια αναλογική βαλβίδα, η οποία καθορίζει την ποσότητα ροής του λαδιού που ρέει στο αμορτισέρ.

Όταν αυξάνεται η ηλεκτρική τάση στη βαλβίδα, μικραίνει το πέρασμα στον αποσβεστήρα. Έτσι το λάδι ρέει πιο αργά και η απόσβεση «σκληραίνει». Το σύστημα υπολογίζει και ρυθμίζει τη δύναμη απόσβεσης κάθε 25 χιλιοστά του δευτερολέπτου και καταγράφει με αυτόν τον τρόπο συνεχώς τη συνολική κατάσταση οδήγησης. Οι αισθητήρες ύψους και πίεσης στο όχημα παρέχουν τα δεδομένα για τους υπολογισμούς.

Το CDC προσαρμόζει τη βασική απόσβεση της κανονικής κατάστασης σε χιλιοστά του δευτερολέπτου στα νέα δεδομένα. Η βασική απόσβεση μπορεί να ρυθμιστεί σε δύο βαθμίδες, τις οποίες επιλέγει ο οδηγός εύκολα μέσω ενός διακόπτη. Η δυναμική σταθεροποίηση της καταπόνησης έχει και άλλα πλεονεκτήματα όπως να μειώνει τη φθορά ελαστικών και να προστατεύει τους δρόμους [25].

Το CDC εμποδίζει το όχημα να κουνηθεί κατά τη διάρκεια των αλλαγών φορτίου, κάνοντας μια πιο ομαλή πορεία τον οδηγό και τους επιβάτες, τόσο σε κανονικό επίπεδο τις συνθήκες οδήγησης και σε πιο δύσκολες καταστάσεις.

## 2.6 Σύστημα ARC

Ένα σύστημα ηλεκτρονικού ελέγχου (ARC) ελέγχει τη γωνία κύλισης του αμαξώματος και είναι εγκατεστημένο στα κέντρα των εμπρόσθιων και οπίσθιων δοκών σταθεροποίησης.

Το σύστημα ελέγχου κύλισης ελέγχει την εφαρμογή της δύναμης πέδησης σε κάθε τροχό, προκειμένου να διορθώσει την πορεία στις στροφές, δίνοντας μια πιο δυναμική αίσθηση χωρίς να μειώνεται η ποιότητα κύλισης και άνεσης.

Το σύστημα Active Roll Control (ARC) [εικόνα 2.3] μεταβάλλει την ακαμψία της ράβδου με την αντικατάσταση ενός συνδέσμου κατά της κύλισης με ένα γραμμικό ενεργοποιητή ελεγχόμενο από υπολογιστή που χρησιμοποιεί υδραυλική πίεση για την λειτουργία [26].

Το πρώτο βήμα στη διαδικασία σχεδιασμού ενός συστήματος ARC συνίσταται στον καθορισμό του αριθμού ενεργών ράβδων κύλισης, της γεωμετρίας τους και του αριθμού των καναλιών του υδραυλικού συστήματος. Ένα σύστημα ενός καναλιού είναι μια διάταξη που εγγυάται μια σταθερή αναλογία μεταξύ εμπρόσθιων και οπίσθιων ροπών στρέψης. Το διπλό κανάλι ARC μπορεί να δώσει προέλευση σε μια μεταβλητή αναλογία ροπής στρέψης μεταξύ εμπρός και πίσω άξονα συμβάλλοντας στην καλύτερη λειτουργία των ράβδων κύλισης.

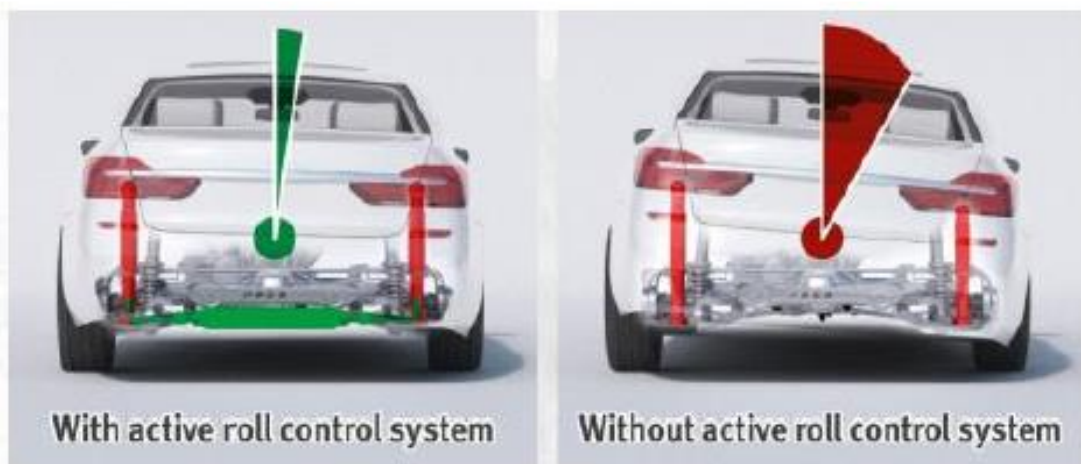
Για να επικυρωθεί η απόδοση του ARC σε ένα πραγματικό όχημα, έγιναν δοκιμές οχημάτων χρησιμοποιώντας ένα μικρό SUV εξοπλισμένο με δύο ενεργοποιητές ARC, άνω και κάτω ελεγκτές και μερικά υποσυστήματα. Από τα αποτελέσματα των δοκιμών προσομοίωσης του

οχήματος, ο προτεινόμενος αλγόριθμος ελέγχου ARC βελτιώνει τη δυναμική απόδοση του οχήματος [27].

Ο στόχος ενός σταθεροποιητικού ενεργού συστήματος ελέγχου κύλισης είναι να κλίνει το όχημα σε γωνίες, έτσι ώστε το κέντρο των ελατήριων των βαρών να μετατοπίζεται από το εσωτερικό του οχήματος στην κεντρική γραμμή και να συνεισφέρει στην σταθεροποιητική ροπή.

Οχήματα με τις συμβατικές παθητικές αναρτήσεις γέρνουν τις γωνίες υπό την επίδραση της πλευρικής επιτάχυνσης. Το κέντρο των ελατήριων μετατοπίσεων μαζών εξέρχεται από τον κεντρικό άξονα του οχήματος και αυτό συμβάλλει σε μια αποσταθεροποιητική στιγμή που μειώνει τη σταθερότητα κύλισης.

Τα συστήματα αντιολίσθησης έχουν μελετηθεί και αναπτυχθεί ευρέως στην αυτοκινητοβιομηχανία και τις σιδηροδρομικές βιομηχανίες. Το κύριο κίνητρο είναι να αυξηθεί ο χειρισμός και η μείωση των ατυχημάτων ανατροπής.



Εικόνα 2.3 : Η περιστροφή των δυο μισών του σταθεροποιητή μεταξύ τους επιτρέπει τη μείωση της κύλισης κατά την περιστροφή. Συνέπεια αυτής της περιστροφής είναι η αύξηση του φορτίου επαφής του εξωτερικού τροχού [28].

## 2.7 Ράβδος κατά της κύλισης (Anti-roll bar)

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του οχήματος προκειμένου να ο οδηγός να νοιώθει ασφάλεια και ικανοποίηση σε αυτό είναι η ευκολία οδήγησης.

Μερικοί ερευνητές προτιμούν να αναπτύξουν ενεργή αναστολή ενώ άλλοι προτιμούν να αναπτύξουν μια ράβδο κατά της κύλισης. Πριν από την εμφάνιση των ενσωματωμένων και

χαμηλού κόστους συστημάτων μέτρησης, η παθητική ράβδος προστασίας κατά των κυλίνδρων (ή ράβδωση ή σταθεροποιητή) ήταν η βασική τεχνολογία στα περισσότερα από τα οχήματα. Η παθητική ράβδος αντεστραμμένου κυλίνδρου συνήθως έχει τη μορφή ράβδου στρέψης που συνδέει το αντίθετο (αριστερά / δεξιά) μαζί. Βοηθά γενικά στην ανθεκτικότητα του σώματος του οχήματος κυλινδρικές κινήσεις κατά τη γρήγορη στροφή, αυξάνοντας την ακαμψία του τροχού του οχήματος [29].

Σε μια ράβδο κατά της κύλισης που ονομάζεται ενεργή, η ακαμψία μπορεί να ποικίλει σε συγκεκριμένο εύρος, σταδιακά. Οι συσκευές μεταβαλλόμενης δυσκαμψίας είναι γενικά δαπανηρές κατασκευές, με περίπλοκη δομή και απαιτούν επιπλέον συστήματα όπως είναι τα υδραυλικά, πνευματικά, μηχανικά ή μικτά.

Ωστόσο, το κόστος είναι ο κρίσιμος παράγοντας για την αντιμετώπιση αυτού του συμβιβασμού από κατασκευαστική άποψη. Επομένως, η ράβδος αντικύλισης έχει πλεονέκτημα έναντι της ενεργής ανάρτησης όσον αφορά το κόστος για την εξεύρεση λύσης. Το πλεονέκτημα της ράβδου κατά της κύλισης είναι η μείωση της επιτάχυνσης και της γωνίας κύλισης του κυλίνδρου κατά τη διάρκεια ανύψωσης τροχού για βελτίωση της οδηγικής ασφάλειας και της σταθερότητας χειρισμού. Εκτός αυτού, η ράβδος προστασίας από τροχαλίες ελέγχει τη διανομή της πλευρικής μεταφοράς φορτίου η οποία οδηγεί σε αύξηση υποστροφής και μείωση ατυχημάτων λόγω ανατροπής [11].

Ωστόσο, το κύριο μειονέκτημα για την παθητική σύνδεση είναι ότι εισάγει μια σύζευξη μεταξύ των αναρτήσεων που μεταφέρουν ανεπιθύμητα τις διαταραχές (ανωμαλίες οδοστρώματος) από τη μια πλευρά στην άλλη. Αυτό είναι που ονομάζεται μοτίβο αντιγραφής.

Η σταθερή ακαμψία του ράβδου κατά της κύλισης και η σχέση μεταξύ του εμπρόσθιου και του οπίσθιου άξονα δεν επιτρέπει την προσαρμογή σε συνθήκες ανώμαλου εδάφους.[29].

Μια ράβδος κατά της κύλισης (ράβδο κυλίνδρου, ράβδος ανύψωσης, ράβδος ταλάντωσης, ράβδος σταθεροποίησης) αποτελεί μέρος πολλών αναρτήσεων αυτοκινήτων που συμβάλλουν στη μείωση της κύλισης του οχήματος κατά τη διάρκεια γρήγορων στροφών ή παρατυπιών. Συνδέει τους αντίθετους (αριστερούς / δεξιούς) τροχούς μεταξύ τους μέσω βραχιόνων, που συνδέονται με ελατήριο στρέψης. Μια μπάρα ταλάντωσης, συνήθως ένα στρεπτικό ελατήριο, αυξάνει την ακαμψία της ανάρτησης και της αντοχής της σε στροφές, ανεξάρτητα από την ταχύτητα του ελατηρίου στην κάθετη κατεύθυνση. Συνήθως κατασκευάζεται από μια κυλινδρική χαλύβδινη ράβδο, διαμορφωμένη σε σχήμα "U", που συνδέεται στο σώμα σε δύο σημεία και στην αριστερή και τη δεξιά πλευρά της ανάρτησης. Εάν ο αριστερός και ο δεξιός

τροχός κινούνται μεταξύ τους, η ράβδος περιστρέφεται γύρω από τα σημεία τοποθέτησης. Εάν οι τροχοί κινούνται σε σχέση μεταξύ τους, η ράβδος υποβάλλεται σε στρέψη και αναγκάζεται να περιστρέφεται. Κάθε άκρο της ράβδου συνδέεται με έναν ακραίο σύνδεσμο μέσω μιας εύκαμπτης άρθρωσης. Ο σύνδεσμος άκρου ράβδου σύνδεσης συνδέεται με τη σειρά του σε ένα σημείο κοντά σε έναν τροχό ή άξονα, μεταφέροντας τις δυνάμεις από έναν άξονα με μεγάλη φόρτιση στην αντίθετη πλευρά [30].

Το πρώτο ευρεσιτεχνικό δίπλωμα σταθεροποιητή απονεμήθηκε στον канаδικό εφευρέτη Stephen Coleman του Fredericton, New Brunswick στις 22 Απριλίου 1919.

### **Οι δυνάμεις μεταφέρονται επομένως:**

1. από τον πολύ φορτωμένο άξονα
2. προς τον συνδεδεμένο τελικό σύνδεσμο μέσω ενός δακτυλίου
3. στην ράβδο στρέψης μέσω μιας εύκαμπτης άρθρωσης
4. προς τον συνδεδεμένο ακραίο σύνδεσμο στην αντίθετη πλευρά του οχήματος
5. στον αντίθετο άξονα

Η ράβδος κατά της κύλισης αντιστέκεται στην στρέψη εξαιτίας της ακαμψίας της και η δυσκαμψία αυτή σχετίζεται επίσης με τη γεωμετρία των σημείων στήριξης και την ακαμψία των σημείων στήριξης της ράβδου.

. Όσο πιο σκληρή είναι η ράβδος, τόσο περισσότερη δύναμη απαιτείται για να μετακινηθεί ο αριστερός τροχός σε σχέση με τον δεξιό τροχό και αυτό αυξάνει την ποσότητα δύναμης που απαιτείται για τον έλεγχο του οχήματος [30].

Σε μια στροφή η ανυψωμένη μάζα του σώματος του οχήματος παράγει μια πλευρική δύναμη στο κέντρο βάρους του οχήματος (CG), ανάλογη προς την πλευρική επιτάχυνση. Επειδή το κέντρο βάρους δεν είναι συνήθως στον άξονα κύλισης, η πλάγια δύναμη δημιουργεί μια δύναμη γύρω από τον άξονα κύλισης που τείνει να κυλάει στο κέντρο βάρους του οχήματος. Η στιγμή ονομάζεται ζευγάρι roll και αυτό τείνει να αντισταθεί στην ακαμψία του ρολού ανάρτησης, η οποία είναι συνάρτηση του ρυθμού ταλάντωσης των ελατηρίων του οχήματος και των αντεστραμμένων ράβδων. Η χρήση ράβδων κατά της κύλισης επιτρέπει στους σχεδιαστές να μειώνουν την κύλιση χωρίς να κάνουν τα ελατήρια της ανάρτησης πιο δύσκαμπτα στο κατακόρυφο επίπεδο, γεγονός που επιτρέπει βελτιωμένο έλεγχο του αμαξώματος με λιγότερη συμβιβασμό στη μείωση της ποιότητας οδήγησης. Το αποτέλεσμα



είναι η θετική καμπυλότητα των τροχών στο εξωτερικό της στροφής και αρνητική στο εσωτερικό, η οποία μειώνει τη λαβή στρέψης [30].

### 2.7.1 Σκοπός

Μια ράβδος κατά της κύλισης [εικόνα 2.4] έχει σκοπό να αναγκάσει κάθε πλευρά του οχήματος να χαμηλώσει ή να ανέβει σε παρόμοια ύψη, για να μειώσει την πλευρική κλίση του οχήματος σε καμπύλες, αιχμηρές γωνίες ή μεγάλες ανωμαλίες, ουσιαστικά αντίθετες με τις φυγόκεντρες δυνάμεις του οχήματος να στρογγυλεύουν την καμπύλη. Με την αφαίρεση της ράβδου, οι τροχοί ενός οχήματος μπορούν να στραφούν σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις [30].

