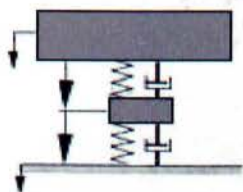
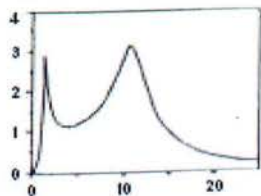




ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ

ΜΗΧ
61



Υπεύθυνοι Σπουδαστές

ΚΑΤΣΙΑΡΙΜΠΙΑΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

ΠΑΣΑΛΟΠΟΥΛΟΣ ΣΤΑΜΑΤΙΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Κος ΤΣΟΛΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

*Ευχαριστούμε τον καθηγητή μας
κ. Αντώνη Τσολάκη,
τους γονείς μας και όσους μας
υποστήριξαν στην προσπάθεια
μας μέχρι σήμερα...*

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| 1.Εισαγωγή..... | 5 |
| 2.Σκοπός..... | 5 |
| 3.Ελατήρια..... | 6 |
| 3.1 Παραμόρφωση του ελατηρίου..... | 6 |
| 3.2 Σκληρά και μαλακά ελατήρια..... | 6 |
| 4.Διαφορά φάσης..... | 8 |
| 5. Τα Ελαστικά ως "ελατήρια" (viscoelastic)..... | 8 |
| 6. Τύποι Ελατηρίων..... | 8 |
| 6.1 Ημιελλειπτικά ελατήρια (καρόσουστα)..... | 8 |
| 6.2 Σπειροειδή ελατήρια..... | 9 |
| 6.3 Προοδευτικά σπειροειδή Ελατήρια..... | 10 |
| 7. Αποσβεστήρες Ταλαντώσεων..... | 11 |
| 7.1 Αποσβεστήρας ("αμορτισέρ")..... | 11 |
| 8.Τύποι Αποσβεστήρων Ταλαντώσεων..... | 12 |
| 8.1 Υδραυλικός τηλεσκοπικός αποσβεστήρας..... | 12 |
| 8.2 Ρυθμιζόμενοι Αποσβεστήρες Ταλαντώσεων..... | 13 |
| 8.3 Μαγνητοροϊκοί Αποσβεστήρες Ταλαντώσεων..... | 13 |
| 9. Συστήματα Αναρτήσεων..... | 14 |
| 9.1 Η στρεπτική ράβδος..... | 14 |
| 9.2 Ανάρτηση πολλαπλών συνδέσμων (δυτά ψαλίδια)..... | 15 |
| 9.3 Ανάρτηση με γόνατα Μακ-Φέρσον ("Mac-Pherson")..... | 15 |
| 9.4 Υδροπνευματικό σύστημα ανάρτησης..... | 16 |
| 9.5 Πνευματικό σύστημα ανάρτησης..... | 17 |
| 10. Μαθηματικά Προγράμματα Υπολογισμού..... | 18 |
| 10.1 MATLAB..... | 18 |
| 10.2 Simscape και Διαδικασία Σχεδιασμού..... | 18 |
| 11.Μοντελοποίηση Συστημάτων..... | 19 |
| 11.1 Μοντελοποίηση δυναμικού συστήματος..... | 19 |
| 11.2 Μοντελοποίηση συστήματος μάζας-ελατηρίου-αποσβεστήρα..... | 19 |
| 11.3 Συστήματα ενός βαθμού ελευθερίας..... | 21 |
| 11.4 Συστήματα πολλών βαθμού ελευθερίας..... | 21 |
| 11.5 Το μοντέλο του ενός τετάρτου του οχήματος..... | 22 |
| 11.6 Δυναμικό μοντέλο – Διαφορικές εξισώσεις. Quarter car..... | 22 |
| 11.7 Περιορισμοί του μοντέλου του ενός τετάρτου του αυτοκινήτου..... | 24 |

| | |
|---|----|
| 12. Πρότυπα Εμπόδια προς Μελέτη | 25 |
| 12.1 Τραπεζοειδές Εμπόδιο | 25 |
| 12.2 Ημιτονοειδές Εμπόδιο..... | 26 |
| 13. Μοντελοποίηση συστήματος στο Matlab/Simscare | 27 |
| 13.1 Πορεία σχεδιασμού του μοντέλου του $\frac{1}{4}$ του οχήματος | 27 |
| 13.2 Επεξήγηση εξαρτημάτων-εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό του μοντέλου | 28 |
| 13.3 Σχεδίαση σημάτων στο Simscare | 29 |
| 13.4 Σχεδίαση Απλού και Βισκολαστικού μοντέλου στο Simscare | 31 |
| 14. Διαγράμματα..... | 33 |
| 14.1 Διαγράμματα Simple Model Positive | 33 |
| 14.2 Simple Model Negative | 38 |
| 14.3 Διαγράμματα Visco Model Positive | 43 |
| 14.4 Διαγράμματα Visco Model Negative..... | 48 |
| 15.Σχόλια – Συμπεράσματα | 53 |
| 16.Βιβλιογραφία | 54 |

1.Εισαγωγή

Είναι αναμφισβήτητο γεγονός ότι ζούμε στην γενιά της τεχνολογίας. Καθημερινά, παρατηρούμε ότι η ανάπτυξη της τεχνολογίας όλο ένα και αυξάνεται και σε σημαντικό βαθμό στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Η άνεση, η ασφάλεια των επιβατών είναι οι αιτίες που οδηγούν τους κατασκευαστές στην σύγχρονη και αποτελεσματική σχεδίαση συστημάτων ανάρτησης, λαμβάνοντας πάντα υπόψη τους διάφορα στοιχεία τα οποία μπορούν να επηρεάσουν την ομαλή λειτουργία αυτών και κατά συνέπεια την άνεση των επιβατών.

Παρατηρούμε πως κυκλοφορούν συστήματα αναρτήσεων στην αγορά τα οποία καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος "απαιτητικών" πελατών διότι προσαρμόζονται ανάλογα με τις ανάγκες τους.

Κάθε σύστημα ανάρτησης αποτελείται από ένα σύνολο μηχανικών αρθρώσεων και συναρμογών, που συνεργάζονται με ελατήρια και αμορτισέρ και λειτουργούν για να ελέγξουν την κατακόρυφη ταλάντωση των τροχών και τη συνεπαγόμενη αυξομείωση της απόστασής τους από το κυρίως σώμα του αυτοκινήτου. Η λειτουργία των αναρτήσεων αφορά αφενός την άνεση, δηλαδή τη μείωση των ταλαντώσεων που φτάνουν στο αμάξωμα και στην καμπίνα των επιβατών, και αφετέρου την καλύτερη οδήγηση του αυτοκινήτου. Η καθ' ύψος ταλάντωση του κάθε τροχού και η διακύμανση της πίεσης που ασκεί στην άσφαλο, έχουν ως αποτέλεσμα την αντίστοιχη διακύμανση της ικανότητας πρόσφυσης αυτού του τροχού, δηλαδή της ικανότητάς του να μεταφέρει ροπές για επιτάχυνση, επιβράδυνση ή αλλαγή διεύθυνσης του αυτοκινήτου. Επίσης, η λειτουργία της σχετίζεται με την επιτάχυνση, κάθε αυτοκίνητο τείνει να περιστραφεί γύρω από έναν εγκάρσιο άξονα, καθώς τα ελατήρια των πίσω τροχών ανοίγουν ενώ των πίσω τροχών συμπιέζονται. Κατά την επιβράδυνση γίνεται το αντίθετο, ενώ στην διαγραφή μίας καμπύλης όταν το όχημα στρίβει τα ελατήρια της μίας πλευράς τείνουν να συμπιεστούν περισσότερο από της άλλης.

Οι στόχοι ενός σχεδιαστή κάθε συστήματος αναρτήσεων εκτός από την απλή σύνδεση με το όχημα είναι : Πρώτων, να διατηρηθούν οι τροχοί όσο πιο κατακόρυφοι γίνεται άσχετα με τις κινήσεις του οχήματος. Δεύτερον, να μπορούν να κινούνται πάνω κάτω στις λακκούβες και στα σαμαράκια και τρίτον, να τα κάνουν όλα αυτά με τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιώνουν τη σταθερότητα του αυτοκινήτου.

2.Σκοπός

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αναφορά ορισμένων συστημάτων τα οποία κυκλοφορούν στην αγορά καθώς και η ανάλυση δύο μαθηματικών μοντέλων με την βοήθεια σχεδιαστικών-μαθηματικών προγραμμάτων. Αφού μοντελοποιήσουμε τα συγκεκριμένα μοντέλα θα μελετηθούν σε σχέσεις με τις μετατοπίσεις που πραγματοποιούνται για διάφορες ταχύτητες του οχήματος καθώς και διάφορα προφίλ οδοστρώματος. Τέλος, θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν τα αντίστοιχα διαγράμματα.