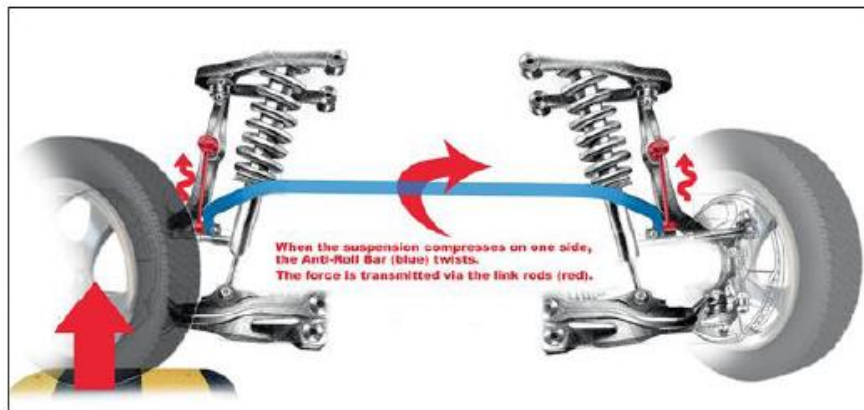
### 2.7.2 Λειτουργία

Αν και υπάρχουν πολλές παραλλαγές στο σχεδιασμό, μια κοινή λειτουργία είναι να αναγκάσει το αμορτισέρ, το ελατήριο ή την ανάρτηση του αντίθετου τροχού να χαμηλώσει ή να ανέβει σε επίπεδο παρόμοιο με τον άλλο τροχό. Σε μια γρήγορη στροφή, ένα όχημα τείνει να πέσει πιο κοντά στους εξωτερικούς τροχούς και η μπάρα ταλάντωσης σύντομα αναγκάζει τον αντίθετο τροχό να πλησιάσει επίσης στο όχημα. Ως αποτέλεσμα, το όχημα τείνει να "αγκαλιάσει" το δρόμο πιο κοντά σε μια γρήγορη στροφή, όπου όλοι οι τροχοί είναι πιο κοντά στο σώμα. Μετά τη γρήγορη στροφή, τότε μειώνεται η προς τα κάτω πίεση και οι τροχοί μπορούν να επιστρέψουν στο κανονικό τους ύψος έναντι του οχήματος, που διατηρούνται σε παρόμοια επίπεδα από τη ράβδο σύνδεσης. Επειδή κάθε ζεύγος τροχών είναι διασυνδεδεμένο με μια ράβδο, η συνδυασμένη λειτουργία προκαλεί σε όλους τους τροχούς να αντισταθμίζουν γενικά την ξεχωριστή κλίση των άλλων και το όχημα τείνει να παραμείνει επίπεδο σε σχέση με τη γενική κλίση του εδάφους [30].

Οι ράβδοι ανύψωσης παρέχουν δύο κύριες λειτουργίες:

- Η πρώτη λειτουργία είναι η μείωση του άκαμπτου σώματος. Η μείωση του άκαμπτου σώματος εξαρτάται από τη συνολική ακαμψία του τροχού του οχήματος. Η αύξηση της συνολικής δυσκαμψίας του τροχού ενός οχήματος δεν μεταβάλλει τη μεταφορά σταθερού φορτίου (βάρος) από τους εσωτερικούς τροχούς στους εξωτερικούς τροχούς, μειώνει μόνο το άπαχο σώμα. Η συνολική μεταφορά πλευρικού φορτίου καθορίζεται από το ύψος CG και το πλάτος της τροχιάς.

- Η άλλη λειτουργία των ράβδων κατά της κύλισης είναι η ρύθμιση του ισοζυγίου χειρισμού ενός αυτοκινήτου. Η συμπεριφορά του συστήματος διεύθυνσης μπορεί να ρυθμιστεί μεταβάλλοντας την αναλογία της συνολικής ακαμψίας της ράβδου που προέρχεται από τον μπροστινό και τον πίσω άξονα. Η αύξηση της αναλογίας της ακαμψίας του ρολού στο μπροστινό μέρος αυξάνει το ποσοστό της συνολικής μεταφοράς φορτίου που αντιδρά ο εμπρόσθιος άξονας - και μειώνει την αναλογία στην οποία αντιδρά ο οπίσθιος άξονας. Γενικά, αυτό κάνει τον εξωτερικό εμπρόσθιο τροχό να κινείται με μια σχετικά υψηλότερη γωνία ολίσθησης και ο εξωτερικός πίσω τροχός να κινείται με χαμηλότερη γωνία ολίσθησης, η οποία είναι αποτέλεσμα υποστροφής. Η αύξηση της αναλογίας της ακαμψίας του ρολού στον οπίσθιο άξονα έχει το αντίθετο αποτέλεσμα και μειώνει την υποστροφή [30].



Εικόνα 2.4 Όλες οι δυνάμεις της ράβδου κατά της κύλισης όταν οι στροφές μεταδίδονται μέσω των σχετικά λεπτών ράβδων σύνδεσης [31].

### 2.7.3 Μειονεκτήματα

Το σύστημα αντίθετης κύλισης εκτός του υψηλού κόστους και της ζήτησης ισχύος παρουσιάζει και κάποια άλλα μειονεκτήματα. Επειδή μια ράβδος αντιολίσθησης συνδέει τροχούς σε αντίθετες πλευρές του οχήματος, η ράβδος μεταδίδει τη δύναμη ενός χτυπήματος σε έναν τροχό στον αντίθετο τροχό. Σε τραχύ ή σπασμένο οδόστρωμα, οι ράβδοι προστασίας από κυλίνδρους μπορούν να προκαλέσουν μετατοπίσεις («αδέσμευτη» αίσθηση), οι οποίες αυξάνουν με τη διάμετρο και την ακαμψία των ράβδων ταλάντωσης. Άλλες τεχνικές ανάρτησης μπορούν να καθυστερήσουν ή να επιβραδύνουν αυτό το φαινόμενο της ράβδου σύνδεσης [11,30].

Η επιδείνωση της ποιότητας του δρόμου και η υψηλή ταχύτητα κίνησης του οχήματος είναι ακόμα ένας σημαντικός παράγοντας. Εάν ένας τροχός πέσει μέσα σε μια λακκούβα, η ράβδος συνδέσμου υποβάλλεται σε τεράστιο φορτίο κραδασμού.

Η υπερβολική ακαμψία του κυλίνδρου, που συνήθως επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση μιας ράβδου κατά της κύλισης, μπορεί να κάνει τους εσωτερικούς τροχούς να σηκωθούν από το έδαφος κατά τη διάρκεια των στροφών. [30].

## **2.8 Σύνοψη κεφαλαίου**

Λόγω της συνεχούς ανάπτυξης των παραπάνω συστημάτων, της ευρείας γκάμας των παραλλαγών των οχημάτων και των διαφόρων τύπων οδήγησης που πρέπει να ληφθούν υπόψη, υπάρχει μεγάλη προσπάθεια για τη δοκιμή και την επαλήθευση των συστημάτων ελέγχου της οδήγησης. Η χρήση προσομοιωτών καθιστά δυνατή τη διαχείριση αυτής της προσπάθειας. Τα ηλεκτρονικά χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά ως μέρος μιας σειράς παραγωγής τέτοιων συστημάτων το 1987 με την εισαγωγή του συστήματος ABS κατά την πέδηση. Εκτός από το CDC, το 1999 επίσης εισήχθη για πρώτη φορά το πρώτο πλήρως ενεργού πλαισίου σύστημα ABC (ενεργός έλεγχος αμαξώματος). Το σύστημα ARS εισήλθε στη σειρά παραγωγής το 2002. Τα ενεργά συστήματα πλαισίου όπως το σύστημα πέδησης και η ανάρτηση χρησιμοποιούνται ευρύτερα στις εφαρμογές του οχήματος. Εκτός από τις βασικές λειτουργίες τους, τα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για λειτουργίες ολοκληρωμένου ελέγχου της δυναμικής του οχήματος. Η ανάλυση της ενεργού ράβδου κατά της κύλισης αναπτύχθηκε για να παρουσιαστεί η λειτουργία των δύο ενεργών αντιολισθητικών ράβδων στον μπροστινό και τον πίσω άξονα για έλεγχο των δυνάμεων των τεσσάρων τροχών. Δημιουργώντας δύο ροπές στους εμπρός και πίσω άξονες σε αντίθετη κατεύθυνση, η απόδοση του οχήματος μπορεί να βελτιωθεί. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, το προτεινόμενο σύστημα έχει την ικανότητα να επιτύχει καλύτερες επιδόσεις όσον αφορά τη μείωση της ροής κίνησης και ενισχύει τη σταθερότητα και την ασφάλεια.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> - ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ

Οι καινοτομίες στα συστήματα σταθεροποίησης κυλίνδρων προσπάθησαν να εξισορροπήσουν τις ανταγωνιστικές προτεραιότητες της στροφής και της βέλτιστης οδήγησης ανακατανέμοντας το φορτίο μεταξύ των εξωτερικών και των εσωτερικών ελαστικών κατά τη στροφή και χαλαρώνοντας τη σύνδεση μεταξύ τους όταν το όχημα κινείται σε ευθεία πορεία. Κάποιοι κατασκευαστές το κάνουν αυτό με την εισαγωγή ενέργειας στο σύστημα. Η πιο σημαντική βελτίωση στα ενεργά συστήματα ανάρτησης σε όλες τις κατηγορίες ήταν η άνεση του οχήματος μαζί με τη σταθερότητα, την ευελιξία, τον έλεγχο και την ασφάλεια, όλα με διαφορά καλύτερα, σε σύγκριση με τα παθητικά συστήματα.

### 3.1 Παθητικά συστήματα

Η παθητική ανάρτηση είναι ένα μηχανικό σύστημα ελατηρίων και αμορτισέρ, ένα συμβατικό σύστημα που αποτελείται από το μη ελεγχόμενο ελατήριο και τον αποσβεστήρα απορρόφησης κραδασμών. 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).

Αυτά τα συστήματα δεν εισάγουν ενέργεια στην αναστολή για να μετριάσουν την κύλιση [32].

#### 3.1.1 Παθητικός σταθεροποιητής κύλισης (ελατήριο)

Παθητικοί σταθεροποιητές, συνήθως σε ελικοειδή μορφή, χρησιμοποιούνται για να μειώνουν την πλευρική κλίση του σώματος. Αυτά δεν πρέπει να επιλέγονται με υψηλή ακαμψία στρέψης διότι, διαφορετικά, οδηγούν σε ισχυρή κάθετη κίνηση του σώματος, που ονομάζεται "Αντιγραφή". Για την επίλυση του προβλήματος αυτού και επίσης για να μειώσει περαιτέρω τη γωνία κύλισης, υδραυλικοί ενεργοποιητές περιστροφής είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται σήμερα προκαλώντας μια διαιρεμένη στρέψη στη ράβδο ανάλογα με την εγκάρσια επιτάχυνση μειώνοντας έτσι αισθητά

η κλίση του σώματος και εξισώνοντας σημαντικά τις δυνάμεις επαφής του τροχού.

Όταν ένα όχημα κινείται ευθεία ο σταθεροποιητής πρέπει να έχει ένα αποτέλεσμα το οποίο αντιπροσωπεύει ένα κέρδος στην άνεση σε σύγκριση με ένα παθητικό σταθεροποιητή. Εναλλακτικά, η κλίση του οχήματος μπορεί να προληφθεί μέσω μιας υδραυλικής ρυθμίσης

στις αντηρίδες ανάρτησης στους τροχούς, που μπορεί να εξαλείψει την κίνηση κατά την πέδηση.

Η Lexus χρησιμοποιεί τους ρυθμιζόμενους αποσβεστήρες εκτός από τις συμβατικές ράβδους αντιστήριξης για τον περιορισμό της κύλισης [32].

### **3.1.2 Παθητικοί αποσβεστήρες (αμορτισέρ)**

Ένας παθητικός αποσβεστήρας αποτελείται από έναν κύλινδρο, γεμάτο με λάδι, και μια ράβδο, συνδεδεμένο με ένα έμβολο, το οποίο περιέχει ένα βαθμονομημένο περιορισμό που ονομάζεται έμβολο βαλβίδα. Η μεταβολή της έντασης που προκαλείται από τη ράβδο που κινείται εσωτερικά ή εξωτερικά του κυλίνδρου αντισταθμίζεται από το ρευστό που ρέει μέσα ή έξω από τον συσσωρευτή, το οποίο είναι γεμάτο με αέριο (αέρας ή άζωτο). Η λειτουργία του συσσωρευτή είναι επομένως να αντισταθμιστεί ο μεταβαλλόμενος όγκος της ράβδου στον κύλινδρο. Η ροή του λαδιού μέσω των βαλβίδων βάσης και της βάσης προκαλεί μια δύναμη διατμήσεως μεταξύ της ροής του ρευστού, πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα την ιξώδη απόσβεση. Η πτώση πίεσης πάνω από αυτές τις βαλβίδες, που προκαλείται από την ιξώδη απόσβεση του ρευστού που ρέει στα ανοίγματα, αποδίδει δύναμη απόσβεσης ανάλογη με την ταχύτητα ροής του λαδιού. Αυτές οι λειτουργίες υλοποιούνται σε δύο βασικούς σχεδιασμούς αποσβεστήρων: ο δίδυμος σωλήνας και τα αμορτισέρ μονού σωλήνα [33].

### **3.1.3 Πλεονεκτήματα –Μειονεκτήματα παθητικών συστημάτων**

Επειδή ένα παθητικό σύστημα ανάρτησης αποτελείται από έναν αποσβεστήρα και ένα ελατήριο, το παθητικό ανάρτησης έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- α) απλή και σταθερή δομή
- β) μικρό όγκο
- γ) χαμηλό βάρος
- δ) χαμηλό κόστος
- ε) υψηλή αξιοπιστία

Τα μειονεκτήματα των παθητικών συστημάτων είναι τα εξής:

α) τα χαρακτηριστικά απόσβεσης επηρεάζουν τόσο την άνεση οδήγησης όσο και τις επιδόσεις χειρισμού και ως εκ τούτου στα παθητικά συστήματα είναι δύσκολο να επιτευχθεί η άνεση οδήγησης και η καλή συμπεριφορά χειρισμού ταυτόχρονα

β) όταν η συχνότητα των κραδασμών της ανάρτησης είναι μικρότερη από 0,7Hz, οι επιβάτες δεν αλλοιώνουν τη δομή του αμαξώματος και πιθανώς οδηγούν σε μηχανικό συντονισμό το σασί του οχήματος [34].