3.Ελατήρια

3.1 Παραμόρφωση του ελατηρίου

Ένα από τα πιο σημαντικά μέρη ενός συστήματος ανάρτησης είναι το ελατήριο καθώς συμπιέζεται αλλάζει το σχήμα του, αποθηκεύει μέσα του ένα ποσό μηχανικής ενέργειας έχοντας την τάση να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση. Κάθε ελατήριο έχει ένα συντελεστή ελαστικότητας (k) 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 το είδος της παραμόρφωσης, πάντα βέβαια σε σχέση με την επιλεγμένη διατομή του υλικού στην περιοχή της παραμόρφωσης.

Σ' ένα ελαστικό σώμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα τα είδη παραμόρφωσης σε κάποιο από τα είδη που μπορεί να δεχτεί παρουσιάζει διαφορετική ικανότητα ενεργειακής αποθήκευσης, αλλού καλύτερο και αλλού χειρότερο, αυτό είναι και το πρόβλημα στον σχεδιασμό των ελατηρίων αφού θέλουμε να έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν όσο είναι δυνατόν μεγαλύτερο ποσό ενέργειας. Στις αναρτήσεις των αυτοκινήτων έχουν χρησιμοποιηθεί όλα τα είδη παραμόρφωσης: καμπτική, στρεπτική, πιεστική, ελκτική και διατμητική.

3.2 Σκληρά και μαλακά ελατήρια

Κάθε ελατήριο έχει τη δική του «ιδιοσυχνότητα», δηλαδή έναν δικό του «ρυθμό» κατά τον οποίο προτιμά να απελευθερώνει την ενέργεια και να επιστρέφει στο αρχικό του σχήμα. Ο ρυθμός αυτός είναι συνάρτηση του συντελεστή σκληρότητας και του φορτίου που το πιέζει. Ένα σκληρό ελατήριο επιστρέφει στο αρχικό του σχήμα πολύ πιο γρήγορα από ένα μαλακό, αν το βάρος που τα πιέζει είναι το ίδιο.

Κατά τον ίδιο τρόπο, ένα πιο βαριά πιεσμένο ελατήριο επιστρέφει στο αρχικό του σχήμα με μεγαλύτερη ταχύτητα από ένα ελαφρά πιεσμένο, αν ο συντελεστής σκληρότητάς τους είναι ο ίδιος. Δηλαδή, όταν φορτώνουμε ένα αυτοκίνητο, η συχνότητα ταλάντωσής του αυξάνεται, ειδικά η συχνότητα των πίσω ελατηρίων, εφόσον αυτά είναι που πρέπει να τα βγάλουν πέρα με το επιπλέον φόρτωμα.

Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι για τις αναρτήσεις. Κάθε τύπος μπορεί να έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, αλλά κύριος γνώμονας για την επιλογή ενός ελατηρίου παραμένει ο συντελεστής σκληρότητας και μετά έρχονται η χωροταξική εφαρμοσιμότητα, η αξιοπιστία, η ανάγκη συντήρησης, το κόστος κ.ά.

Ένα ελατήριο με χαμηλό συντελεστή σκληρότητας, δηλαδή ένα μαλακό ελατήριο, θα επιτρέψει στον τροχό να περάσει πιο εύκολα από ένα σαμαράκι, αλλά θα προσδώσει στο ελατήριο μια χαμηλή ιδιοσυχνότητα, η οποία, σε δρόμο ανώμαλο, δεν θα επιτρέψει στον τροχό να κατεβαίνει γρήγορα και να παρακολουθεί όλο τον οδικό κυματισμό. Ο τροχός θα αργεί να «επιστρέψει» και θα πατάει κυρίως στις κορυφές της κυματοειδούς επιφάνειας του δρόμου. Τότε λέμε ότι η ανάρτηση έχει πάψει να λειτουργεί.

Για να αποφευχθεί το «πακετάρισμα» και ο τερματισμός της ανάρτησης πάνω στα ελαστικά στόπερ, όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα ...), οι αναρτήσεις με μαλακά ελατήρια πρέπει να έχουν μεγάλη διαδρομή βύθισης του τροχού, αλλά κάτι τέτοιο προϋποθέτει και την ύπαρξη μεγάλων θόλων στα φτερά, πράγμα που μειώνει το χώρο μέσα στην καμπίνα και δίνει ύψος στο αυτοκίνητο, φαινόμενο όχι και τόσο επιθυμητό αν δεν πρόκειται για αυτοκίνητο «εκτός δρόμου».

Τα ελαστικά στόπερ χρησιμοποιούνται και για την αποφυγή του μεταλλικού χτυπήματος σε περίπτωση μέγιστης έκτασης των αναρτήσεων, πράγμα που συμβαίνει όταν ένα άλμα ολόκληρου του αυτοκινήτου αναγκάζει τους τροχούς να χάσουν για λίγο την επαφή τους με το έδαφος. Όμως αυτό δεν συμβαίνει και πολύ συχνά εφόσον δεν αναπτύσσουμε μεγάλη ταχύτητα.



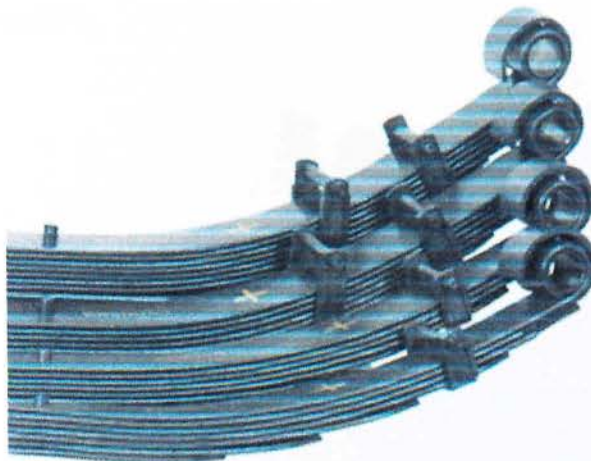
Εικόνα 1 Ελαστικό Στόπερ

Από την άλλη μεριά, ένα υπέρσκληρο ελατήριο μπορεί να έχει μια αρκετά ενοχλητική «κρουστική» αντίδραση στις ανωμαλίες του δρόμου, εφόσον ένα μέρος από τη μηχανική ενέργεια συμπίεσής του θα μπορεί να περνάει στην καμπίνα των επιβατών και να αισθάνονται τις κρούσεις. Η υψηλή ιδιοσυχνότητά του μπορεί να γίνει αρκετά ενοχλητική και να προκαλέσει εκνευρισμό, εφόσον αρκετά μέρη του ανθρώπινου σώματος μπορεί να συντονιστούν με τις ταλαντώσεις μιας τέτοιας ανάρτησης.

Για τη σωστή επιλογή των ελατηρίων μιας ανάρτησης πρέπει να γίνουν συμβιβασμοί ανάμεσα στην ακρίβεια και την άνεση, αλλά ευτυχώς υπάρχουν και κάποιες τεχνικές που βοηθάνε, όπως η δυνατότητα επιλογής ενός ελατηρίου του οποίου ο συντελεστής σκληρότητας δεν είναι σταθερός, αλλά αυξάνεται καθώς το ελατήριο συμπιέζεται.

Οι καρόσουστες καταλαμβάνουν μεν αρκετό χώρο αλλά διαμοιράζουν καλύτερα τα φορτία στο σασί και συνήθως είναι πιο πολύ πιο οικονομικές . Σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως σε βαρέα οχήματα .

Τελικά, ο ερχομός και η εδραίωση της ανεξάρτητης ανάρτησης και η ανάγκη για καλύτερη χωροταξική διεύθετηση, σε συνδυασμό με την ενοποίηση του παραδοσιακού σασί με το αμάξωμα, οδήγησαν στην εξάλειψη των ημιελλειπτικών ελατηρίων και στην κυριαρχία των σπειροειδών ελατηρίων και εν μέρει των στρεπτικών δοκών .



Εικόνα 3 Ημιελλειπτικό ελατήριο

6.2 Σπειροειδή ελατήρια

Ένα από τα πιο κοινά είδη ελατηρίου είναι τα σπειροειδή ελατήρια δηλαδή αυτά της μορφής με σταθερό συντελεστή σκληρότητας σε όλες τις σπείρες, οι οποίες είναι ίδιας διαμέτρου, βήματος και πάχους. Το ποσόν της ελαστικής παραμόρφωσης (συμπίεσης) ενός σπειροειδούς ελατηρίου σταθερού βήματος είναι ανάλογο προς το φορτίο (τη δύναμη) που το πιέζει. Η ανά μονάδα φορτίου παραμόρφωση, εκτός βέβαια από το είδος και την κατεργασία του υλικού, εξαρτάται από τη διάμετρο της ράβδου από την οποία κατασκευάστηκε, αλλά και από τη διάμετρο της σπείρας , δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος της σπείρας τόσο μεγαλύτερη είναι και η παραμόρφωση.

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 , μετατρέποντάς το σε συμπαγή μεταλλικό κύλινδρο. Για να αποφευχθεί η πιθανότητα να συμβεί κάτι τέτοιο, τα ελατήρια αυτά έχουν συνήθως ελαστικά τακάκια (στόπερ), τα οποία αναλαμβάνουν δράση λίγο πριν τον τερματισμό.

Μερικές φορές αυτά τα λαστιχένια τακάκια έχουν αρκετά μεγάλες διαστάσεις, και όταν ακουμπήσουν μεταξύ τους, μπορούν να συνδράμουν, δίνοντας στο ελατήριο την προοδευτικότητα που του λείπει.

Σε σύγκριση με τις καρόσουστες, τα σπειροειδή ελατήρια είναι πιο μικρά σε όγκο και πιο ελαφριά, πάντα σε σχέση με τα ποσά ενέργειας που μπορούν να απορροφήσουν. Αυτό, σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος κατασκευής τους, αλλά και τη μηδενική τους απαίτηση για οποιοδήποτε σέρβις, αυτός είναι και ο λόγος που κατέχουν την πρώτη θέση στην προτίμηση των κατασκευαστών στην εμπορική αυτοκινητοβιομηχανία.



Εικόνα 4 Σπειροειδή ελατήριο

6.3 Προοδευτικά σπειροειδή Ελατήρια

Μία άλλη κατηγορία ελατηρίων είναι τα προοδευτικά σπειροειδή. Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα στοιχεία αυτών είναι η δυνατότητά τους να υποστούν τροποποίηση της σκληρότητάς τους σχετικά εύκολα. Η αφαίρεση, για παράδειγμα, μίας σπείρας μπορεί να προσδώσει στην ανάρτηση του αυτοκινήτου έναν διαφορετικό χαρακτήρα, εφόσον με τον τρόπο αυτό χαμηλώνει το ύψος και αυξάνει η σκληρότητα.

Σε σχεδιαστικό επίπεδο είναι επίσης σχετικά εύκολη η δημιουργία ενός ελατηρίου με μεταβλητό συντελεστή, δηλαδή ενός ελατηρίου το οποίο γίνεται πιο σκληρό όσο πιέζεται. Αυτό επιτυγχάνεται με το σωστό σχεδιασμό έτσι ώστε, προς τις άκρες του, οι σπείρες να είναι πιο πυκνά διατεταγμένες, ενώ στο κεντρικό του 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.

Το σχήμα του ελατηρίου αυτού δεν είναι απαραίτητα κυλινδρικό μπορεί να είναι κωνικό ή οβάλ, οπότε οι μεταβολές στην ακτίνα περιέλιξης των σπειρών θα δώσουν, ένα προοδευτικό στη λειτουργία του ελατηρίου και ένα ελατήριο που όταν συμπιεστεί εντελώς, θα καταλαμβάνει πολύ μικρό όγκο επειδή οι σπείρες θα μπαίνουν η μία μέσα στην άλλη.



Εικόνα 5 Προσδεδυτικά Σπειροειδή

7. Αποσβεστήρες Ταλαντώσεων

7.1 Αποσβεστήρας ("αμορτισέρ")

Τα σπειροειδή ελατήρια δεν έχουν καμία δυνατότητα απόσβεσης των ταλαντώσεων, οπότε χρειάζονται απαραίτητως αμορτισέρ, αλλιώς όταν περνάγαμε ένα σαμαράκι το αυτοκίνητο θα μετέφερε όλα τα κρουστικά φορτία στους επιβάτες. Ευτυχώς, το σχήμα του σπειροειδούς ελατηρίου είναι τέτοιο που μπορεί να φιλοξενήσει στο εσωτερικό του έναν ομοαξονικό τοποθετημένο αποσβεστήρα ταλαντώσεων και έτσι αντιμετωπίζεται το πρόβλημα των αποσβέσεων.

Ο αποσβεστήρας ταλαντώσεων είναι τα γνωστά "αμορτισέρ". Σκοπός των αμορτισέρ είναι να απορροφούν και αποσβένουν τις ταλαντώσεις του ελατηρίου έτσι να έχουν όσο το δυνατόν λιγότερους κραδασμούς οι οποίοι μεταφέρονται στην καμπίνα του οχήματος και είναι ενοχλητικοί για τους επιβάτες. Χρησιμοποιούνται σήμερα σχεδόν σε όλα τα σύγχρονα συστήματα απόσβεσης.

Το «σετ» ελατηρίου-αμορτισέρ μπορεί να τοποθετηθεί όπου μας βολεύει. Αυτό είναι και το ιδιαίτερο πλεονέκτημα της ανάρτησης τύπου «γόνατο McPherson», την οποία θα συναστήσουμε πιο κάτω.



Εικόνα 6 Αποσβεστήρας Ταλαντώσεων

8. Τύποι Αποσβεστήρων Ταλαντώσεων

8.1 Υδραυλικός τηλεσκοπικός αποσβεστήρας

Η αρχή λειτουργίας του υδραυλικού αμορτισέρ βασίζεται στο ότι, με την κίνηση της ανάρτησης, ένα μικρό έμβολο αναγκάζεται σε παλινδρόμηση μέσα σε έναν κύλινδρο γεμάτο με κάποιο υγρό, το οποίο είναι συνήθως λάδι. Το υγρό αυτό πιέζεται και αναγκάζεται να περάσει μέσα από ορισμένες οπές. Λόγω της δυσκολίας να περάσει, δημιουργείται μια δύναμη αντίδρασης στην κίνηση του πιστονιού, άρα και στην κίνηση της ανάρτησης. Το υδραυλικό αμορτισέρ μετατρέπει την κινητική ενέργεια της ευθύγραμμης αυτής κίνησης, σε τριβή μεταξύ των μορίων του λαδιού και σε θερμότητα η οποία αποβάλλεται προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Τα αμορτισέρ τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα είναι ακριβώς της ίδιας λογικής απλά έχουν στο έμβολο τους οπές διαφορετικών διαστάσεων και μονόδρομες βαλβίδες. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουν διαφορετική δύναμη απόσβεσης ανάλογα από την κατεύθυνση που κινούνται.

Δεν πρέπει να υπάρχει παρουσία αέρα μέσα στο υδραυλικό σύστημα διότι τροποποιεί τη συμπεριφορά του υγρού μετατρέποντας το σε ελαστικό, ενώ κανονικά θα έπρεπε να είναι ασυμπίεστο. Συνήθως τα αυτοκινήτων υψηλών επιδόσεων, περιέχουν ένα θάλαμο αερίου υψηλής πίεσης το οποίο είναι συνήθως αζώτου που αποτρέπει το σχηματισμό φυσαλίδων, αλλά και προφυλάσσει τα υλικά από άμεση επαφή με το οξυγόνο.



Εικόνα 7 Υδραυλικός Αποσβεστήρας

8.2 Ρυθμιζόμενοι Αποσβεστήρες Ταλαντώσεων

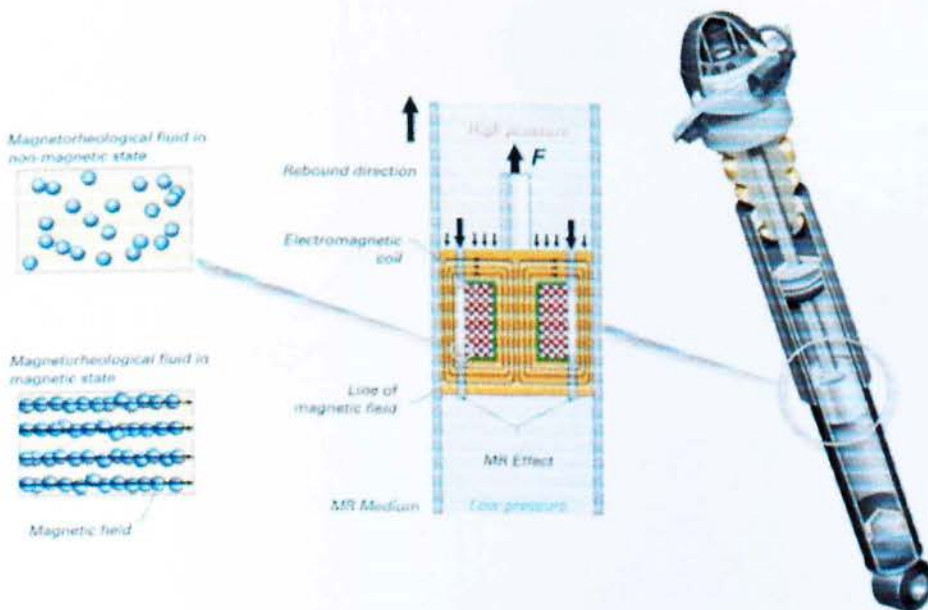
Τα περισσότερα τέτοια συστήματα λειτουργούν μέσω μίας ή δύο ηλεκτρομαγνητικά ελεγχόμενων διόδων του υδραυλικού υγρού, οι οποίες παίζουν το ρόλο μίας κεντρικής μόνιμα ανοιχτής διόδου. Στις διόδους αυτές υπάρχουν βαλβίδες που λειτουργούν σε θέσεις On-Off, δηλαδή κρατούν τις διόδους εντελώς ανοιχτές ή εντελώς 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.