### **3.2 Ημι-ενεργά συστήματα**

Η ημιενεργή ανάρτηση είναι πανομοιότυπη με το παθητικό σύστημα ανάρτησης με μεταβαλλόμενο συντελεστή απόσβεσης και σταθερά ελατηρίου. Έτσι, η μηχανική διάταξη ενός ημιενεργού συστήματος ανάρτησης είναι πανομοιότυπη με την παθητική. Ωστόσο, μπορεί να επιτευχθεί κάποιος έλεγχος του συντελεστή απόσβεσης μεταβάλλοντας τα χαρακτηριστικά των αποσβεστήρων. Κατά συνέπεια, αυτό δίνει τη δυνατότητα των δυνάμεων αντίδρασης του αποσβεστήρα. 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. Η μεθοδολογία αλλαγής του συντελεστή απόσβεσης, προκειμένου να μειωθεί η απόκριση χαμηλής συχνότητας στις δυνάμεις αδράνειας και επίσης να αποφευχθεί η διέγερση των συντονισμών του σώματος και του τροχού. Για τις μεγάλες κινήσεις των τροχών, 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. [34]

Οι ημι-ενεργές αναρτήσεις αποτελούνται από ελεγχόμενους αποσβεστήρες και συμβατικά ελατήρια. Τέτοια συστήματα μπορούν να διαχέουν μόνο την ενέργεια, σε αντίθεση με τα πλήρως ενεργά και αργά ενεργά συστήματα, τα οποία μπορούν να παρέχουν ενέργεια. Οι ημι-ενεργές αναρτήσεις έχουν ένα όριο στις δυνάμεις που μπορούν να εφαρμόσουν (ο περιορισμός παθητικότητας), αλλά είναι γνωστό ότι προκαλούν δυσάρεστο τράνταγμα.

Ένα τέτοιο ημι ενεργό σύστημα ανάρτησης έχει τη δυνατότητα να έχει χαμηλή δυσκαμψία κατά την οδήγηση κατά την ευθεία κίνηση για βελτιωμένη απόδοση οδήγησης και υψηλή ακαμψία κατά τη διάρκεια των στροφών [36].

Η απόδοση του ημιενεργού εναιωρήματος ήταν κατά το πλείστον ενδιάμεσο σε εκείνο της παθητικής και πλήρως ενεργής ανάρτησης. Ο σχεδιασμός του ήταν εξαιρετικά κατάλληλος για την αντιμετώπιση απόκλισης, δεδομένου ότι μεταφέρθηκε σε χαμηλή απόσβεση κατά τη διάρκεια της μεγαλύτερης ταλάντωσης.

### **3.2.1 Πλεονεκτήματα –Μειονεκτήματα ημι-ενεργών συστημάτων**

Σε σύγκριση με τα παθητικά συστήματα τα ημι ενεργά συστήματα βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά απόσβεσης υπό έλεγχο κλειστού βρόχου. Ως εκ τούτου, οι ταλαντώσεις του αμαξώματος του αυτοκινήτου καταστέλλονται σημαντικά. Επιπλέον, τα ημιενεργά συστήματα έχουν τα πλεονεκτήματα του εύκολου ελέγχου, του μικρού όγκου, του χαμηλού βάρους και του μικρού κόστους. Τα μειονεκτήματα είναι ότι οι κινήσεις των αναρτήσεων δεν μπορούν να εξαλειφθούν πλήρως

Η παρακάτω παράγραφος είναι αφιερωμένη στην τρέχουσα κατάσταση του ενεργού συστήματος ανάρτησης του αυτοκινήτου. Παρουσιάζει τις τάσεις στην ανάπτυξη των ενεργών συστημάτων του συστήματος ανάρτησης, ρυθμιζόμενα στοιχεία που ενσωματώνονται σε αυτά και οι εταιρείες κατάφεραν να σχεδιάσουν τέτοια συστήματα. Επίσης αντικατοπτρίζει το πρόβλημα της επίδρασης των ενεργών συστημάτων στην ασφάλεια του αυτοκινήτου και τη σημασία του για τον οδηγό. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των πιο κοινών τύπων ενεργών στοιχείων περιγράφονται, αναλύονται και συγκρίνονται [34].

### **3.3 Ενεργά συστήματα**

Τις τελευταίες δεκαετίες, τα ηλεκτρονικά συστήματα έχουν βελτιώσει σημαντικά τη λειτουργία μηχανικών λειτουργιών του οχήματος - και το πεδίο της τεχνολογίας απόσβεσης δεν αποτελεί εξαίρεση. Οι εργασίες ανάπτυξης της επόμενης γενιάς οχημάτων επικεντρώνονται όλο και περισσότερο σε ενεργά συστήματα απόσβεσης και ανάρτησης. Στηριζόμενα σε αισθητήρες και μονάδες ελέγχου για να καθορίσουν πότε το αυτοκίνητο κινείται ευθεία και όταν στρέφεται, τα ενεργά συστήματα χρησιμοποιούν ηλεκτρικά ή υδραυλικά μέσα για να αντιστέκονται ενεργά στην περιστροφή. Τα στοιχεία μορφής ελατηρίου ήταν τα πρώτα εξαρτήματα ανάρτησης προκειμένου να δημιουργηθεί ένα ενεργό σύστημα.

Ένα ενεργό σύστημα ανάρτησης περιλαμβάνει μια πηγή ενέργειας που μπορεί να παρέχει ενεργό δύναμη, η οποία ρυθμίζεται από έναν αλγόριθμο ελέγχου χρησιμοποιώντας δεδομένα

από αισθητήρες που είναι προσαρτημένοι στο όχημα, επιπροσθέτως περιλαμβάνει και ένα μηχανικό ελατήριο ή μια πηγή ενέργειας από ένα μηχανικό ελατήριο και από ένα αποσβεστήρα. Το ελατήριο υποστηρίζει το στατικό φορτίο του αυτοκινήτου η πηγή ενέργειας δίνει την απαιτούμενη δύναμη αντίδρασης για να ελαχιστοποιήσει ή να απορροφήσει την εκτροπή που προκαλείται από τις ανωμαλίες του οδοστρώματος . Η ενεργοποίηση της ανάρτησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με υδραυλική , πνευματική ή ηλεκτρομαγνητική ανάρτηση [34].

Τα ενεργά συστήματα ανάρτησης (γνωστό και ως Computerized Ride Control) αποτελούνται από τα ακόλουθα εξαρτήματα: ένας υπολογιστής ή δύο (μερικές φορές αποκαλείται ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου, ή ECU), ρυθμιζόμενα πλήκτρα και ελατήρια, μια σειρά αισθητήρων σε κάθε τροχό και έναν ενεργοποιητή πάνω από κάθε ελατήριο. Τα εξαρτήματα ενδέχεται να διαφέρουν ελαφρώς μεταξύ κατασκευαστών, αλλά αυτά είναι τα βασικά μέρη που αποτελούν ένα ενεργό σύστημα ανάρτησης.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ενεργή ανάρτηση λειτουργεί συνεχώς ανιχνεύοντας αλλαγές στην επιφάνεια του δρόμου και τροφοδοτώντας τις πληροφορίες αυτές, μέσω του ECU, στα εξωτερικά εξαρτήματα. Αυτά τα στοιχεία στη συνέχεια δρουν στο σύστημα για να τροποποιήσει τον χαρακτήρα του, προσαρμόζοντας την ακαμψία του κραδασμού, για να βελτιώσουν τις επιδόσεις της οδήγησης και την ανταπόκριση του οχήματος[37].

### **3.3.1 Λειτουργία ενεργών συστημάτων**

Ένα ενεργό σύστημα ελέγχου λειτουργεί μεταξύ των μη αδρανών μαζών ενός οχήματος ή μέσω των αποσβεστήρων κραδασμών συνδεδεμένων μεταξύ της αναρτώμενης μάζας και της μη αναρτώμενης μάζας. Επιπροσθέτως διαθέτει μια υδραυλική πηγή για παροχή ρευστού σε δύο διαφορετικές υδραυλικές πιέσεις, ενός αισθητήρα για ανίχνευση της αλλαγής της αδράνειας του οχήματος που προκαλείται όταν στρέφεται το όχημα και μια μονάδα ελέγχου για την ενεργή εισαγωγή υγρού σε υδραυλική πίεση σε κάθε αποσβεστήρα. Το ενεργό σύστημα ελέγχου περιλαμβάνει αντλία με δεξαμενή και συσσωρευτή υψηλής πίεσης για την παροχή των δύο ξεχωριστών υδραυλικών πιέσεων. Το ενεργό σύστημα ελέγχου οριζόντιας κύλισης περιλαμβάνει επίσης έναν συσσωρευτή για κάθε αποσβεστήρα και ένα έμβολο ελέγχου για την καθοδήγηση των πιέσεων ταυτόχρονα με τα αμορτισέρ [38].

Το σύστημα ενεργού συστήματος είναι αυτό που ομαλοποιεί το όχημα κατά τη διάρκεια ακραίων ελιγμών.



Ο ελεγκτής ισοστάθμισης μειώνει το βήμα του αμαξώματος στο ελάχιστο, πράγμα που οδηγεί σε αυξημένη πλευρική επιτάχυνση. Για ένα μη φορτωμένο όχημα με δύσκαμπτα ελατήρια ανάρτησης, η βελτίωση είναι μικρή, αλλά για ένα φορτωμένο όχημα με μαλακά ελατήρια με άνεση, η βελτίωση είναι σημαντική.

Το ενεργό μέρος της ανάρτησης φροντίζει για την διατήρηση της καλής συμπεριφοράς του οχήματος στις στροφές με παραλλαγή του στατικού φορτίου και ως εκ τούτου τα κύρια ελατήρια μπορούν να συντονιστούν αποκλειστικά για τη βελτιστοποίηση της άνεσης και της μεταβολής φορτίου τροχού.

Το ενεργό σύστημα ανάρτησης είναι σε θέση να οριοθετήσει την οικονομική απόδοση του αυτοκινήτου από άποψη κατανάλωσης καυσίμων. Το σύστημα ανάρτησης είναι επίσης υπεύθυνο για την άνετη οδήγηση. Οι αναρτήσεις απαιτούνται προκειμένου να απομονωθούν οι επιβάτες από δυσάρεστες δονήσεις.

Σε περίπτωση σωστής χρήσης του συστήματος, η βελτίωση της άνεσης του οχήματος μπορεί να παράγει μια μικρή ποσότητα ενέργειας, καθώς η ενεργή ανάρτηση λειτουργεί ως αποσβεστήρας. Απαιτείται μόνο ένας μικρός ηλεκτρικός ενεργοποιητής βελτιώνοντας την άνεση[39].

### **3.3.2 Πλεονεκτήματα –Μειονεκτήματα ενεργών συστημάτων**

Το σύγχρονο σύστημα σχεδιασμού αυτοκινήτων έχει βελτιωθεί σημαντικά τα τελευταία 25 χρόνια. Τα περισσότερα εξαρτήματα αυτοκινήτων είναι εξοπλισμένα με μεμονωμένα συστήματα ελέγχου, αλγόριθμους συμπεριφοράς και ενεργούς ενεργοποιητές. Τα συστήματα μπορούν να αποφασίζουν τα ίδια να αλλάζουν ευρέως τις ιδιότητες των εξαρτημάτων βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητά τους, την ασφάλεια και την άνεση ενός αυτοκινήτου. Από τεχνική άποψη, η πιο σημαντική εξέλιξη συνέβη στο σύστημα πλαισίου, τη μετάδοση της κίνησης, τον κινητήρα και τα συστήματα ενεργητικής ασφάλειας. Αλλά για την άνεση του οδηγού του επιβατικού αυτοκινήτου, η σταθερότητα και ο χειρισμός παραμένουν τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά. Έτσι, μία από τις βασικές πτυχές κατά τη διάρκεια της εφαρμογής ενός ενεργού συστήματος αναρτήσεων είναι η επίδρασή του στα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά. Αυτό το έργο του συστήματος ανάρτησης είναι σημαντικό για την άνεση του οδηγού και τον έλεγχο του οχήματος. Αυτή είναι η ουσία του ενεργού συστήματος ανάρτησης ως σύστημα υποβοήθησης οδηγού [40].

Σε αντίθεση με τους παθητικούς σταθεροποιητές, στα ενεργά συστήματα, τα δύο μισά σταθεροποιητών συνδέονται από έναν μηχανισμό μετάδοσης κίνησης. Ο κατάλληλος αισθητήρας και η μετάδοση σήματος υποστηρίζει το σύστημα στην επίτευξη μιας σημαντικά βελτιωμένης αντίληψης ως προς τη σταθερότητα του οχήματος μειώνοντας τη γωνία κύλισης. Ταυτόχρονα, υπάρχει μείωση στην αποκαλούμενη αντιγραφική κύλιση του οχήματος όταν η διέγερση γίνεται μόνο στη μία πλευρά και είναι επίσης δυνατή η διαφοροποίηση της κατανομής στήριξης μεταξύ εμπρόσθιων και οπίσθιων αξόνων [41].

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της ενεργής ανάρτησης σε συμβατικά συστήματα είναι τα ακόλουθα:

- Είναι ανεξάρτητη από τη συνολική κατάσταση της ανάρτησης και σταθεροποιεί το όχημα
- Η αντιστοιχία μεταξύ του ύψους της διαδρομής, της άνεσης, της φθοράς των ελαστικών
- Εξαλείφει την ολίσθηση του αμαξώματος κατά τη διάρκεια στροφών υψηλής ταχύτητας
- Τα ελαστικά μπορούν να ευθυγραμμιστούν με τον άξονα, τα οποία δίνουν τη βέλτιστη απόδοση όταν συναντιέται ένα εμπόδιο ή σε περίπτωση στροφών [42]
- Η ράβδος κατά της κύλισης παραλείπεται κατά τη χρήση ενός πλήρως ενεργού συστήματος
- Μια απλή ανάρτηση του βραχίονα αντικαθιστά τους παραδοσιακούς πολύπλοκους συνδέσμους ανάρτησης
- Ο απλός βραχίονας μειώνει την απαιτούμενη χωρητικότητα για ανάρτηση και το αυτοκίνητο μπορεί να είναι «χαμηλωμένο», λόγω της χαμηλής αντίστασης αέρα
- Το ύψος οδήγησης δεν επηρεάζεται από μεταβαλλόμενα στατικά φορτία
- Η φυσική συχνότητα του οχήματος δεν αλλάζει και μπορεί να επιλεγεί ώστε να είναι χαμηλότερη από το όριο άνεσης του ανθρώπινου σώματος
- Η ακαμψία του συστήματος είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα και αυτό αυξάνει την άνεση των επιβατών μέσα στο όχημα.
- Ρυθμιζόμενα χαρακτηριστικά του συστήματος ακόμα και κατά την οδήγηση
- Καθώς αυξάνει συνεχώς την επαφή του ελαστικού με το δρόμο, η σταθερότητα του οχήματος αυξάνεται. [42].

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της ενεργής ανάρτησης είναι τα ακόλουθα::

- Δυνητικά υψηλό κόστος
- Πολύπλοκη και δαπανηρή συντήρηση
- Μειωμένη αξιοπιστία λόγω πολυπλοκότητας
- Εξαιρετικές απαιτήσεις υψηλής πίεσης για λειτουργία από  $-40^{\circ}\text{C}$  έως  $+300^{\circ}\text{C}$
- Σημαντική κατανάλωση ενέργειας, υψηλή απαίτηση μέγιστης ισχύος [43].

### **3.4 Σύγκριση παθητικών, ημι-ενεργών και ενεργών συστημάτων**

Από την προαναφερθείσα περιγραφή και συζήτηση, τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα διαφόρων αναρτήσεων αυτοκινήτων μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

Όταν αναφερόμαστε σε ένα παραδοσιακό ή συμβατικό σύστημα ανάρτησης, εννοούμε ένα σύστημα που έρχεται "όπως είναι". Με άλλα λόγια, ένα συμβατικό σύστημα είναι ένα παθητικό σύστημα. Μόλις εγκατασταθεί στο αυτοκίνητο, ο χαρακτήρας του παραμένει αναλλοίωτος.