Έχουμε την επιλογή να το ρυθμίσουμε σε όποια κατάσταση λειτουργίας επιθυμούμε ανάλογα με τις απαιτήσεις μας. 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 δύο βαλβίδες, το αμορτισέρ λειτουργεί πολύ μαλακά στη θέση "Comfort".

8.3 Μαγνητοροϊκοί Αποσβεστήρες Ταλαντώσεων

Η κατηγορία αυτών των αμορτισέρ έχει αμερικανική προέλευση. Η μαγνητοροϊκή αρχή λειτουργίας του συστήματος βασίζεται στην ιδιότητα ενός ειδικού υγρού, να μεταβάλλει την ρευστότητα 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 η αλλαγή αυτή μπορεί να γίνει σχεδόν ακαριαία, χωρίς τη συμμετοχή κινούμενων μερών. Το μαγνητοροϊκό αμορτισέρ 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.

Σε ορισμένα οχήματα δίνεται η δυνατότητα ο οδηγός να μπορεί να χειριστεί τις αντιδράσεις του αποσβεστήρα ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες, δηλαδή αν θέλει μια "μαλακή" ανάρτηση



Εικόνα 8 Μαγνητοροϊκός Αποσβεστήρας

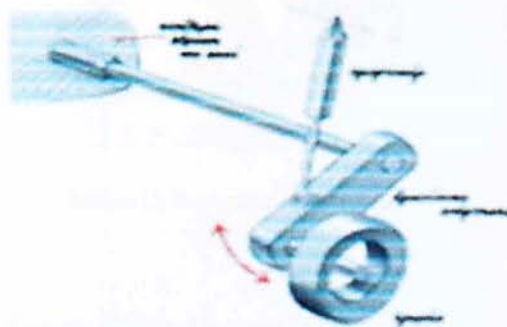
9. Συστήματα Αναρτήσεων

9.1 Η στρεπτική ράβδος

Η στρεπτική ράβδος η οποία 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 (με πολύσφηνο) 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.

Οι στρεπτικές ράβδοι χρησιμοποιήθηκαν από τις δεκαετίες του '30 και του '40, αρχικά σε αγωνιστικά αυτοκίνητα και κατόπιν στα αυτοκίνητα παραγωγής. Οι στρεπτικές ράβδοι χρησιμοποιήθηκαν κατά καιρούς σε πολλά διάσημα αυτοκίνητα. Στην κορυφή της πυραμίδας βρίσκονται οι παλιοί κλασικοί Σκαρβαίοι του Φέρντιναντ Πόρσε. Σήμερα, οι στρεπτικές ράβδοι χρησιμοποιούνται σε πολλά αυτοκίνητα, όπως στην ανεξάρτητη μπροστινή ανάρτηση μερικών τετρακίνητων και στην πίσω ανάρτηση αρκετών μικρών μπροστοκίνητων, κυρίως από τη Renault. Ένα από τα πλεονεκτήματά τους είναι το μικρό βάρος και η ευκολία τοποθέτησής τους χαμηλά σε «κρυφές» περιοχές του πλαισίου, όπου δεν ενοχλούν κανέναν με την παρουσία τους.

Όπως και τα σπειροειδή ελατήρια, έτσι και οι στρεπτικές ράβδοι δεν αποσβένουν μόνες τους τις ταλαντώσεις, οπότε χρειάζονται αμορτισέρ.

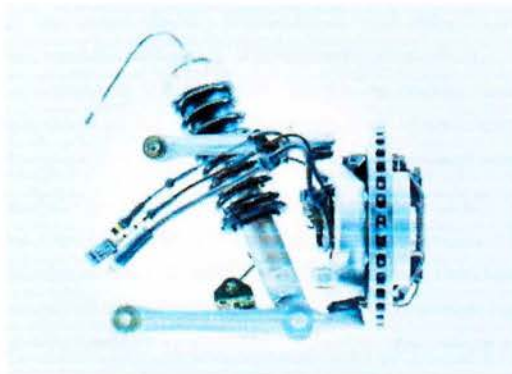


Εικόνα 9 Στρεπτική ράβδος

9.2 Ανάρτηση πολλαπλών συνδέσμων (διπλά ψαλίδια)

Η ανάρτηση αυτού του τύπου αποτελείται από βραχίονες που έχουν διχαλωτό σχήμα. Στην ανάρτηση του κάθε τροχού τα ψαλίδια είναι δύο, το πάνω και το κάτω, κι έχουν δύο 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.

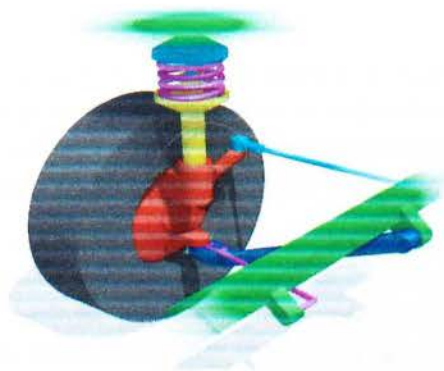
Αν πρόκειται για μπροστινό τροχό, τότε ο φορέας του άξονα του πρέπει να μπορεί να στρέφεται γύρω από τον νοητό άξονα που ορίζουν τα σημεία της σύνδεσης του με τις κορυφές των ψαλιδιών. Στην πράξη, μόνο ένα από τα δύο ψαλίδια χρειάζεται να αρθρώνεται σε δύο σημεία του σασί. Το άλλο μπορεί να είναι ένας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



Εικόνα 10 Πολλαπλών Συνδέσμων

9.3 Ανάρτηση με γόνατα Μακ-Φέρσον ("Mac-Pherson")

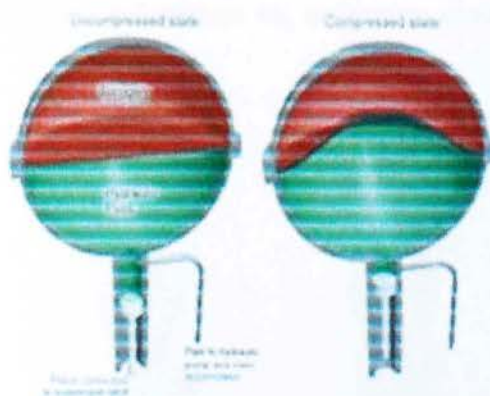
Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιείται μόνο ένα αρθρωτό διχαλωτό (ψαλίδι), το οποίο συνδέει το σασί με το κάτω μέρος του φορέα του τροχού. Στην πάνω πλευρά δεν υπάρχει ψαλίδι, αλλά μια κατακόρυφη τηλεσκοπική αντηρίδα, η οποία έχει μέσα της τα αμορτισέρ και γύρω της ένα μακρύ σπειροειδές ελατήριο. Αυτή η τηλεσκοπική 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.



Εικόνα 11 Ανάρτηση με γόνατα Μακ-Φέρσον

9.4 Υδροπνευματικό σύστημα ανάρτησης

Ένα από τα προηγμένα συστήματα ανάρτησης που πρωτοεμφανίστηκε το 1955 είναι το υδροπνευματικό σύστημα. Στα υδροπνευματικά συστήματα ανάρτησης, τα ελατήρια αντικαθίστονται από τέσσερις υδροπνευματικές σφαίρες, μια σε κάθε τροχό, οι οποίες περιέχουν άζωτο και υδραυλικό υγρό (λάδι) τα οποία διαχωρίζονται μέσω ενός διαφράγματος. Στον θάλαμο του λαδιού κινείται ένα έμβολο το οποίο είναι συνδεδεμένο με κάποιο στοιχείο της ανάρτησης στο βραχίονα ή στο ψαλίδι και ανάλογα με τις κινήσεις του εμβόλου το λάδι συμπιέζει και αποσυμπιέζει το αέριο άζωτο στον ρόλο των ελατηρίων. Από την μηχανική των ρευστών γνωρίζουμε πως τα αέρια είναι συμπιέσιμα ενώ τα υγρά ασυμπιέσιμα. Η οδική συμπεριφορά και ο βαθμός άνεσης του συστήματος, καθορίζεται από την πυκνότητα και την πίεση του αερίου, την ρευστότητα του υγρού και τις βαλβίδες που ελέγχουν την διέλευση του. Το σύστημα Hydractive αποτελεί εξέλιξη της υδροπνευματικής ανάρτησης που χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα. Η υδροπνευματική ανάρτηση μπορούσε να ρυθμίσει αυτόματα την δυναμική ισορροπία του αυτοκινήτου και έτσι ένα όχημα θα μπορούσε να κινηθεί με τους τρεις τροχούς (χρησιμοποιείται από την Citroen).



Εικόνα 12 Υδροπνευματικό σύστημα

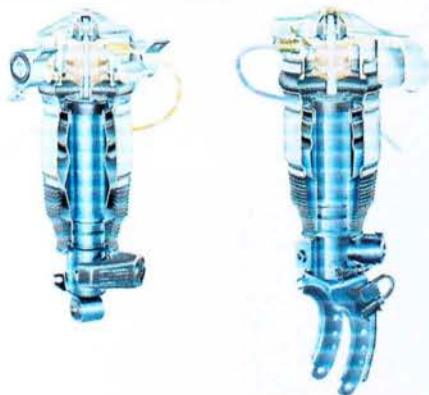
9.5 Πνευματικό σύστημα ανάρτησης

Τα συγκεκριμένα συστήματα λόγω της προχωρημένης τεχνολογίας που διαθέτουν, έχουν και πολύ υψηλό κόστος και έτσι χρησιμοποιούνται μόνο σε πολυτελή αυτοκίνητα. Η φιλοσοφία για την κατασκευή ενός τέτοιου συστήματος ξεκίνησε από την συμπεριφορά ενός *Sun* οχήματος, η οποία θέλει μια καλή συμπεριφορά του οχήματος εντός δρόμου, αλλά και μεγάλες δυνατότητες εκτός δρόμου.

Η ανάρτηση πρέπει να φροντίζει να κρατάει το όχημα σε σταθερή επαφή με το έδαφος, έτσι στην περίπτωση "εντός δρόμου" θα πρέπει τα αμορτισέρ να έχουν τεράστιες διαδρομές, τα ελατήρια να είναι μαλακά έτσι ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ευκαμψία. Σε αντίθεση με την περίπτωση ενός οχήματος "εκτός δρόμου" το οποίο θα πρέπει να διαθέτει άκαμπτους άξονες οι οποίοι πρέπει να κρατούν το όχημα πάντα σε σταθερή απόσταση από το έδαφος για να προστατεύονται ορισμένα μέρη του. Η ανάγκη λοιπόν των παραπάνω προβλημάτων οδήγησε στην κατασκευή των πνευματικών αναρτήσεων.

Το πολύ βασικό χαρακτηριστικό όλων των πνευματικών αναρτήσεων, εκτός από την εργοστασιακή κατασκευή τους που διαφέρει, είναι ένα κύκλωμα με αέρα υπό πίεση, που παίρνει τροφοδοσία από κάποιο ηλεκτρικό ή μηχανικό συμπιεστή αέρα και ευθύνεται τόσο για την σκληρότητα, όσο για το ύψος των αεροφουσκών τα οποία έχουν αντικαταστήσει τα ελατήρια. Είναι πολλές οι περιπτώσεις που τα συγκεκριμένα συστήματα συνδυάζονται και με ηλεκτρονικά ελεγχόμενα αμορτισέρ και έτσι αυξάνονται οι επιδόσεις σε εντός και εκτός δρόμου καταστάσεις.

Υπάρχει δυνατότητα να διαθέτουν και αυτόματο έλεγχο, σε αυτή την περίπτωση προστίθεται ένας έξτρα μικρός εγκέφαλος που λαμβάνει ενδείξεις και δεδομένα από αισθητήρες για την ταχύτητα που κινείται το όχημα, τη θέση, την κλίση, αλλά και την περιστροφή του πλαισίου προς την ανάρτηση. Στην συνέχεια, η μονάδα ελέγχου της ανάρτησης επεξεργάζεται όλες τις πληροφορίες που δέχεται βάση του αλγοριθμικού της προγράμματος και ρυθμίζει ανάλογα τους «ενεργοποιητές». Στην προκειμένη περίπτωση, οι «ενεργοποιητές» δεν είναι παρά ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες οι οποίες μεταβάλλουν την σκληρότητα των αμορτισέρ ελέγχοντας την παροχή του αέρα στον θάλαμο και έτσι ρυθμίζει ανάλογα το ύψος και την σκληρότητα της ανάρτησης. Σε ορισμένα οχήματα δίνεται η δυνατότητα να μπορεί ο οδηγός να ρυθμίσει το ύψος και την σκληρότητα της ανάρτησης μέσω μίας μικρής κονσόλας στην καμπίνα του οχήματος.



Εικόνα 13 Πνευματική ανάρτηση

11. Μοντελοποίηση Συστημάτων

11.1 Μοντελοποίηση δυναμικού συστήματος

Ως μαθηματικό μοντέλο δυναμικού συστήματος ορίζεται ως ένα σύνολο εξισώσεων που αντιπροσωπεύουν την δυναμική του συστήματος. Δεν υπάρχει μοναδικό μαθηματικό μοντέλο για κάθε σύστημα, αλλά μπορεί να εκφράζεται από πολλά μαθηματικά μοντέλα ανάλογα την προοπτική.

Η δυναμική των περισσότερων συστημάτων μπορεί να περιγραφεί μέσω των διαφορικών εξισώσεων ανεξάρτητα από το είδος του συστήματος που μπορεί να είναι μηχανικό, ηλεκτρικό, θερμικό, οικονομικό κ.α. Αυτές οι διαφορικές εξισώσεις μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας τους φυσικούς νόμους που διέπουν στο εξεταζόμενο σύστημα. Για παράδειγμα σε περίπτωση που το σύστημα είναι μηχανικό θα χρησιμοποιηθούν οι φυσικοί νόμοι του Νεύτωνα ή αν είναι ηλεκτρικό οι φυσικοί νόμοι του Kirchhoff. Πρέπει να σημειωθεί ότι το να προκύπτουν λογικά μαθηματικά μοντέλα είναι το πιο σημαντικό σημείο της ανάλυσης των συστημάτων έλεγχου.

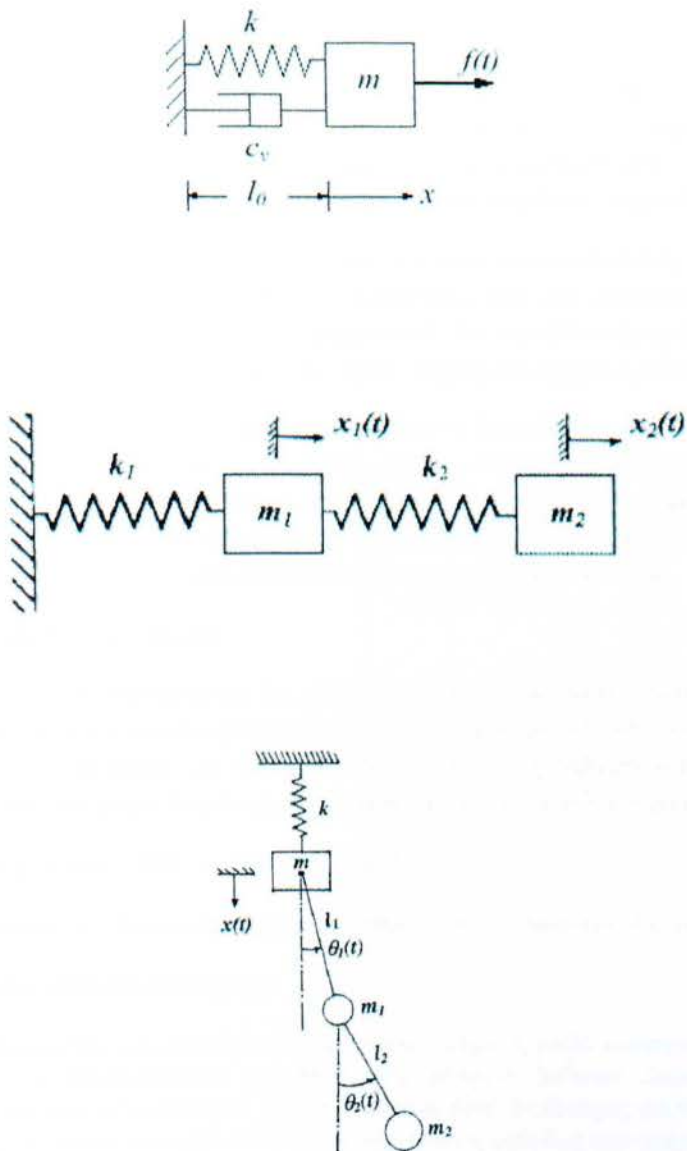
Τα μαθηματικά μοντέλα μπορούν να είναι διαφόρων μορφών. Για ένα συγκεκριμένο σύστημα για συγκεκριμένες συνθήκες ένα μαθηματικό μοντέλο μπορεί να περιγράψει καλύτερα το ίδιο σύστημα.

11.2 Μοντελοποίηση συστήματος μάζας-ελατηρίου-αποσβεστήρα

Βάση της φύσης του μαθηματικού μοντέλου που χρησιμοποιείται, το σύστημα μπορεί να ονομάζεται διακριτό ή συνεχές.