Αυτό έχει ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Από την θετική πλευρά, το σύστημα είναι πολύ προβλέψιμο. Στην κάτω πλευρά του οχήματος, μόλις το σύστημα φθάσει αυτά τα όρια, δεν μπορεί να αντισταθμίσει τις καταστάσεις πέρα από τις παραμέτρους σχεδιασμού του. Έτσι, οι αποσβεστήρες βγαίνουν έξω, οι αντηρίδες υπερέχουν, τα ελατήρια ανταποκρίνονται αργά, οι ράβδοι στρέψης αλλοιώνονται.

Ένα ενεργό σύστημα ανάρτησης, από την άλλη πλευρά, έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται συνεχώς στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του δρόμου. Τεχνητά επεκτείνει τις παραμέτρους σχεδιασμού του συστήματος παρακολουθώντας και προσαρμόζοντας συνεχώς τον εαυτό του, αλλάζοντας έτσι τον χαρακτήρα του σε συνεχή βάση. Με τους προηγμένους αισθητήρες και τους μικροεπεξεργαστές να τις τροφοδοτούν συνεχώς με πληροφορίες, η ταυτότητά τους παραμένει ρευστή. Αλλάζοντας το χαρακτήρα του για να ανταποκρίνεται στις διάφορες οδικές συνθήκες, η ενεργή ανάρτηση προσφέρει σταθερότητα, οδική αίσθηση, απόκριση και ασφάλεια.

Από τη μελέτη και τη σύγκριση των παθητικών, ενεργών και ημιενεργών συστημάτων ανάρτησης οχημάτων αποδείχθηκε ότι όχι μόνο το ενεργό αλλά και το ημι-ενεργό σύστημα

ανάρτησης είναι σε θέση να βελτιώσει σημαντικά την άνεση οδήγησης σε σύγκριση με τα κλασικά παθητικά συστήματα ανάρτησης. Η χρήση του αποσβεστήρα κραδασμών (διαχωρισμένος άξονας) και των πρόσθετων αποσβεστήρων μεταξύ του κινητήρα και του άξονα έχουν βελτιώσει την άνεση οδήγησης. Η χρήση της απόσβεσης των αμορτισέρ των ελατηρίων βελτιώθηκε ακόμη περισσότερο σε σύγκριση με το βασικό παθητικό σύστημα ανάρτησης διπλής μάζας.

### **3.5 Ενεργός μηχανισμός προστασίας κύλισης**

Σήμερα, τα περισσότερα οχήματα παντός εδάφους είναι εξοπλισμένα με παθητικές ράβδους κατά της κύλισης. Χάρη σε μια εύκαμπτη ράβδο που συνδυάζει την δεξιά και την αριστερή ανάρτηση, η γωνία ελαχιστοποιείται κατά τη στροφή του οχήματος. Αυτό το σύστημα δρα εναντίον των ασύμμετρων κινήσεων μεταξύ δεξιάς και αριστερής ανάρτησης, ειδικά όταν το όχημα υποβάλλεται σε πλευρική επιτάχυνση (λόγω φυγοκέντρων δυνάμεων). Χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της σταθερής κίνησης της περιστροφής και ακόμη σε μια ανομοιογενή οδική επιφάνεια (κεκλιμένο έδαφος). Ο μηχανισμός, εμπνευσμένος από αυτό το παθητικό σύστημα, αντικαθιστά τη ράβδο στρέψης με ένα ενεργοποιητή ο οποίος, δημιουργώντας μια αντίθετη κίνηση μεταξύ των δεξιών και των αριστερών αναρτήσεων, αλλάζει τη διαμόρφωση [29].

### **3.6 Διαχωριστική ράβδος αντεπιστροφής με ενεργοποιητή**

Ο πιο δημοφιλής τρόπος για να ελεγχθεί ενεργά ο κύλινδρος κύλισης είναι να χρησιμοποιηθούν συμβατικές ράβδοι κατά της κύλισης που έχουν χωριστεί. Ένας ηλεκτροκινητήρας ή υδραυλικός σερβομηχανισμός μεταξύ των δύο κομματιών εφαρμόζει ροπή σε κάθε πλευρά ξεχωριστά και ανάλογα με τις ανάγκες [32].

- Citroen Xantia Activa το 1994: ενεργή ράβδο κατά της ανατροπής
- Το σύστημα SC.CAR (Systeme Citroën de Contrôle Actif du Roulis) περιλάμβανε μια ράβδο προστασίας κατά των κυλίνδρων, η οποία μπορούσε να σκληρυνθεί υπό την καθοδήγηση του ECU ανάρτησης κατά τη διάρκεια σκληρών στροφών.
- BMW Σειρά 7 (E65) το 2001 εισήγαγε "ενεργούς" ράβδους αντιολίσθησης Active Roll Stabilization (ARS), οι οποίοι μπορούν να ελέγχονται αυτόματα από έναν υπολογιστή ανάρτησης, μειώνοντας τις στροφές του αμαξώματος

- Toyota το 2006 σύστημα Active Stabilizer Suspension System. Αλλάζοντας τη δυσκαμψία της σταθεροποιητικής ράβδου, το σύστημα αυτό μειώνει τη κλίση του σώματος κατά τη διάρκεια των στροφών, διατηρώντας το όχημα περισσότερο επίπεδο κατά τη διάρκεια των στροφών και βελτιώνοντας το χειρισμό, σε αντίθεση με τη φυσική τάση ενός οχήματος να κυλάει λόγω των πλευρικών δυνάμεων που βιώνουν οι χειριστές μεγάλης ταχύτητας. Το ενεργό σύστημα σταθεροποίησης βασίζεται σε αισθητήρες αμαξώματος οχημάτων και ηλεκτρικούς κινητήρες
- Η Porsche Panamera παρουσίασε το ίδιο σύστημα Porsche Dynamic Chassis Control (PDCC) το 2009
- Mercedes-Benz M-Class εισήγαγε ένα παρόμοιο σύστημα: ACTIVE CURVE SYSTEM το 2011
- Range Rover Sport εισήγαγε ενεργούς αντλιοσθητικές ράβδους Dynamic Response
- Mercedes-Benz Το σύστημα Active Body Control της S-Class της χρησιμοποιεί μια άλλη προσέγγιση: ο υπολογιστής χρησιμοποιεί αισθητήρες για να ανιχνεύσει το πλευρικό φορτίο, την πλευρική δύναμη και τη διαφορά ύψους στο σκελετό ανάρτησης, στη συνέχεια χρησιμοποιεί υδραυλική πίεση για να ανυψώσει ή να κατεβάσει το ελατήριο για να αντιστραφεί το ρολό. Αυτό το σύστημα αφαιρεί τη ράβδο κατά της κύλισης. Τα πιο ενεργά συστήματα ελέγχου κυλίνδρων επιτρέπουν ένα μικρό βαθμό κύλισης
- Toyota ένα μηχανικό σύστημα που ονομάζεται Kinetic Dynamic Suspension System (KDSS), το οποίο ουσιαστικά αποσυνδέει τις ράβδους σταθεροποίησης όταν είναι εκτός δρόμου, επιτρέποντας μεγαλύτερη αρθρωτή κίνηση και ποιότητα οδήγησης
- Η Mercedes τοποθετεί έναν υδραυλικό κύλινδρο στην κορυφή του συγκροτήματος αντεπιστροφής σε κάθε τροχό. Όταν οι γωνίες του οχήματος εκτείνονται ή ανασύρονται από τον κύλινδρο, επιμηκύνεται ή ελαττώνεται αποτελεσματικά το χαλύβδινο ελατήριο - για να εξουδετερώσει το ρολό του αμαξώματος
- Η Audi χρησιμοποιεί ηλεκτρικούς κινητήρες παρά υδραυλικούς κυλίνδρους, μειώνει τις κινήσεις βήματος που προκαλούνται από την πέδηση και την επιτάχυνση και να ανυψώσει ή να χαμηλώσει το σώμα για ευκολότερη είσοδο και έξοδο.

Το 2001, η BMW εισήγαγε ράβδους προστασίας κατά των κυλίνδρων που κατασκευάστηκαν από την ZF στη σειρά 7. Οι ράβδοι αλλάζουν ενεργά τη δυσκαμψία για να ελέγξουν την πλευρική μεταφορά βάρους και το ρολό του αμαξώματος. Αυτές οι ράβδοι ταλάντωσης έχουν μια ρυθμιζόμενη ράβδο στρέψης μέσα σε ένα περίβλημα που βρίσκεται στο

κέντρο της ράβδου. Η ράβδος στρέψης ελέγχεται με υδραυλική πίεση χρησιμοποιώντας υδραυλικό σερβομηχανισμό. Το σύστημα δεν μπορεί μόνο να ρυθμίσει τη ράβδο, αλλά μπορεί επίσης να αποσυνδέει πλήρως τη ράβδο. Οι ενεργές ράβδοι ταλάντωσης επιτρέπουν την αποσύνδεση της ράβδου για να επιτρέπεται η περιστροφή του τροχού πάνω από τραχιές επιφάνειες.

Το ενεργό σύστημα προστασίας από τροχούς σε αυτά τα οχήματα λειτουργεί σε συνδυασμό με τα ελατήρια αέρα και το ενεργό σύστημα απόσβεσης. Αυτά τα εξαρτήματα μπορούν να ελέγχουν την ανάρτηση, έτσι ώστε να μην υπάρχουν συμβιβασμοί μεταξύ των ρυθμών ελατηρίου, των ρυθμίσεων των αποσβεστήρων και της διαμέτρου της ράβδου κύλισης. Όταν το όχημα κινείται σε ευθεία γραμμή, η ράβδος μπορεί να αποσυνδεθεί έτσι ώστε κάθε τροχός να μπορεί να ενεργεί ανεξάρτητα για να απορροφά τους κραδασμούς. Όταν επιτευχθεί μια γωνία και εντοπιστεί η είσοδος διεύθυνσης, η ράβδος μπορεί να εμπλακεί για να σκληρύνει την ανάρτηση [44].

Στο σύστημα Dynamic Drive της BMW [εικόνα 3.1], η ενεργή ράβδος αντιολίσθησης (ARS) αποτελείται από δύο μισά που είναι συνδεδεμένα μέσω έναν υδραυλικά περιστρεφόμενο κινητήρα. Ο κινητήρας, μετατρέπει την υδραυλική πίεση σε σταθερή ροπή αντίστασης, μεταβάλλει τη δυσκαμψία της ράβδου κύλισης.



Εικόνα 3.1 Dynamic Drive [45].

### 3.7 Σύστημα Dynamic Drive

Η χρήση μιας τυποποιημένης παθητικής ράβδου σταθεροποίησης (συχνά αποκαλούμενης ράβδων ταλάντωσης ή ράβδων κατά της κύλισης) κρατά το σώμα του αυτοκινήτου από υπερβολική κλίση κατά τη στροφή και βελτιώνει σημαντικά το χειρισμό του. Συνδέοντας και τους δύο τροχούς, καθώς το όχημα στρίβει, η ράβδος στρέφεται σαν ελατήριο. Αυτή η αντίσταση κρατά μια πλευρά του σώματος από το να κινείται πολύ μακριά προς την αντίθετη κατεύθυνση του άλλου. Το μειονέκτημα είναι ότι καθιστά την ανάρτηση πιο άκαμπτη όταν το όχημα κινείται σε ευθεία γραμμή ή αν ένας τροχός πρέπει να αναπηδήσει [46].

Εκτός από τη μείωση της γωνίας κύλισης, το Dynamic Drive επιφέρει ένα βέλτιστο αυτοδιαχειριζόμενο αποτέλεσμα από την εξαρτώμενη από την κατάσταση της οδήγησης κατανομή των ροπών σταθεροποίησης μεταξύ εμπρόσθιου και οπίσθιου άξονα. Με αυτό τον τρόπο, ο χειρισμός και η ευελιξία βελτιώνονται σημαντικά και έτσι οδηγεί σε μια καινοτόμο, αλλά ταυτόχρονα τυπική, BMW Ultimate Driving Machine. Επιπλέον, δημιουργείται ένα υποκειμενικό κέρδος στην οδηγική ασφάλεια. Καθώς οι ενεργοί σταθεροποιητές του Dynamic Drive, ανάλογα με τη συχνότητα διέγερσης, εισάγουν ελαφρές δυνάμεις στο σώμα κατά την σχεδόν ευθεία οδήγηση και βελτιώνεται η άνεση οδήγησης [47].

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω βασισμένη στο σύστημα Dynamic Drive η BMW έχει αναπτύξει ένα ενεργό σύστημα σταθεροποιητικών ράβδων (ARS), το οποίο μειώνει σημαντικά τη γωνία κύλισης κατά τη στροφή. Για μεγαλύτερες πλευρικές επιταχύνσεις, η γωνία κύλισης αυξάνεται βαθμιαία με τον ίδιο ρυθμό όπως και στα συμβατικά αυτοκίνητα για να ειδοποιήσει τον οδηγό για την εγγύτητα του ορίου σταθερότητας. Επιπλέον, οι ιδιότητες αυτοδιάθεσης του οχήματος, συμπεριλαμβανομένης της υποστροφής και της υπερβολικής διεύρυνσης, βελτιώνουν το χειρισμό, την ευελιξία, την ακρίβεια της διεύθυνσης και την ασφάλεια. Το σύστημα Dynamic Drive αποτελείται από ένα υδραυλικό συγκρότημα βαλβίδων με ενσωματωμένους αισθητήρες, μια υδραυλική αντλία συνδεδεμένη στην αντλία υποβοηθούμενου συστήματος διεύθυνσης, έναν αισθητήρα πλευρικής επιτάχυνσης, μια μονάδα ελέγχου, πολλές υδραυλικές γραμμές και δύο ενεργές ράβδους σταθεροποίησης με περιστρεφόμενους υδραυλικούς ενεργοποιητές. Οι κύριες εισοδοί ελέγχου για το σύστημα Dynamic Drive είναι η γωνία διεύθυνσης και η πλευρική επιτάχυνση. Ένας δυναμικός παρατηρητής που εφαρμόζεται στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου υπολογίζει την απαραίτητη

ροπή σταθεροποίησης του οχήματος βάσει μιας πρόβλεψης που προκύπτει από το σήμα γωνίας διεύθυνσης και την πλευρική επιτάχυνση [48].

Το σύστημα ξεκίνησε αρχικά στη σειρά 7 το έτος 2001 και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε στις πρόσφατες σειρές 5 και 6. Σε σύγκριση με τον προκάτοχό του, το πλαίσιο της νέας σειράς 7 της BMW χαρακτηρίζεται από πολλές τεχνικές αλλαγές. Στο πλαίσιο του νέου αυτοκινήτου, τα συστήματα πέδησης και τα συστήματα ολίσθησης τροχών χαρακτηρίζονται από μερικές νέες σχεδιαστικές λύσεις. Διάφορα σχέδια επιλέχθηκαν για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις των αντίστοιχων εκδόσεων της σειράς 7. Τα συστήματα ελέγχου ολίσθησης τροχών κυμαίνονται από συμβατικά ABS, αυτόματο έλεγχο ευστάθειας ASC έως δυναμικό έλεγχο ευστάθειας DSC. Σύμφωνα με το άρθρο του Leffler [49] ο δυναμικός έλεγχος ευστάθειας DSC είναι ένα σύστημα ελέγχου σταθερότητας και έλξης BMW. Για να ξεπεραστούν τα όρια απόδοσης των συμβατικών συστημάτων που βασίζονται μόνο στις πληροφορίες αισθητήρων ταχύτητας τροχού, το DSC επεκτάθηκε από το σήμα θέσης του τιμονιού. Το νέο σύστημα επιτρέπει μια ταξινόμηση της συμπεριφοράς του οδηγού και, συνεπώς, οδηγεί σε καλύτερη αναγνώριση της αντίστοιχης κατάστασης οδήγησης. Οι εντολές ελέγχου της ανάφλεξης και του φρένου οδηγούν σε σημαντική σταθεροποίηση του αυτοκινήτου κατά τη διάρκεια των κρίσιμων οδηγικών κινήσεων. Η BMW 850 Ci είναι διαθέσιμη με τη DSC. Το DSC συγκρίθηκε με το συμβατικό αυτόματο σύστημα ελέγχου σταθερότητας ASC υπό διάφορες συνθήκες δοκιμής σε υψηλές και χαμηλές επιφάνειες. Πρώτα εισήχθη το '92 στο 850Ci η δεύτερη γενιά DSC στο νέο 750i διαθέτει Cornering Brake Control CBC ως πρόσθετη 'ενεργή' λειτουργία. Όλα τα μοντέλα της νέας σειράς 7 είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες ταχύτητας τροχού Hall Effect με έδρανο τροχού ενσωματωμένο οδοντωτούς τροχούς [50].

Το σύστημα μειώνει σημαντικά τη γωνία κύλισης κατά τη διάρκεια της στροφής. Για υψηλότερη πλάγια επιτάχυνση, η γωνία κύλισης αυξάνεται σταδιακά με τον ίδιο ρυθμό όπως στα συμβατικά αυτοκίνητα για την προειδοποίηση του οδηγού. Το Dynamic Drive ρυθμίζει δυναμικά το σύστημα αυτόματης διεύθυνσης χαρακτηριστικά ως συνάρτηση του οχήματος την ταχύτητα και τις συνθήκες οδήγησης που προκύπτουν σε βελτιωμένο χειρισμό, ευκινησία, και ακρίβεια διεύθυνσης [48].

Το Dynamic Drive εξαλείφει επίσης αρνητική παρενέργεια του παθητικού σταθεροποιητή. Συγκεκριμένα, παθητικές ράβδοι σταθεροποίησης μεταφέρουν κάθετες δυνάμεις από τη μια πλευρά της ανάρτησης του οχήματος στην άλλη. Το σύστημα Dynamic Drive αποτελείται από ένα μπλοκ υδραυλικής βαλβίδας με ενσωματωμένους αισθητήρες, υδραυλική αντλία που



συνδέεται με την υδραυλική αντλία τιμονιού, αισθητήρα πλευρικής επιτάχυνσης, μια μονάδα ελέγχου, μερικές υδραυλικές γραμμές και δύο ενεργές γραμμές σταθεροποίησης με περιστρεφόμενους υδραυλικούς ενεργοποιητές [11]. Αυτοί οι ενεργοί σταθεροποιητές εφαρμόζουν την υδραυλική πίεση στον σταθεροποιητή για να επιτευχθεί μια ροπή σταθεροποίησης, που εξουδετερώνει την κίνηση του κυλίνδρου.

Η υδραυλική βαλβίδα αποτελείται από δύο ρυθμιστές πίεσης και μια βαλβίδα κατεύθυνσης για αριστερή ή δεξιά στροφή. Οι κύριες εισοδοί ελέγχου για το το σύστημα Dynamic Drive είναι το σύστημα διεύθυνσης, και η γωνία της επιτάχυνσης. Ένα εξάρτημα παρακολούθησης που βρίσκεται στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (ECU) υπολογίζει την απαραίτητη ροπή σταθεροποίησης βάσει των δεδομένων που προέρχονται από τα σήματα που παράγουν η γωνία διεύθυνσης και η πλευρική επιτάχυνση. Ανάλογα με την κατάσταση οδήγησης, η ροπή σταθεροποίησης του οχήματος είναι μοιρασμένη στον εμπρόσθιο και πίσω άξονα για ιδανικές ιδιότητες αυτοδιεύθυνσης. Πρόσθετα σήματα από τη μονάδα ελέγχου χρησιμοποιούνται για την αξιοπιστία του ελέγχου για την εξασφάλιση της ασφάλειας και αύξηση της διαθεσιμότητας του συστήματος [48].

Όπως αναφέρει ο Μαρινόπουλος [9] στην περίπτωση της BMW 7 όταν κατά την διάρκεια στροφής αναπτύσσονται πλευρικές επιταχύνσεις μέχρι και 0,3g όσοι βρίσκονται στο εσωτερικό του αυτοκινήτου δεν αντιλαμβάνονται την παραμικρή κλίση αφού το σύστημα Dynamic Drive εξισορροπεί την φόρτιση των εξωτερικών τροχών σε σχέση αυτή των εσωτερικών τροχών, μειώνει την πίεση των σταθεροποιητών, αντιμετωπίζοντας μεμονωμένα, επιτρέποντας έτσι μια εξαιρετικά άνετη οδήγηση - ένα ιδιαίτερο πλεονέκτημα για τους επιβάτες των πίσω καθισμάτων. Σε επιταχύνσεις άνω των 0,6g οι κλίσεις μειώνονται έως και 80% προσφέροντας ουδέτερη οδική συμπεριφορά ακόμα και κοντά στο όριο. Ο κατασκευαστής έχει μεριμνήσει έτσι ώστε οι κλίσεις, να μην να περιορίζονται, όχι όμως και να εξαλείφονται ώστε ο οδηγός να είναι σε θέση να καταλαβαίνει κάθε φορά που υπερβάλλει [26].

### **3.7.1 Ανάλυση των επιμέρους στοιχείων**

Σύμφωνα με άρθρο του Hirschberg [46] παρακάτω αναφέρονται τα στοιχεία του συστήματος [εικόνα 3.2]:

- Αισθητήρας πλευρικής επιτάχυνσης

Αυτός ο αισθητήρας παρέχει όλες τις σημαντικές πληροφορίες για το τι κάνει το αυτοκίνητο στη μονάδα ελέγχου. Όταν το αυτοκίνητο περνά από μια γωνία, ο αισθητήρας πλευρικής επιτάχυνσης είναι αυτό που το ανιχνεύει.

- Μονάδα ελέγχου δυναμικής κίνησης

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής που μετατρέπει τις πληροφορίες που παρέχονται από τον αισθητήρα πλευρικής επιτάχυνσης, τη μονάδα DCS, τον αισθητήρα γωνίας τιμονιού και άλλες σε λειτουργικές ενέργειες για τις ράβδους ταλάντωσης. Είναι σε θέση να ελέγχει τη λειτουργία των ράβδων ταλάντωσης μέσω ενός ηλεκτροϋδραυλικού μπλοκ βαλβίδας [46].

- Υδραυλική αντλία

Η υδραυλική αντλία εξυπηρετεί δύο σκοπούς. Χρησιμοποιεί τους εύκαμπτους σωλήνες υδραυλικής πίεσης για την τροφοδοσία τόσο του υδραυλικού τιμονιού, όσο και του κινητήρα. Διατηρώντας σταθερή υψηλή πίεση στο σώμα της βαλβίδας, το σύστημα μπορεί να έχει έναν γρήγορο χρόνο απόκρισης όταν εκτρέπει υγρό προς και από τις ράβδους ταλάντωσης. Η αντλία είναι επίσης εξοπλισμένη με ένα μικρό συσσωρευτή προκειμένου να τροφοδοτήσει άμεσα την πίεση στο σύστημα.

- Δυναμική βαλβίδα μονάδας δίσκου

Λειτουργώντας με παρόμοιο τρόπο με το σώμα βαλβίδας αυτόματου κιβωτίου ταχυτήτων, το μπλοκ βαλβίδας χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες για να ελέγχει τη ροή του ρευστού στις ράβδους ταλάντωσης, με αποτέλεσμα τη δυσκολότερη ή μαλακότερη λειτουργία της μπάρας.

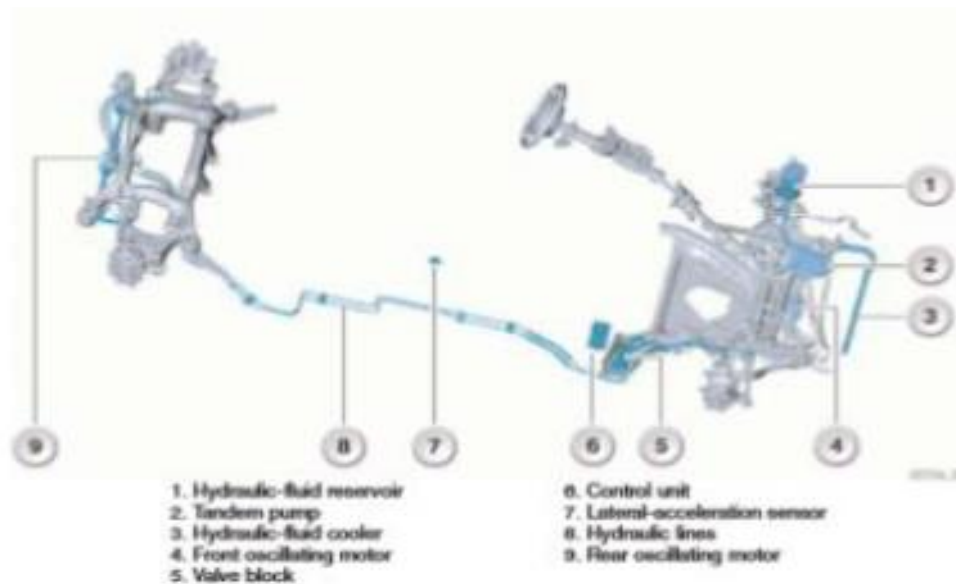
- Δοχείο ρευστού και αισθητήρας στάθμης

Αυτό είναι ένα από τα βασικότερα στοιχεία του συστήματος, παρέχοντας την απαραίτητη ποσότητα υγρού για το σύστημα για να λειτουργήσει και ένας τρόπος για τον υπολογιστή να ειδοποιήσει εάν το επίπεδο πέσει πολύ χαμηλά. Αυτή είναι και η δεξαμενή υγρού του υδραυλικού τιμονιού.

- Υδραυλικές βαλβίδες

Υπάρχουν πολλές υδραυλικές βαλβίδες που δεν βρίσκονται στο μπλοκ βαλβίδων. Αυτές περιλαμβάνουν βαλβίδες ελέγχου πίεσης στο εμπρόσθιο και οπίσθιο πλαίσιο για την προσαρμογή της πίεσης ενεργοποίησης, μια κατευθυντική βαλβίδα που καθορίζει την κατεύθυνση του ρευστού υψηλής πίεσης, μία βαλβίδα εξαέρωσης στην πρόσοψη της

ράβδου για να επιτρέψει στον αέρα να εισέλθει στην αντλία και τη βαλβίδα ασφαλείας, η οποία σβήνει τον μηχανισμό ρύθμισης της ράβδου ταλάντωσης, μετατρέποντάς την σε μια σταθερή ράβδο. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι αν το σύστημα είναι στεγνό, η μπάρα ταλάντωσης θα προσφέρει μηδενική σταθεροποίηση[46].



Εικόνα 3.2 Στοιχεία του Dynamic Drive [51].

Το Dynamic Drive ελέγχει δύο ενεργές ράβδους σταθεροποίησης βασισμένες στην πλευρική επιτάχυνση. Οι ενεργοί σταθεροποιητές χωρίζονται με ένα υδραυλικό ενεργοποιητή του οποίου οι πλευρές μπορούν να μετατραπούν σε αντίθετες κατευθύνσεις. Αυτοί οι ενεργοί σταθεροποιητές ρυθμίζουν τη ροπή με τη χρήση υδραυλικών ενεργοποιητών έτσι ώστε:

- Η κίνηση του οχήματος να ελαχιστοποιείται κατά τη στροφή
- Ο βαθμός στον οποίο το σώμα κινείται σε ευθεία τροχιά σε ανομοιόμορφες οδικές επιφάνειες μειώνεται
- Επιτυγχάνεται ένας υψηλός βαθμός ευελιξίας και προσαρμογής ακριβείας χρησιμοποιώντας το εύρος πλήρους ταχύτητας
- Παράγεται ένα βέλτιστο χαρακτηριστικό αυτόματης διεύθυνσης

### 3.8 Συντήρηση και διάγνωση βλαβών δυναμικής κίνησης BMW

Σχεδόν όλα τα προβλήματα με το σύστημα θα ενεργοποιήσουν τη λειτουργία «fail safe». Οι βαλβίδες ελέγχου θα κλείσουν τις υδραυλικές εισόδους και εξόδους από τους υδραυλικούς κινητήρες, μετατρέποντας αποτελεσματικά την μπάρα ταλάντωσης σε μια στερεά παθητική μονάδα. Οι ράβδοι ταλάντωσης δεν καταπονούνται από πολλά ζητήματα, αλλά μπορεί να χρειάζονται αντικατάσταση εάν κάποια από τις εσωτερικές βαλβίδες είναι ελαττωματικές.

Ένα ελαττωματικό σώμα βαλβίδας προκαλεί θόρυβο από βλάβη, καθώς οι βαλβίδες αποτυγχάνουν να εκτρέψουν με επιτυχία υγρό υψηλής πίεσης. Αυτό είναι το πιο συνηθισμένο σημείο αστοχίας στο σύστημα εκτός από τις διαρροές. Ένα άλλο στοιχείο που θα προκαλέσει βλάβη είναι ο αισθητήρας πλευρικής επιτάχυνσης. Χωρίς στοιχεία από τον αισθητήρα προκειμένου να λειτουργήσει ο υπολογιστής, οι ράβδοι ταλάντωσης θα μεταβούν σε λειτουργία αποτυχίας και οι ράβδοι ταλάντωσης θα γίνουν παθητικοί [46].

Όπως συμβαίνει με οποιοδήποτε υδραυλικό σύστημα, το BMW Dynamic Drive μπορεί να είναι επιρρεπές σε διαρροές. Σε περίπτωση απώλειας όλων των υγρών, θα εμφανιστεί μια προειδοποιητική ένδειξη στην καντράν του αυτοκινήτου και η σταθερότητα του οχήματος θα είναι σχεδόν ανύπαρκτη, αποτυγχάνοντας αποτελεσματικά την ασφαλή λειτουργία. [46].