Στο διακριτό μοντέλο, το φυσικό σύστημα θεωρείται ότι αποτελείται από πολλά στερεά σώματα που συνδέονται με ελατήρια και αποσβεστήρες. Τα ελατήρια υποδηλώνουν δυνάμεις που τείνουν να επιστρέψουν τις μάζες στην κατάσταση ισορροπίας τους. Οι αποσβεστήρες παρουσιάζουν αντίσταση στην ανάπτυξη ταχύτητας και διαχέουν την ενέργεια του συστήματος. Στο συνεχές μοντέλο η μάζα, η ελαστικότητα και η απόσβεση θεωρούνται ότι κατανέμονται σε όλο το σύστημα. Οι εξισώσεις κίνησης ενός διακριτού συστήματος είναι με τη μορφή n -διαφορικών εξισώσεων δευτέρου βαθμού, όπου το n δηλώνει τον αριθμό των μαζών. Ο αριθμός των ανεξάρτητων συντεταγμένων που χρειάζονται για να περιγράψουν το σύστημα οποιαδήποτε χρονική στιγμή καθορίζει τον βαθμό ελευθερίας του συστήματος. Για παράδειγμα στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τυπικά σχήματα ενός, δύο, τριών βαθμών ελευθερίας. Μια σημειακή μάζα μπορεί να έχει μέχρι τρεις βαθμούς ελευθερίας ενώ ένα στερεό σώμα μπορεί να έχει έξι βαθμούς ελευθερίας. Πολλά μηχανικά και δομικά εξαρτήματα όπως δοκάρια, πλάκες, κελύφη, έχουν κατανεμημένη μάζα, ελαστικότητα, απόσβεση.

Η εξίσωση κίνησης ενός συνεχούς συστήματος έχει τη μορφή μερικής διαφορικής εξίσωσης. Ένα συνεχές σύστημα μπορεί να μοντελοποιηθεί είτε ως διακριτό σύστημα ή ως σύστημα συγκεντρωμένων παραμέτρων με διάφορους βαθμούς ελευθερίας είτε ως συνεχές σύστημα με άπειρους βαθμούς ελευθερίας.



Σχήμα 1 Χαρακτηριστικά βαθμών ελευθερίας ή ταλάντωσης.

Η ταλάντωση ενός σώματος στη φύση μπορεί να είναι αρμονική, περιοδική, η μη περιοδική. Εάν η διακύμανση του χρόνου της μετατόπισης της μάζας είναι ημιτονοειδής, η κίνηση θα είναι αρμονική. Ο αριθμός των κύκλων της κίνησης ανά μονάδα χρόνου καθορίζει τη συχνότητα και η μέγιστη μετατόπιση της κίνησης ονομάζεται το πλάτος της ταλάντωσης. Αν η περιοδική μεταβολή της κίνησης δεν είναι αρμονική, η κίνηση θα είναι περιοδική. Στην περίπτωση αυτή, η περιοδική κίνηση μπορεί να εκφραστεί ως άθροισμα των αρμονικών κινήσεων των διαφόρων συχνοτήτων.

Εάν η διακύμανση του χρόνου της μετατόπισης του μάζα είναι αυθαίρετη, η κίνηση λέγεται μη περιοδική. Αν η μη περιοδική κίνηση μπορεί να περιγραφεί από μια εξίσωση ή από ένα σύνολο πινακοποιημένων τιμών η κίνηση θεωρείται ντετερμινιστική. Απ την άλλη εάν η κίνηση δεν μπορεί να περιγραφεί με μορφή εξίσωσης ή πινακοποιημένων τιμών ονομάζεται τυχαία ή πιθανολογική.

Όταν μια εξωτερική δύναμη διεγείρει ένα μηχανικό ή δομικό σύστημα υπάρχει περίπτωση το εύρος της ταλάντωσης να προκύψει εξαιρετικά μεγάλο όταν η συχνότητα ταλάντωσης προσεγγίζει την φυσική ιδιοσυχνότητα του συστήματος. Αυτή η περίπτωση ονομάζεται συντονισμός και η καταπόνηση μπορεί να προκαλέσει αστοχία του συστήματος. Εξαιτίας αυτού του φαινομένου οι σχεδιαστές βρίσκουν προσεγγιστικά την φυσική ιδιοσυχνότητα προσεγγιστικά ή πειραματικά.

11.3 Συστήματα ενός βαθμού ελευθερίας

Μια μελέτη για τα χαρακτηριστικά της ταλάντωσης ενός συστήματος ενός βαθμού ελευθερίας είναι εξαιρετική για μια προσεγγιστική εξέταση των κινήσεων μιας ταλάντωσης επειδή τα περισσότερα συστήματα μπορούν να εκφραστούν με διαφορικές εξισώσεις ενός βαθμού ελευθερίας. Ένα τέτοιο σύστημα αποτελείται από μία μάζα, ένα ελατήριο με σταθερά k , και αποσβεστήρα με σταθερά c .

Και η εξίσωση της κίνησης είναι: $F(t) = m\ddot{x} + c\dot{x} + kx$

Όπου : οι τελείες πάνω απ' το x δηλώνουν πρώτη και δεύτερη παράγωγο αντίστοιχα.

11.4 Συστήματα πολλών βαθμού ελευθερίας

Τα περισσότερα μηχανικά συστήματα έχουν κατανεμημένη μάζα, ελαστικότητα και απόσβεση. Αυτά τα συστήματα μοντελοποιούνται ως συστήματα πολλών βαθμών ελευθερίας (n) ώστε να διευκολυνθεί η ανάλυση των ταλαντώσεων. Πολλές μέθοδοι είναι διαθέσιμες για να κατασκευαστεί ένα τέτοιο μοντέλο συνεχούς συστήματος. Κάποιες από αυτές είναι η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων.

Στις περισσότερες περιπτώσεις ο βαθμός ελευθερίας που θα χρησιμοποιηθεί στο μοντέλο εξαρτάται από το εύρος των συχνοτήτων. Εάν το σύστημα ενδέχεται να παρουσιάσει σημαντικές μεταβολές σε υψηλότερες συχνότητες το μοντέλο θα πρέπει να περιλαμβάνει αρκετά μεγάλο βαθμό ελευθερίας για την κάλυψη των σημαντικών συχνοτήτων.

Τα περισσότερα χαρακτηριστικά ενός συστήματος n -βαθμού ελευθερίας είναι παρόμοια με αυτά του ενός-βαθμού ελευθερίας. Υπάρχουν βέβαια κάποια χαρακτηριστικά που συναντώνται μόνο σε συστήματα n -βαθμού ελευθερίας.

11.5 Το μοντέλο του ενός τετάρτου του οχήματος

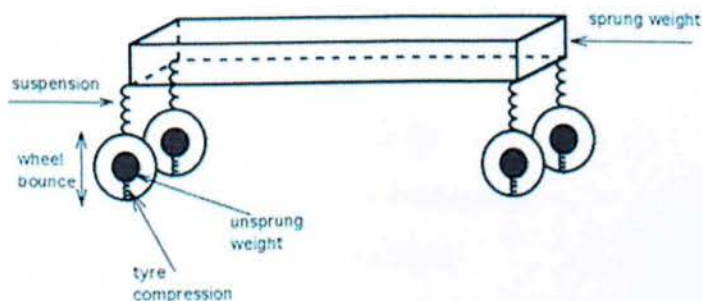
Το μοντέλο του ενός τετάρτου του οχήματος είναι ένα από τα πιο εύχρηστα μοντέλα για προσομοίωση της απόδοσης ενός μονοδιάστατου συστήματος ανάρτησης. Στην απλοποιημένη μορφή της η ανάρτηση αποτελείται από ένα ελατήριο με σταθερά k , και ένα αποσβεστήρα με σταθερά c . Το ελατήριο έχει το ρόλο της στήριξης του στατικού βάρους του οχήματος ενώ ο αποσβεστήρας βοηθάει την διάχυση της ενέργειας και τον περιορισμό των δονήσεων που προέρχονται απ' τον δρόμο.

Οι τιμές των σταθερών k , c επιλέγονται ανάλογα το φορτίο του οχήματος και των οδικών συνθηκών. Για μια εξαιρετικά σκληρή ανάρτηση, το σύστημα θα είναι ιδιαίτερα σταθερό αλλά η επιτάχυνση της αναρτημένης μάζας θα είναι πολύ μεγάλη με αποτέλεσμα να μειώνεται η άνεση των επιβατών. Για μία εξαιρετικά μαλακή ανάρτηση το σύστημα θα είναι σχεδόν ασταθές.

Από παλαιότερες έρευνες, τα συστήματα ενεργών αναρτήσεων έχουν αποδειχθεί πολύ αποτελεσματικά στη βελτίωση του χειρισμού και την άνεση της οδήγησης. Ωστόσο όταν το όχημα κινείται σε ανώμαλο έδαφος το σύστημα αυτό δεν είναι τόσο αξιόπιστο όσο το παθητικό σύστημα ανάρτησης.

11.6 Δυναμικό μοντέλο – Διαφορικές εξισώσεις. Quarter car

Μπορούμε με τη βοήθεια αυτού του μοντέλου να αναπαραστήσουμε την κάθετη δόνηση (μετατόπιση) του συστήματος που αποτελείται από δύο στερεές μάζες m_s και m_u , τη μάζα του οχήματος και τη μάζα του συστήματος της ανάρτησης.



Σχήμα 2 Δυναμικό μοντέλο

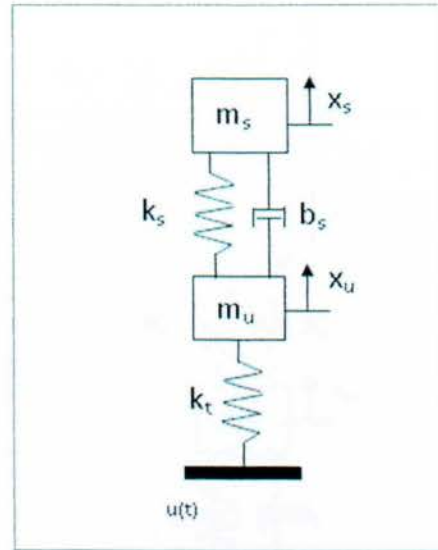
Η αναρτημένη μάζα m_s αντιστοιχεί στο $1/4$ της συνολικής μάζας του οχήματος και η μάζα του συστήματος της ανάρτησης m_u αντιστοιχεί στη μάζα του ενός τροχού του οχήματος και του συστήματος της ανάρτησης.

Η δυναμική κατάσταση του συστήματος περιγράφεται από τις μετατοπίσεις x_u και x_s

Οι διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν το σύστημα στην περίπτωση που θεωρούμε την κίνηση του ελαστικού όμοια με του ελατηρίου είναι οι παρακάτω :

$$m_s \ddot{x}_s + b_s \dot{x}_s + k_s x_s = b_s \dot{x}_u + k_s x_u$$

$$m_u \ddot{x}_u + b_s \dot{x}_u + k_t x_u + k_s x_u = b_s \dot{x}_s + k_s x_s + k_t u$$



Σχήμα 3 Απλό μοντέλο

Όπου :

m_s : η (μάζα του οχήματος) x 1/4 (630 kg)

m_u : μάζα του συστήματος ανάρτησης (81,5 kg)

x_s : μετατόπιση m_s (sprung mass vertical displacement)

x_u : μετατόπιση μάζας m_u (unsprung mass vertical displacement)

b_s : συντελεστής αποσβεστήρα ανάρτησης (1,200 Ns/m)

k_s : συντελεστής σκληρότητας ελατηρίου (42,500 N/m)

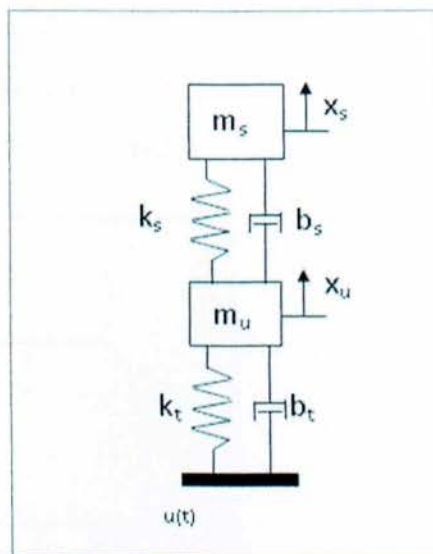
k_t : συντελεστής σκληρότητας ελαστικού (295,200 N/m)

Όμως μπορούμε να θεωρήσουμε την συμπεριφορά του ελαστικού βισκοελαστική που είναι πιο κοντά στην πραγματική.

Βισκοελαστικότητα είναι μία ιδιότητα των υλικών που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά ιξώδους και ελαστικότητας όταν υποβάλλονται σε παραμόρφωση. Συνεπώς το ελαστικό του οχήματος περιγράφεται από ένα ελατήριο και έναν αποσβεστήρα, και η διαφορική εξίσωση του συστήματος θα είναι :

$$m_s \ddot{x}_s + b_s \dot{x}_s + k_s x_s = b_s \dot{x}_u + k_s x_u$$

$$m_u \ddot{x}_u + (b_s + b_t) \dot{x}_u + (k_s + k_t) x_u = b_s \dot{x}_s + k_s x_s + b_t \dot{u} + k_t u$$



Σχήμα 4 Δυναμικό μοντέλο

11.7 Περιορισμοί του μοντέλου του ενός τετάρτου του αυτοκινήτου.

Το μοντέλο αυτό δεν περιλαμβάνει την πλήρη γεωμετρική αναπαράσταση του οχήματος, συνεπώς δεν δίνει τη δυνατότητα μελέτης των πλευρικών και διαμήκους δυνάμεων. Ωστόσο περιλαμβάνει τα πιο βασικά χαρακτηριστικά του πραγματικού προβλήματος και περιλαμβάνει μια επαρκή παρουσίαση του προβλήματος του ελέγχου των τροχών και των διακυμάνσεων των φορτίων.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο επίσης υποθέτουμε ότι το ελαστικό βρίσκεται πάντα σε επαφή με το οδόστρωμα, που αληθεύει σε χαμηλές συχνότητες αλλά όχι και στις υψηλές.

12. Πρότυπα Εμπόδια προς Μελέτη

Τα παρακάτω εμπόδια είναι αυτά που μας δόθηκαν για να μελετήσουμε την συμπεριφορά του συστήματος ανάρτησης και του ελαστικού σε συγκεκριμένες ταχύτητες των 20,30,50 Km/h.

12.1 Τραπεζοειδές Εμπόδιο

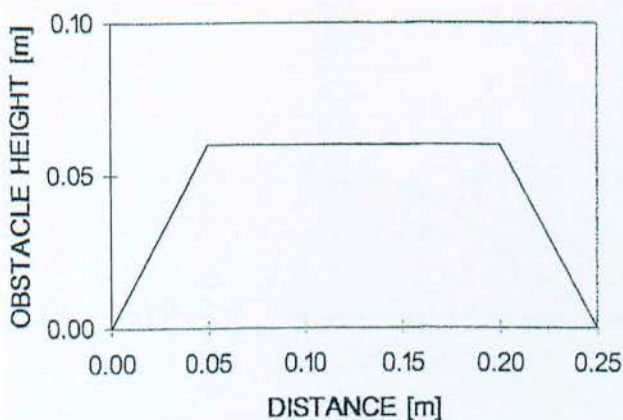
Η απόσταση x του παρακάτω διαγράμματος δίνεται:

$$h(x)=x \quad \text{για} \quad 0 \leq x \leq 0.06 \quad [\text{m}]$$

$$h(x)=0.06 \quad \text{για} \quad 0.06 \leq x \leq 0.19 \quad [\text{m}]$$

$$h(x)=0.06-(x-0.19) \quad \text{για} \quad 0.19 \leq x \leq 0.25 \quad [\text{m}]$$

$$h(x)=0 \quad \text{για} \quad 0.25 \leq x \quad [\text{m}]$$



Σχήμα 5 Τραπεζοειδές σήμα

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω τιμές του x στον τύπο $U=x/t$ όπου U η μεταφορική ταχύτητα του οχήματος στην διεύθυνση του εμποδίου, παίρνουμε την έκφραση συναρτήσεως του χρόνου t που ακολουθεί :

$$h(x)=U \times t \quad \text{για} \quad 0 \leq x \leq 0.06/U \quad [\text{m}]$$

$$h(x)=0.06 \quad \text{για} \quad 0.06 \leq x \leq 0.19/U \quad [\text{m}]$$

$$h(x)=0.06-(U \times t-0.19) \quad \text{για} \quad 0.19 \leq x \leq 0.25/U \quad [\text{m}]$$

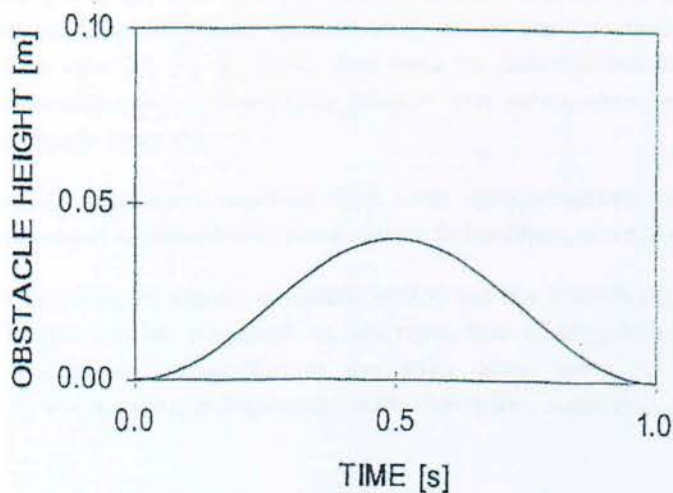
$$h(x)=0 \quad \text{για} \quad 0.25U \leq x \quad [\text{m}]$$

2.2 Ημιτονοειδές Εμπόδιο

Η μορφή της ημιτονοειδούς διέγερσης που φαίνεται στο παρακάτω εμπόδιο υπολογίζεται από την σχέση :

$$h(t)=0.02 \times (1-\cos(2 \times \pi \times f \times t)) \text{ για } 0 < t \leq 1/f$$

Όπου f η συχνότητα, στο συγκεκριμένο σήμα φαίνεται για $f=1$ Hz.