### 3.9 Σύνοψη κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό συζητήθηκε η ενσωμάτωση τριών συστημάτων ελέγχου ανάρτησης για την ενίσχυση της απόδοσης του οχήματος. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε η σύγκριση των παθητικών, ημι- ενεργών και ενεργών συστημάτων προκειμένου να αποδειχθεί η καταλληλότητα τους κυρίως για την απορρόφηση κραδασμών κατά την κίνηση του οχήματος. Ένας τρόπος αντιμετώπισης των κραδασμών είναι μια ανάρτηση με μεταβλητή δυσκαμψία που αλλάζει σύμφωνα με μετρημένες παραμέτρους όπως η κίνηση του σώματος, η μετατόπιση του ελατηρίου, η γωνία διεύθυνσης. Τα παθητικά συστήματα ανάρτησης και μεταγενέστερα τα ημι-ενεργά και ενεργά συστήματα ανάρτησης παρέχουν πρόσθετη ευστάθεια και ευελιξία με ενεργό έλεγχο της κύλισης κατά τη στροφή και την πέδηση, καθώς και την εξάλειψη των ανωμαλιών του οδοστρώματος, αυξάνοντας έτσι την ασφάλεια των οχημάτων και των επιβατών και την άνεση οδήγησης. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στο ενεργό σύστημα ελέγχου πλαισίου Dynamic Drive, σύστημα δυναμικής οδήγησης που παρακολουθεί τις συνθήκες

οδήγησης χρησιμοποιώντας αισθητήρες. Τα σήματα που μεταδίδονται από τους αισθητήρες στις μονάδες ελέγχου ερμηνεύουν και αξιολογούν τις συνθήκες οδήγησης. Οι μονάδες ελέγχου στέλνουν τα σήματα στους ενεργοποιητές, που θα αντισταθούν σε αυτές τις δυνάμεις, παρέχοντας προσαρμογές για να ελαχιστοποιήσουν την κύλιση του αμαξώματος και να τη διανέμουν μεταξύ των δύο αξόνων, μειώνοντας την υπερβολική μετατόπιση και εξασφαλίζοντας μια άνετη διαδρομή για όλους τους επιβάτες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> - ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ARS

Το Active Roll Stabilization είναι ένα ενεργό σύστημα ανάρτησης που έχει σχεδιαστεί για να μειώνει την κύλιση του αμαξώματος κατά τη στροφή. Το σύστημα χρησιμοποιεί αισθητήρες στο όχημα για να καθορίσει πότε λαμβάνει χώρα η στροφή του αμαξώματος και ρυθμίζει τους υδραυλικούς περιστροφικούς ενεργοποιητές στις ράβδους κατά της κύλισης για να αντισταθμίσουν τον κύλινδρο. Η σταθερότητα της κύλισης αναφέρεται στην ικανότητα ενός οχήματος να αντιστέκεται στις δημιουργούμενες στιγμές ολίσθησης κατά τη διάρκεια των στροφών. Η σταθερότητα της κύλισης καθορίζεται από το ύψος του κέντρου της μάζας, του εύρους της τροχιάς και των κινητικών ιδιοτήτων και των ιδιοτήτων συμμόρφωσης του τις ανατροπές. Το σύστημα μπορεί να ρυθμίσει τόσο την εμπρός και την πίσω ράβδο προστασίας από τροχούς, με αποτέλεσμα περισσότερη εμπιστοσύνη στους οδηγούς και αυξημένη οδηγική άνεση.

Η BMW ανέπτυξε ένα σύστημα, το Active Roll Stabilization (BMW-ARS) εγκαθιστώντας έναν υδραυλικό περιστροφικό ενεργοποιητή στο κέντρο της ράβδου αντιολίσθησης. Η γωνία ολίσθησης καταστέλλεται από ένα γραμμικό σύστημα ανάδρασης χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που δίνεται από τον αισθητήρα πλευρικής επιτάχυνσης [29].

Το υδραυλικό μοντέλο του ενεργού συστήματος σταθεροποίησης κύλισης της BMW, το μοντέλο προσομοίωσης TESIS DYNAware του συστήματος υδραυλικών ενεργοποιητών έχει αναπτυχθεί με επιτυχία από τη BMW εδώ και αρκετά χρόνια. Πρόκειται για βασικό στοιχείο της προσομοίωσης ολόκληρης της BMW που αποτελείται από μοντέλα οχημάτων και συνδυασμένα συστήματα ελέγχου.

Οι ενεργοί υδραυλικοί σταθεροποιητές επιτρέπουν τη δυναμική οδήγηση αυξάνοντας παράλληλα την ασφάλεια και την άνεση. Αυτές οι μονάδες παράγουν σταθεροποιητικές δυνάμεις στον εμπρόσθιο και στον πίσω άξονα για την ελαχιστοποίηση ή την πλήρη εξάλειψη της κύλισης του οχήματος κατά τη διάρκεια καμπυλών. Παρέχουν τη βέλτιστη απόδοση αλλαγής φορτίου. Όταν το όχημα κινείται σε ευθεία πορεία, η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου προσαρμόζει το επίπεδο απόσβεσης για να εξασφαλίσει πιο μαλακές και πιο άνετες ιδιότητες ανάρτησης. Η κίνηση αντιγραφής στο σώμα του οχήματος μειώνεται, γεγονός που δίνει στο όχημα μεγαλύτερη ευελιξία και προβλεψιμότητα στις στροφές, σε όλο το εύρος στροφών. Τα ενεργά συστήματα σταθεροποίησης αναρτήσεων χρησιμοποιούνται σε οχήματα μεσαίου μεγέθους [52].

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζεται η καταστολή των κραδασμών στα συστήματα ενεργού ανάρτησης των οχημάτων, σκοπός των οποίων είναι η σταθεροποίηση της συμπεριφοράς του οχήματος και η βελτίωση της άνεσης οδήγησης. Οι κατασκευαστές των αυτοκινήτων έχουν εξελίξει ένα μεγάλο αριθμό συστημάτων για να βελτιώσουν την ασφάλεια και τον έλεγχο, συμπεριλαμβανομένου του ARS. Το Active Roll Stabilization είναι ένα "ενεργό" σύστημα ελέγχου ανάρτησης για τη μείωση της κύλισης του αμαξώματος στις στροφές, με αποτέλεσμα τον βελτιωμένο χειρισμό. Κάθε φορά που το όχημα εισέρχεται σε μια γωνία, παράγεται "πλευρική επιτάχυνση". Οι αισθητήρες διαβάζουν το επίπεδο του κυλίνδρου του σώματος και επικοινωνούν με το ECU ή τον κεντρικό «εγκέφαλο» το οποίο στη συνέχεια επεξεργάζεται αυτό το σήμα και συντονίζει διάφορα συστήματα για να ανταποκριθεί. Ως αποτέλεσμα, το ARS παράγει ενεργά αντίσταση στο αμάξωμα, στρέφοντας τις εμπρός και οπίσθιες ράβδους αντιστήριξης κατάλληλα.

Όταν ανιχνεύει το σύστημα ARS ότι το αυτοκίνητο εκτρέπεται από την πορεία του, δηλαδή ότι η γωνία κλίσης του αμαξώματος είναι πολύ μεγάλη, ή ότι τα ελαστικά έχουν αρχίσει να χάνουν την πρόσφυση τους, μειώνει ακαριαία την ισχύ εξόδου από τον κινητήρα και φρενάρει μεμονωμένα με την δύναμη που απαιτείται για να κρατήσει το αυτοκίνητο υπό έλεγχο.

Το αυτοκίνητο έχει αντιολισθητικές ιδιότητες, όπως η απόσβεση των ταλαντώσεων των κυλίνδρων και η σταθεροποίηση τους, χωρίς να επηρεάζεται η κίνηση αναπήδησης. Η τάση περιστροφής ενός οχήματος μπορεί να μειωθεί σημαντικά εάν η ακαμψία της σταθεροποιητικής ράβδου είναι ενεργά ελεγχόμενη. Οι παρούσες ηλεκτρο-υδραυλικές λύσεις για την ενεργό σταθεροποίηση του οχήματος (ARS) χρησιμοποιούν ενεργοποιητές με βαλβίδα. [53].

Καθώς αυξάνεται ο κίνδυνος ανατροπής του οχήματος, το προτεινόμενο σύστημα ελέγχου μετατοπίζει τον έλεγχο από το χειρισμό του βελτιωτικού στη σταθεροποίηση του οχήματος, ρυθμίζοντας τον ελεγκτή. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι το προτεινόμενο σύστημα ελέγχου μπορεί να βελτιώσει τις αντιδράσεις χειρισμού του οχήματος διασφαλίζοντας ταυτόχρονα τη σταθερότητα του οχήματος σε ελιγμούς υψηλών ταχυτήτων του οχήματος [54]. Οι στρατηγικές ελέγχου σταθεροποίησης κύλισης έχουν σχεδιαστεί για να χρησιμοποιούν όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες για την υπέρβαση των καθυστερήσεων στο υδραυλικό σύστημα πέδησης και για την αποτελεσματική ροπή στρέψης για την αντιμετώπιση της κίνησης του κυλίνδρου του οχήματος η οποία μπορεί να οδηγήσει σε ανατροπή.

Οι ενεργοί υδραυλικοί σταθεροποιητές επιτρέπουν τη δυναμική οδήγηση αυξάνοντας παράλληλα την ασφάλεια και την άνεση.

## 4.1 Μηχανισμός ARS

Το Active Roll Stabilization (ARS) είναι προσανατολισμένο τόσο στην άνεση όσο και στη βελτίωση του χειρισμού του οχήματος. Το ARS καθορίζει υδραυλικά τη μεταβολή της ισοδύναμης ακαμψίας των ράβδων κατά της κύλισης.

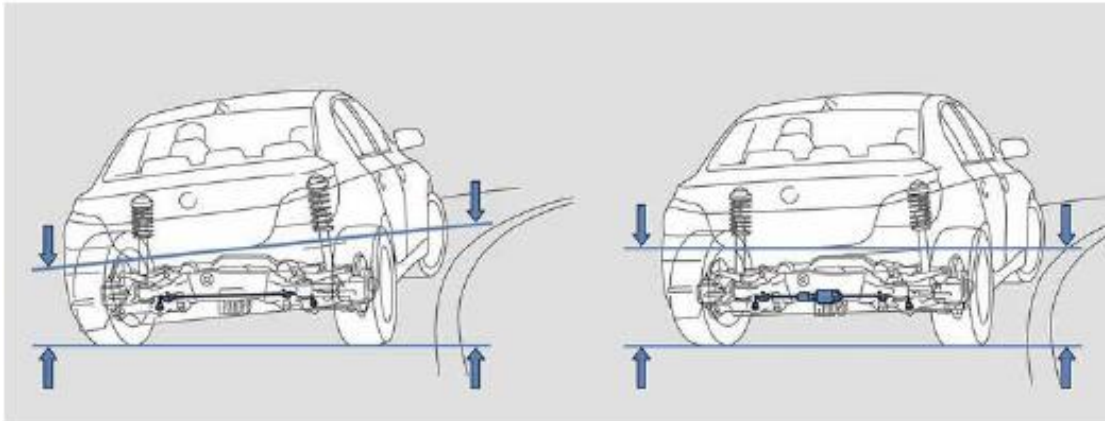
Το σύστημα μπορεί πραγματικά να λειτουργήσει ως μηχανισμός αντίθετης κατεύθυνσης σε μια στενή στροφή. Δηλαδή, όταν το ενεργό σύστημα διεύθυνσης (μέσω ενός αισθητήρα ηλεκτρονικής στροφής / αισθητήρα γωνίας διεύθυνσης συνδεδεμένου με το υδραυλικό τιμόνι) θα «διαβάσει» την ποσότητα της δύναμης ολίσθησης στους τροχούς, την διαθέσιμη πρόσφυση και εάν το αυτοκίνητο είναι ικανό να κινηθεί από εκεί που κατευθύνεται, επισημάνει και στην πραγματικότητα αυξάνει ή μειώνει τη γωνία διεύθυνσης για να κρατήσει το αυτοκίνητο σε πορεία.

Το αμάξωμα είναι κατασκευασμένο πάνω από τον διαμήκη άξονα του οχήματος ως αποτέλεσμα της φυγοκεντρικής δύναμης στο κέντρο βάρους. Αυτή η δύναμη αναγκάζει το όχημα να ακουμπήσει προς τους εξωτερικούς τροχούς ενώ στρέφεται και τραβάει γρήγορα το όχημα πιο κοντά στα όρια της δυναμικής οδήγησης. Η γωνία κλίσης του σώματος και το αυξημένο φορτίο του τροχού αντισταθμίζονται από τη χρήση σταθεροποιητικής μπάρας.

Δύο σταθεροποιητικές ράβδοι με ενσωματωμένους υδραυλικούς ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται για το σύστημα δυναμικής απόκρισης. Οι ενεργοποιητές εφαρμόζουν μια υδραυλική δύναμη ή περιστροφική ροπή προς τον σταθεροποιητή. Οι δύο "ενεργές" ράβδοι προστασίας από την ανατροπή (ένα σε κάθε άξονα) συνδέονται υδραυλικά με αισθητήρες και όταν εφαρμόζονται δυνάμεις στροφών, μετατρέπουν την πίεση σε σταθεροποίηση ανάρτησης / πλαισίου. Αυτό εξαλείφει τις δυνάμεις κλίσης.

Ειδικότερα ένα τροχοφόρο όχημα έχει ένα σασί και ένα αμάξωμα τοποθετημένο κινούμενο πάνω του, με το σώμα να μπορεί να μεταφέρει εμπορεύματα και επιβάτες. Ένα επιταχυνσιόμετρο ανιχνεύει τις δυνάμεις που επενεργούν επί του οχήματος καθώς το όχημα διέρχεται από μία καμπύλη και είναι διατεταγμένο ώστε να ενεργοποιεί ένα σύστημα κλίσης και πλάγιας μετατόπισης του οχήματος. Ένας πρώτος μηχανισμός ισχύος κλίνει το σώμα σε σχέση με το σασί προς το κέντρο της καμπύλης. Ένας δεύτερος μηχανισμός ισχύος μετατοπίζει πλευρικά το σώμα σε σχέση με το σασί εφαρμόζοντας πλευρικές δυνάμεις ανεξάρτητες από τις δυνάμεις κλίσης. Η πλευρική κίνηση μπορεί να είναι προς το κέντρο της καμπύλης ή μακριά από το κέντρο της καμπύλης [55].





Εικόνα 4.1 BMW Dynamic Drive: Complex But Effective [46].

## 4.2 Σκοπός του Συστήματος

Η μονάδα δίσκου (Active Dynamic Drive - Active Roll Stabilizer Bar) (ARS) είναι ένα επαναστατικό βήμα για την τεχνολογία πλαισίου. Το ARS προχωρά πολύ προς την κατεύθυνση να προσαρμόσει την ευελιξία της οδήγησης με την άνεση της οδήγησης. Το ARS έχει δύο σταθεροποιητικές ράβδους που έχουν θετική επίδραση στο σώμα του οχήματος επιτρέποντας τη χρήση μαλακότερων ελατήριων και αποσβεστήρων για μεγαλύτερη άνεση.

Το συγκρότημα Active Stabilizer Bar πραγματοποιεί τρεις λειτουργίες:

- ✓ Ο κινητήρας αποσυνδέει τα δύο μισά της ράβδου σταθεροποίησης
- ✓ Ο κινητήρας καθοδηγεί τη ροπή στα δύο μισά της ράβδου σταθεροποίησης
- ✓ Σε περίπτωση βλάβης του συστήματος (κατάσταση λειτουργίας Failsafe), η ράβδος σταθεροποίησης του εμπρόσθιου άξονα δημιουργεί επαρκή ισχύ απόσβεση από τον κινητήρα συμβατική ράβδος σταθεροποίησης

## 4.3 Τεχνολογία ενεργής σταθεροποίησης κύλισης

Ενεργοποιημένοι υδραυλικοί σταθεροποιητές κύλισης ευνοούν τη δυναμική οδήγηση αυξάνοντας ταυτόχρονα την ασφάλεια και την άνεση. Αυτές οι μονάδες δημιουργούν δυνάμεις σταθεροποίησης στον εμπρόσθιο και στον πίσω άξονα για ελαχιστοποίηση ή εξάλειψη της

κύλισης στο σώμα του οχήματος κατά τη διάρκεια καμπυλών. Η εφαρμογή της υδραυλικής πίεσης στους ενεργοποιητές εφαρμόζεται στην ποσότητα ροπής προς τις ράβδους σταθεροποίησης για να αντισταθμιστούν οι δυνάμεις στην στροφή και την ελαχιστοποίηση της ολίσθησης του οχήματος και με αυτό τον τρόπο επιτρέπουν τη βέλτιστη στροφή και μεταβολή φορτίου. Όταν το όχημα κινείται ευθεία, η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου ρυθμίζει το επίπεδο απόσβεσης για να εξασφαλίσει ομαλότερη και πιο άνετη λειτουργία ανάρτησης. Η εκτροπή στο σώμα του οχήματος μειώνεται, πράγμα που δίνει στο όχημα μεγαλύτερη ευελιξία και προβλεψιμότητα στις στροφές σε όλο το φάσμα της ταχύτητας. Τα ενεργά συστήματα σταθεροποίησης χρησιμοποιούνται σε επιβατικά οχήματα [24].

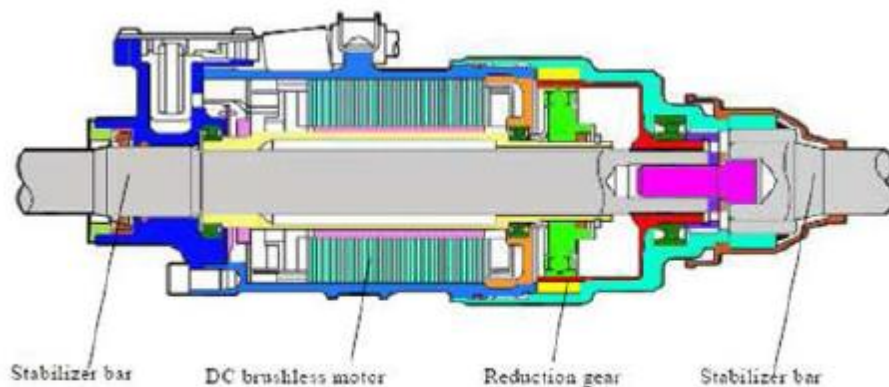
Το ενεργό σύστημα ελέγχου περιλαμβάνει επίσης έναν συσσωρευτή για κάθε αποσβεστήρα κραδασμών και ένα έμβολο ελέγχου για την καθοδήγηση των πιέσεων ταυτόχρονα με τα αμορτισέρ [38].

#### **4.4 Μέρη σταθεροποιητικής ράβδου συστήματος ARS**

Όταν ένα αυτοκίνητο παίρνει μια στροφή, το κέντρο βάρους του κλίνει προς τα έξω, συμπιέζοντας την εξωτερική ανάρτηση και αποσυμπιέζοντας το εσωτερικό. Μία ράβδος προστασίας κατά της κύλισης, η οποία συνδέει και τις δύο πλευρές της ανάρτησης σε έναν άξονα, περιορίζει τη διαφοροποίηση που μπορεί να έχει η ανάρτηση και έτσι μειώνει την κύλιση του αμαξώματος.

Σε αντίθεση με μια κανονική ράβδο ταλάντωσης, η οποία δεν μπορεί να ρυθμιστεί εκ περιτροπής, μια ενεργή ράβδος ταλάντωσης χρησιμοποιεί ένα μοτέρ στο κέντρο της ράβδου για να εφαρμόζει αντίθετη ροπή στρέψης σε κάθε άκρο. Αυτό σκληραίνει τη ράβδο προστασίας σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στο αυτοκίνητο να διορθώσει την περιστροφική κίνηση [56].

Το σύστημα ενεργής σταθεροποίησης αποτελείται από μπροστινές και οπίσθιες σταθεροποιητικές ράβδους με ενσωματωμένους ενεργοποιητές, δύο επιταχυνσιόμετρα, μονάδα ελέγχου, υδραυλική αντλία, μπλοκ βαλβίδας και δεξαμενή. Οι δύο ξεχωριστές ράβδοι σταθεροποίησης σε κάθε άξονα τοποθετούνται σε ρουλεμάν και συνδέονται από ένα υδραυλικό ταλαντευόμενο κινητήρα. Το ένα μισό της ράβδου σταθεροποίησης συνδέεται με τον υδραυλικό ενεργοποιητή και ο άλλος είναι συνδεδεμένος στο περίβλημα του κινητήρα. Οι ενεργές ράβδοι σταθεροποίησης εισάγουν λιγότερες δυνάμεις στο σώμα σε σύγκριση με τις στερεές σταθεροποιητικές ράβδους επειδή δεν αντιλαμβάνονται μονόπλευρες αναπηδήσεις.



Εικόνα 4.2 Τμηματική άποψη διατομής ενεργοποιητή [58].

Κάθε ενεργοποιητής έχει ένα έμβολο το οποίο είναι προσαρτημένο στο εσωτερικό μέρος μίας σφαίρας. Το εξωτερικό μέρος της σφαίρας είναι πτυχωμένο και συγκολλημένο σε ένα περίβλημα το οποίο είναι προσαρτημένο στο άλλο μισό του σταθεροποιητή. Η πίεση εφαρμόζεται από τη μια πλευρά του εμβόλου στην άλλη και ο ρότορας μετατρέπει την γραμμική δύναμη του εμβόλου σε περιστροφική μεταξύ των δύο ημίσεων της ράβδου σταθεροποίησης.

Οι ράβδοι που δημιουργούνται με ροπή στρέψης εξουδετερώνουν την γωνία σώματος του οχήματος και παρέχει καλύτερη κατανομή φορτίου και τους δύο τροχούς στον ίδιο άξονα. Δύο υδραυλικές συνδέσεις παρέχουν τη σύνδεση των υδραυλικών σωλήνων από το μπλοκ βαλβίδων. Οι συνδέσεις περιλαμβάνουν ένα έμβολο σε κάθε ενεργοποιητή. Ο εμπρός και πίσω ενεργοποιητής είναι παρόμοιοι στην κατασκευαστική τους δομή και ο οπίσθιος είναι μικρότερος από το μπροστινό. Κάθε ράβδος σταθεροποιητή κατασκευάζεται από ράβδο χάλυβα διαμέτρου 34 mm (1,34 in). Οι δακτύλιοι στερέωσης σταθεροποιητικής ράβδου, οι βραχίονες και οι σύνδεσμοι σταθεροποίησης είναι εξαρτήματα που μπορούν να επισκευαστούν. Οι εμπρόσθιοι σύνδεσμοι σταθεροποιητή δεν παρέχονται στην μπροστινή ράβδο σταθεροποίησης και είναι επίσης κοινά σε οχήματα που δεν είναι εξοπλισμένα με δυναμική απόκριση ενώ μόνο οι πίσω ζεύξεις σταθεροποίησης είναι μοναδικοί για οχήματα με δυναμική απόκριση. Οι πίσω σύνδεσμοι δυναμικής απόκρισης αναγνωρίζονται από ένα γκρι πλαστικό καλούπι. Οι παθητικές (μη δυναμική απόκριση) συνδέσεις μπορούν να αναγνωριστούν από ένα λευκή απόχρωση στο έδρανο τους. Η μπροστινή ράβδος σταθεροποίησης και ο ενεργοποιητής είναι προσαρτημένα σε ένα πλαίσιο στο εμπρόσθιο εγκάρσιο μέλος. Δύο βοηθητικοί δακτύλιοι από καουτσούκ διαχωρίζονται στη ράβδο

σταθεροποίησης και βρίσκονται στους χυτούς βραχίονες. Κάθε βραχίονας ασφαρίζεται με ένα τρίτο μπουλόνι. Η πίσω ράβδος σταθεροποίησης και ο ενεργοποιητής συνδέονται, μπροστά από τους πίσω τροχούς ενώ δύο ελαστικοί δακτύλιοι συνδέονται στη ράβδο σταθεροποίησης. Στις εμπρός και πίσω ράβδους σταθεροποίησης, η δύναμη διόρθωσης κύλισης μεταδίδεται στο βραχίονα ανάρτησης μέσω σταθεροποιητή με σφαιρικό σύνδεσμο. Οι μπροστινοί σύνδεσμοι συνδέονται στον άνω βραχίονα της πρόσθιας ανάρτησης και οι πίσω σύνδεσμοι στον μικρότερο σε μήκος κάτω βραχίονα. Ο εμπρόσθιος σύνδεσμος σταθεροποιητή είναι εφοδιασμένος με ροδέλα από σκληρυμένο χάλυβα που βρίσκεται μεταξύ της ράβδου σταθεροποίησης και της σφαίρας σύνδεσης του αρμού και του άνω βραχίονα. Είναι σημαντικό οι ροδέλες αυτές να βρίσκονται στη σωστή θέση και να είναι άκαμπτες [57].

Η ενεργή μπάρα σταθεροποίησης έχει τρεις λειτουργίες να επιτελέσει:

- Ο κινητήρας καθοδηγεί τη ροπή στα δύο μισά της σταθεροποιητικής ράβδου
- Ο κινητήρας αποσυνδέει τα δύο μισά του σταθεροποιητή
- Σε περίπτωση βλάβης του συστήματος (κατάσταση ασφαλούς λειτουργίας), η εμπρόσθια ράβδος σταθεροποίησης δημιουργεί επαρκή απόσβεση μέσω του υδραυλικού υγρού του ταλαντωτή

Οι ενεργές ράβδοι σταθεροποίησης πραγματοποιούν τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Ελαχιστοποίηση ή πλήρη εξάλειψη της ολίσθισης του αμαξώματος κατά τη στροφή
- Μείωση του "αποτελέσματος αντιγραφής" του οχήματος
- Επιτυγχάνεται υψηλός βαθμός ευελιξίας και ακρίβειας σε όλο το εύρος ταχύτητας
- Παρέχει άριστα χαρακτηριστικά διεύθυνσης
- Βελτιωμένη άνεση στην ανάρτηση, επειδή η μπάρα σταθεροποίησης είναι ανεξάρτητη και δεν είναι άκαμπτη κατά τη διάρκεια μιας αναπήδησης.

#### **4.6 Αιτίες φθοράς της ράβδου**

Οι φθαρμένοι δακτύλιοι ράβδων ταλάντωσης [εικόνα 4.3] μπορεί να προκαλέσουν θόρυβο όταν το όχημα στρέφεται ενώ οι διαρροές λαδιού μπορούν συχνά να οδηγήσουν στην πρόωρη βλάβη του καουτσούκ. Τα πιο αδύναμα σημεία σε οποιοδήποτε σύστημα είναι οι σύνδεσμοι που συνδέουν τη ράβδο με την ανάρτηση. Τα σχέδια μπορούν να διαφέρουν από κάθετους κρίκους με δακτυλίους και από τα δύο άκρα έως τους αρμούς με πλήρεις σφαίρες. Και οι δύο αυτές συνδέσεις μπορούν με την πάροδο του χρόνου να φθαρούν. Ως εκ τούτου, η επιθεώρηση

και συντήρηση είναι σημαντική. Η μπάρα μπορεί να σπάσει στα άκρα ή στη μέση και αυτός ο τύπος αστοχίας είναι πιο συνηθισμένος στις πίσω ράβδους μικρότερης διαμέτρου. Επίσης συνιστάται προσοχή στις υποδοχές τοποθέτησης που συνδέουν τη ράβδο στο πλαίσιο [59].



Εικόνα 4.3 Αίτια φθοράς ράβδου [46].

#### 4.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συστήματος ARS

Ως πλεονεκτήματα αναφέρονται τα παρακάτω:

- Ελαχιστοποιεί την κύλιση
- Βελτιώνει την απόδοση
- Αποσυνδέει την κίνηση του τροχού σε ευθεία οδήγηση

Σύμφωνα με την μελέτη του Nordstrom [60] το πιο σοβαρό μειονέκτημα με ένα σύστημα αυτού του τύπου, είναι ότι το σώμα του οχήματος βρίσκεται πολύ μακριά ως προς το κέντρο της καμπύλης ή άλλα εμπόδια βρίσκονται κατά μήκος της διαδρομής κίνησης του οχήματος και, ως εκ τούτου, το σύστημα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Επίσης οδηγώντας ευθεία κατά τη διάρκεια μιας αναπήδησης, αυτό μεταδίδει σε "αντιγραφή" μέσω της ανάρτησης, η οποία μειώνει την άνεση.

#### 4.8 Σύνοψη κεφαλαίου

Το παραπάνω κεφάλαιο αναφέρεται στο σύστημα σταθεροποίησης οχήματος και ειδικότερα στη σταθεροποίηση οχήματος για την εξουδετέρωση της τάσης ανατροπής του οχήματος προς τα έξω και τη μείωση των εξωτερικών δυνάμεων που δρουν στους επιβάτες. Βασικός στόχος

της ενεργητικής σταθεροποίησης κύλισης είναι η αύξηση της άνεσης μειώνοντας τη γωνία κύλισης κατά τη στροφή καθώς επίσης μια πιο ουδέτερη αυτοδιαχειριζόμενη συμπεριφορά του οχήματος. Ένα σύστημα ενεργού σταθεροποιητή ανάρτησης έχει αναπτυχθεί ως μια τεχνολογία για τον έλεγχο της κύλισης του οχήματος. Το ενεργό σύστημα πλαισίου Dynamic Drive, γνωστό και ως "Ενεργό ράβδος σταθεροποίησης κύλισης "(ARS) αντιπροσωπεύει ένα επαναστατικό βήμα για τεχνολογία πλαισίου. Το σύστημα περιλαμβάνει διάφορους αισθητήρες που ανιχνεύουν την κατάσταση λειτουργίας του οχήματος και ενεργοποιητές που χρησιμοποιούν ηλεκτροκινητήρες και μειωτήρες για να ελέγχουν την κύλιση. Αυτό οδηγεί σε ένα νέο είδος "Ultimate Driving Machine", χαρακτηριστικό της BMW. Η έρευνα έδειξε την υπεροχή του ανεπτυγμένου συστήματος, το οποίο προσφέρει εξαιρετική συμπεριφορά των οχημάτων, βελτιωμένη ικανότητα απόκρισης, άνεσης οδήγησης και μειωμένη κατανάλωση ενέργειας.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνήθως η ανάρτηση αποτελείται από στοιχεία παθητικής δύναμης ελέγχου που έχουν σχεδιαστεί για να βελτιστοποιούν το αντιστάθμισμα μεταξύ άνετης οδήγησης, διαδρομής ανάρτησης και μεταβολών φορτίου του τροχού. Επίσης ο σχεδιασμός γεωμετρίας των ζευκτών ανάρτησης αποτελεί εμπόδιο μεταξύ του βέλτιστου προσανατολισμού του τροχού σε περίπτωση αναπηδήσεων στο δρόμο ή κατά τη στροφή. Επιπλέον, τα ελατήρια πρέπει να είναι αρκετά σφιχτά για να αποφευχθεί η υπερβολική κύλιση του αμαξώματος κατά τη στροφή, την επιτάχυνση και την πέδηση. Τα σύγχρονα συστήματα ανάρτησης παρέχουν δυνατότητες βελτιστοποίησης των συμψηφισμών, αλλά δεν θα μπορούσαν ποτέ να εξαλείψουν τις ταλαντώσεις. Τα πρόσθετα στοιχεία ενός ενεργού συστήματος ανάρτησης είναι σε θέση να παράγουν δυνάμεις όταν απαιτούνται και ως εκ τούτου η ανταλλαγή μεταξύ της άνετης οδήγησης, της ανάρτησης και οι μεταβολές φορτίου του τροχού μπορούν να επιλυθούν καλύτερα. Επιπλέον, μπορεί ένα ενεργό σύστημα ανάρτησης να χρησιμοποιηθεί για την εξάλειψη της κύλισης του σώματος κατά τη στροφή. Ως αποτέλεσμα, οι αναρτήσεις μπορούν να αντικατασταθούν με έναν συμπαγή, απλό βραχίονα. Επίσης, μπορεί να ληφθεί μέριμνα για τις στατικές μεταβολές φορτίου προσαρμόζοντας την ακαμψία του συστήματος. Μπορούν να προσαρμόσουν την κατάσταση οδήγησης και να εξατομικεύσουν το χειρισμό, τα χαρακτηριστικά και το επίπεδο άνεσης του οχήματος. Ενεργοποιείται ένα ενεργό σύστημα ανάρτησης το οποίο μπορεί να εμποδίσει τη μετακίνηση της ανάρτησης κάτω από ένα μεταβαλλόμενο φορτίο, θεωρητικά χωρίς κατανάλωση ενέργειας. Χρησιμοποιώντας την αρχή ενός μοχλού, το μεταβαλλόμενο φορτίο μπορεί να αντισταθμιστεί από μια σταθερή δύναμη σε διαφορετική απόσταση από το υπομόγλιο. Ωστόσο, ο στόχος της εφαρμογής σε ένα όχημα διαφέρει από τον στόχο αυτής της έκθεσης μεγιστοποιώντας την πλευρική επιτάχυνση του αυτοκινήτου με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο. Ένας ελεγκτής βελτίωσης της απόδοσης καθορίζει την απαιτούμενη δύναμη για τον ενεργοποιητή για να ομαλοποιήσει το αυτοκίνητο. Ο ενεργοποιητής εξασφαλίζει ότι η απαιτούμενη δύναμη που παράγεται, γίνεται όσο το δυνατόν ακριβέστερα με τη χρήση ενός μαθηματικού μοντέλου του ενεργού συστήματος. Ορισμένα αυτοκίνητα διαθέτουν ενεργά συστήματα ανάρτησης για να μειωθεί η ποσότητα της κύλισης του οχήματος με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη ταχύτητα στροφής και βελτιωμένη σταθερότητα κατεύθυνσης, ιδίως σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Isermann R. (2005). Mechatronic Systems. Institute of Automatic Control, Darmstadt University of Technology, Landgraf-Georg-Strasse 4, D-64283, Darmstadt, Germany
- [2] Wikipedia. (2016) Ανάρτηση αυτοκινήτου Available at: [https://el.wikipedia.org/wiki/%]
- [3] Μαρινόπουλος Ν. (2014). Διαθέσιμο σε: [https://www.caroto.gr/2014/11/18/%]
- [4] Χατζητζάνος Ε. (2014). ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ “ Έλεγχος συστήματος ενεργητικής ανάρτησης σε περιβάλλον veDYNA και Simulink ”
- [5] Anonymous. (2018). Available at: [http://www.mechanicalbooster.com/2017/12/suspension-system.html/types-of-suspension-system]
- [6] Collins D. (2018). Complete guide to car suspension. Available at: [https://www.carbibles.com/guide-to-car-suspension/]
- [7] Anonymous. (2017). Available at: [https://www.autotriti.gr/data/news/preview\_news/TECH-Diafores-sthn-anartisi\_142400\_26756.asp]
- [8] Anonymous. (2013). Available at: [http://www.tosynergeio.gr/index.php?option=com\_k2&view=item&id=928:2013-10-17-08-13-29]
- [9] Μαρινόπουλος Ν. (2009). Διαθέσιμο σε: [https://www.caroto.gr/2009/10/03/delphi-magneride/]
- [10] Anonymous. (2018). Available at: [https://www.autotriti.gr/jpg/autoaccessories/big/product/320.jpg]
- [11] Ahangarnjead A. (2017). Integrated control of active vehicle chassis control systems. Dynamics and vibration of mechanical systems and vehicles. Dipartimento Di Meccanica. Doctoral dissertation in Mechanical Engineering Politecnico di Milano
- [12] Anonymous. (2018). How Sway Bar Works (© 2018 People.davidjoel.co). Available at: [http://site.petitrc.com/Tech/XRC\_TuneWithSwayBars\_files/Pics/01.jpg]
- [13] Van der Sande T., Zegelaar P., Besselink I. and Nijmeijera H. (2016). A robust control analysis for a steer-by-wire vehicle with uncertainty on the tyre forces VEHICLE SYSTEM DYNAMICS, 2016 VOL. 54, NO. 9, 1247–1268



- [14] Rédl J., Váliková V., Antl J., (2014). Design of active stability control system of agricultural off-road vehicles. Article in Research in Agricultural Engineering Res. Agr. Eng., 60 (Special Issue): S77–S84.
- [15] Her H., Yi K., Suh J., Kim C. (2013). Development of Integrated Control of Electronic Stability Control, Continuous Damping Control and Active Anti-Roll Bar for Vehicle Yaw Stability, 7th IFAC Symposium on Advances in Automotive Control The International Federation of Automatic Control September 4-7, 2013. Tokyo, Japan
- [16] Wikipedia. (2018). Σύστημα αντιμπλοκαρίσματος τροχών Available at: [https://el.wikipedia.org/wiki/%]
- [17] Daftardar I. (2016). How Does Anti-lock Braking System (ABS) Technology In Cars Work?. Available at: [https://www.scienceabc.com/innovation/abs-sensors-anti-lock-breaking-system-technology-cars-work.html.].
- [18] Anonymous. Available at: [http://www.aalcar.com/library/stability\_control.htm]
- [19] Samad T., Annaswamy A.M. (2014). The Impact of Control Technology. Available at [www.ieeecss.org.]
- [20] Constant C. (2012). ESP: Electronic Stability Program. Available at: http://www.car-engineer.com [Accessed 15 December 2012].
- [21] Lieberman E. K., Meder K., Schuh J., Nenninger G. (2004). Safety and Performance Enhancement: The Bosch Electronic Stability Control (ESP) 2004-21-0060 Event: Convergence International Congress & Exposition On Transportation Electronics
- [22] Wikipedia. (2018) Ηλεκτρονικός έλεγχος ευστάθειας (Electronic Stability Programme ή Electronic Stability Control) Available at: [https://el.wikipedia.org/wiki/%]
- [23] Michael. (2010). Dynamic Stability Control: Explained. Available at: [http://www.bimmerfile.com/2010/11/15/dynamic-stability-control-explained/]
- [24] ZfGroup. (2011). Safety and Comfort: Suspension Technology for Passenger Cars Available at: [https://www.zf.com/global/media/product\_media/cars\_5/cars\_suspension\_technology\_active\_roll\_stabilization/pdf\_52/doppelseiten\_daempfungsmodule\_engl\_20110823.pdf]
- [25] Λιβανός N. (2017). Continuous Damping Control (CDC): Ο σύμμαχος των αμορτισέρ. Διαθέσιμο σε: [https://fortigometaphores.gr/fortiga/continuous-damping-control-cdc]
- [26] Maiorana J. (2004). Active Suspensions Simulation Through Software Interfacing. A Thesis

- [27] Jeon, K., Hwang, H., Choi, S., Kim, J., Jang, K., Yi, K. (2012). Development of an electric active roll control (ARC) algorithm for a SUV (Article). *International Journal of Automotive Technology*. Volume 13, Issue 2, February 2012, Pages 247-253
- [28] Walz J. (2016). Available at: [[http://hgears.com/wp-content/uploads/2016/06/Schaeffler\\_Press-release.pdf](http://hgears.com/wp-content/uploads/2016/06/Schaeffler_Press-release.pdf)]. [[https://www.schaeffler.no/remotemedien/media/\\_shared\\_media/05\\_products\\_services/passenger\\_cars\\_1/00094293.jpg](https://www.schaeffler.no/remotemedien/media/_shared_media/05_products_services/passenger_cars_1/00094293.jpg)]
- [29] Krid M., Benamar F., Zamzami Z. (2015). Design and control of an active anti-roll system for a fast rover.
- [30] Wikipedia. (2018) Anti-Roll bar Available at: [[https://en.wikipedia.org/wiki/Anti-roll\\_bar](https://en.wikipedia.org/wiki/Anti-roll_bar)]
- [31] Anonymous (2012). Link rods – their purpose and why they fail. Available at: [<http://pmmonline.co.uk/technical/link-rods-their-purpose-and-why-they-fail/>]
- [32] JACQUOT J. (2018). Explained: The Myriad Ways Modern Vehicles Control Body Roll τεύχος του Απριλίου 2018
- [33] Lauwerys C. (2005). Control of active and semi-active suspension systems for passenger cars. thesis Katholieke Universiteit Leuven, Belgium
- [34] Mulla A. A., Unune D. (2013). Active Suspensions Future Trend of Automotive Suspensions. International conference on emerging trends in technology and its applications ICETTA 2013 Available at: <https://www.researchgate.net/publication/259272175> [Accessed Jun 20 2018]
- [35] Sampson D. J. M. (2000). Active Roll Control of Articulated Heavy Vehicles. Churchill College A dissertation submitted to the University of Cambridge for the Degree of Doctor of Philosophy Cambridge University Engineering Department September 2000
- [36] Stone E. J., Cebon D., (2008). An experimental semi-active anti-roll system. Article in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering* 222(12):2415-2433.
- [37] Memmer S. (2009). Suspension III: Active Suspension Systems [Updated: 05/12/2009]
- [38] Vandewal B., Moors H. (1996). Active roll control, patents google. Tenneco Automotive Operating Co Inc
- [39] Nijmeijer H. (2007). An active suspension system capable of economically leveling a car during cornering Eindhoven University of Technology (TU/e), The Netherlands Department of Mechanical Engineering

- [40] Yurlin D. (2018). Intelligent systems of the vehicles' suspension. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 315
- [41] Sagewka S., Fiebig T., Schmid C., Wostal D. (2017). Mechatronic Roll Control for the 48-V Electrical System. ATZ worldwide. DEVELOPMENT CHASSIS
- [42] Ahmed M.R. B. (2002). Simulation and Experimental Analysis of Active Suspension System University of Technology Malaysia, 760217-02-5103.
- [43] Arslan S. (1999). Control of active vehicle suspension systems. 'ELECO'99  
a. International Conference on Electrical and Electronic Engineering'.
- [44] Markel A. (2016). Understanding Sway Bar Technology. Tire review
- [45] Anonymous (2018). Available at:  
[[http://www.bmw.com.kh/asia/en/insights/technology/technology\\_guide/articles/\\_shared/img/dynamic\\_drive.jpg](http://www.bmw.com.kh/asia/en/insights/technology/technology_guide/articles/_shared/img/dynamic_drive.jpg)]
- [46] Hirschberg E. (2018). BMW Dynamic Drive: Complex But Effective. Available at:  
[<https://www.eeuroparts.com/blog/5447/demystifying-bmw-dynamic-drive-active-roll-bar-systems/>]
- [47] Konik D. (2002). Development of the Dynamic Drive for the new 7 Series of the BMW Group. [Online publication date: Fri, 15-Aug-2003] International Journal of Vehicle Design (IJVD), Vol. 28, No. 1/2/3
- [48] Strassberger M., Guldner J. (2004). BMW's dynamic drive: an active stabilizer bar system. [Online] Date of Publication: 26 July 2004. Available at: Browse Journals & Magazines IEEE Control Systems Issue: 4 (24), 28-29.
- [49] Leffler H. (1994). Consideration of Lateral and Longitudinal Vehicle Stability by Function Enhanced Brake and Stability Control System Published by: *SAE International Transactions* Vol. 103, Section 6: JOURNAL OF PASSENGER CARS (1994), pp. 1052-1061
- [50] Leffler H. (1995). The Brake System of the New 7 Series BMW with Electronic Brake and Wheel Slip Control. SAE Technical Paper 950792, 1995, Event: International Congress & Exposition [Also in: Electronic Braking, Traction, and Stability Controls-PT-76, Advancements in ABS/TCS and Brake Technology-SP-1075, SAE 1995 Transactions: Journal of Passenger Cars-V104-6]
- [51] Anonymous (2003). Table of Contents E60 Dynamic Drive. Available at:  
[[https://www.m5board.com/vbulletin/attachments/e60-m5-e61-m5-touring-discussion/228049d1366041827-m5-m6-s85-recall-tech-service-bulletin-service-information-bulletin-technical-docs-thread-one-stop-shop-07\\_e60-dynamic-drive.pdf](https://www.m5board.com/vbulletin/attachments/e60-m5-e61-m5-touring-discussion/228049d1366041827-m5-m6-s85-recall-tech-service-bulletin-service-information-bulletin-technical-docs-thread-one-stop-shop-07_e60-dynamic-drive.pdf)]

- [52] Klaus B. (2017). The hydraulic model of BMW's active roll stabilization system. Available at: [https://www.thesisdynaware.com/fileadmin/Downloads/Referenzen/BMW\_Roll\_Stabilization\_Hydraulic\_Model.pdf]
- [53] Hilaire A. St., Ossyra J.C., Ivantysynova M. (2006). Pump Controlled Active Roll Stabilizer. International Journal of Fluid Power 7(1):27-40 March 2006 [Online]. pp.27-40 (Updated 21 Jan 2014)
- [54] Adireddy G., Shim T. (2011). MPC Based Integrated Chassis Control to Enhance Vehicle Handling Considering Roll Stability. ASME 2011 Dynamic Systems and Control Conference and Bath/ASME Symposium on Fluid Power and Motion Control, (2) pp. 877-884
- [55] Nordstrom K. T. (1973). ABB Technology FLB AB
- [56] Silvestro B. (2018). How Active Sway Bars Let Big Heavy SUVs Corner as Flat as Sports Cars. It's like having a super stiff anti-sway bar when you want it, and eliminating it when you don't. Available at: [https://www.roadandtrack.com/new-cars/car-technology/a19683341/active-sway-bars-explained/]
- [57] Anonymous (2005). Active Stabilization System Dynamic Response Component Location. Available at: [http://www.landovertechinfo.com/extlrprod/firmviewit.jsp?szFrom=doc&iDocCode=276785] Published: Jan 26, 2005
- [58] Anonymous (2007). Electronic Active Stabilizer Suspension System Development & Realization. Available at: [https://dbnst.nii.ac.jp/upload/images/research/1830/english/f348aeda1256f358d9fbc6856818390e/fig2592std-pro\_en.png]
- [59] Markel A. (2016). Understanding Sway Bar Technology. Available at: [http://www.tirereview.com/sway-bar-technology/]
- [60] Nordstrom K. T. (1976). Available at: [https://patentimages.storage.googleapis.com/15/70/b0/96ae52d2a843b0/US3977694.pdf]