Σχήμα 6 Ημιτονοειδές σήμα

13. Μοντελοποίηση συστήματος στο Matlab/Simscape

13.1 Πορεία σχεδιασμού του μοντέλου του ¼ του οχήματος

Αφού επιλέχθηκε το Simscape ως καταλληλότερο πρόγραμμα για την μοντελοποίηση ενός τέτοιου συστήματος, μελετήσαμε το εγχειρίδιο του ώστε να εξοικειωθούμε με το περιβάλλον του. Στη συνέχεια μέσω του ενσωματωμένου βοηθού μοντέλων που περιέχει το πρόγραμμα αρχίσαμε να προσομοιώνουμε διάφορα απλά μοντέλα ώστε να εξοικειωθούμε ακόμα περισσότερο με τον τρόπο λειτουργίας του προγράμματος. Έτσι, φτάσαμε να είμαστε ικανοί να κατασκευάσουμε τα συγκεκριμένα μοντέλα ανάρτησης οχήματος.

Αρχικά, επεξεργαστήκαμε τα σήματα που μας δόθηκαν, στην συνέχεια τα περάσαμε στο Simscape με την βοήθεια της επεξεργασίας σημάτων του προγράμματος όπως φαίνεται παρακάτω. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην εισαγωγή καθώς τα σήματα μπαίνουν με την μορφή δύναμης. Σχεδιάσαμε όλα τα σήματα (τραπεζοειδές, ημιτονοειδές) θετικά και αρνητικά καθώς το καθένα για διάφορες ταχύτητες όπως των 20, 30, 50 km/h, έτσι ώστε να μελετήσουμε και να συγκρίνουμε τα σήματα αποτελέσματα μεταξύ τους. Αμέσως μετά βάλαμε έναν μετατροπέα σημάτων καθώς και να ορίσαμε το έδαφος ως σημείο αναφοράς.













Σχεδιάσαμε το μοντέλο όπως ακριβώς είναι στην πραγματικότητα για καλύτερη ειοπτεία χρησιμοποιώντας ελατήρια και τις αποσβέσεις μέσα από τις βιβλιοθήκες του προγράμματος.

Αφού βάλαμε τις μάζες, τα σημεία αναφοράς καθώς και τον κωδικό της μεθόδου επίλυσης του μαθηματικού μοντέλου του Matlab ανοίξαμε τις ιδιότητες των εξαρτημάτων για να ορίσουμε τις βασικές παραμέτρους οι οποίες απεικονίζονται πιο πάνω όπως: μάζα ¼ του οχήματος, μάζα συστήματος ανάρτησης, συντελεστής σκληρότητας κάθε ελατηρίου, ικανότητα απόσβεσης, προένταση ελατηρίου.

Στη συνέχεια βάλαμε ορισμένους αισθητήρες οι οποίοι παίρνουν σήμα από τα σημεία όπου θέλουμε να μελετήσουμε το μοντέλο μας και μας αποδίδουν ταχύτητα και μετατόπιση σύμφωνα με το σημείο αναφοράς των μετρήσεων που έχουμε ορίσει, στην περίπτωση μας είναι το έδαφος. Ενώνοντας τους αισθητήρες με τους μετατροπείς των μονάδων και έπειτα με τα διαγράμματα μας εμφανίζουν τα αποτελέσματα των σημάτων.

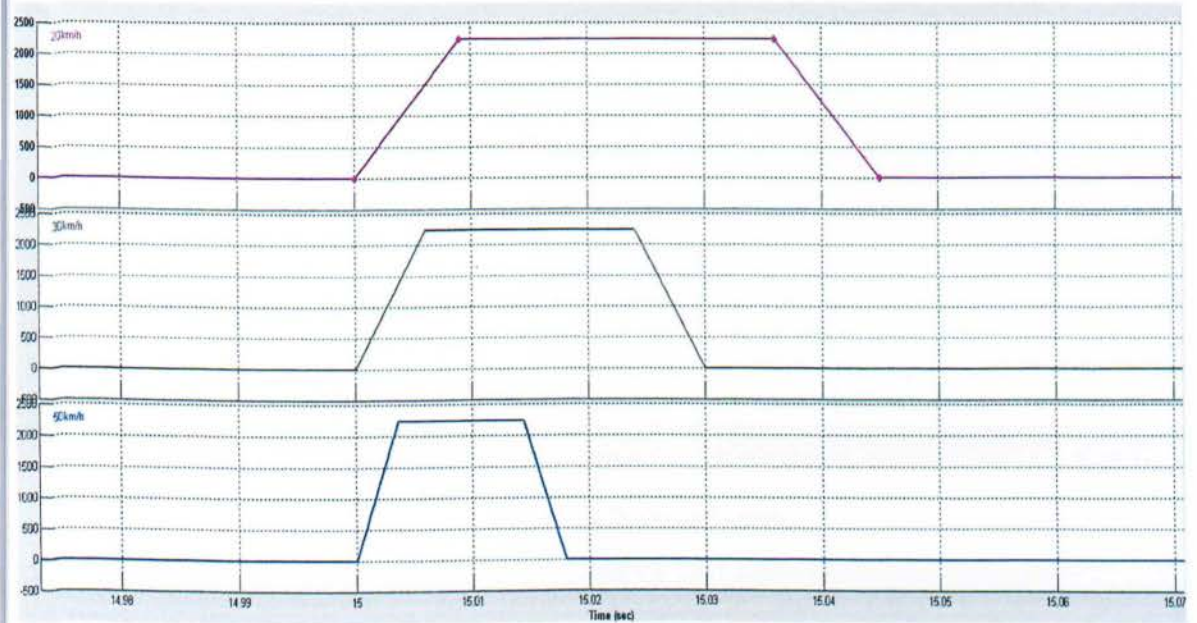
Τα διαγράμματα τα οποία φαίνονται και παρακάτω απεικονίζουν την μετατόπιση των ελατηρίων του συστήματος ανάρτησης-απόσβεσης καθώς και του "ελατηρίου" του ελαστικού μοντέλου μας χωρίς απόσβεση αν πρόκειται για το απλό μοντέλο και με απόσβεση αν πρόκειται για το βισκοελαστικό σε συνάρτηση με το χρόνο.

13.2 Επεξήγηση εξαρτημάτων-εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό του μοντέλου

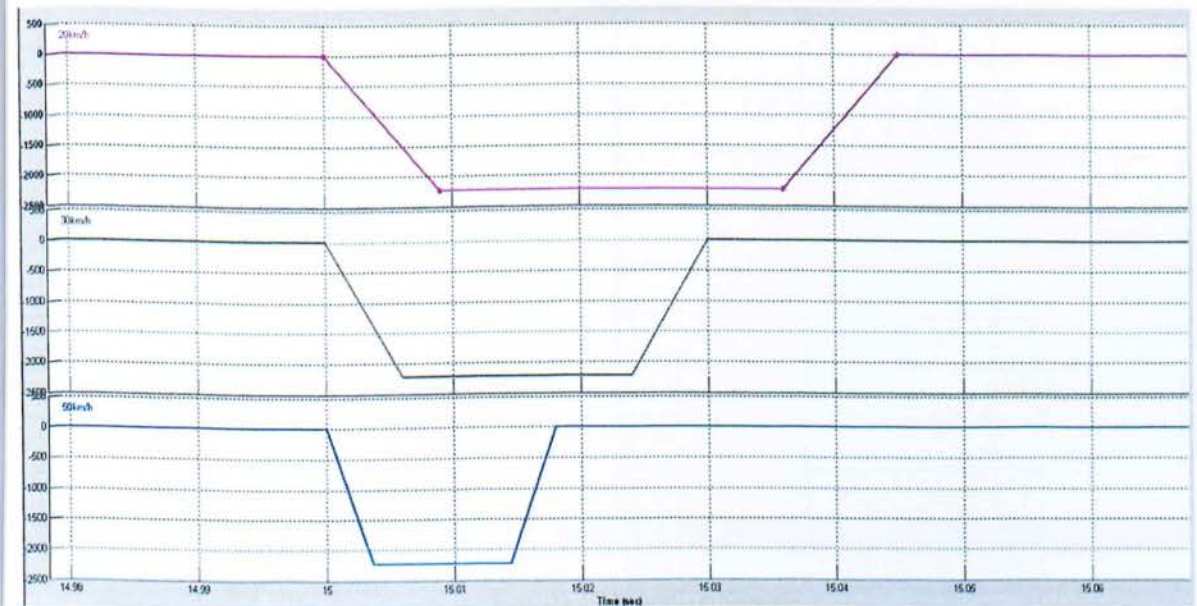
| Σύμβολο | Επεξήγηση |
|---|--|
|  | Εισαγωγή Σημάτων |
|  | Μετατροπέας σημάτων σε μορφή simscape |
|  | Παίρνει σήμα και σημείο αναφοράς και το μετατρέπει σε δύναμη |
|  | Σημείο αναφοράς |
|  | Επιλογή της μεθόδου επίλυσης του μαθηματικού μοντέλου |
|  | Μάζα του 1/4 του οχήματος |
|  | Μάζα ελατηρίου – (αποσβεστήρα) |
|  | Ελατήριο οχήματος-ελαστικού |
|  | Αποσβεστήρας οχήματος-ελαστικού |
|  | Αισθητήρας μέτρησης με απόδοση σε μετατόπιση |
|  | Μετατροπέας μονάδων και απόδοση σε διάγραμμα |
|  | Διαγράμματα |

13.3 Σχεδίαση σημάτων στο Simscape

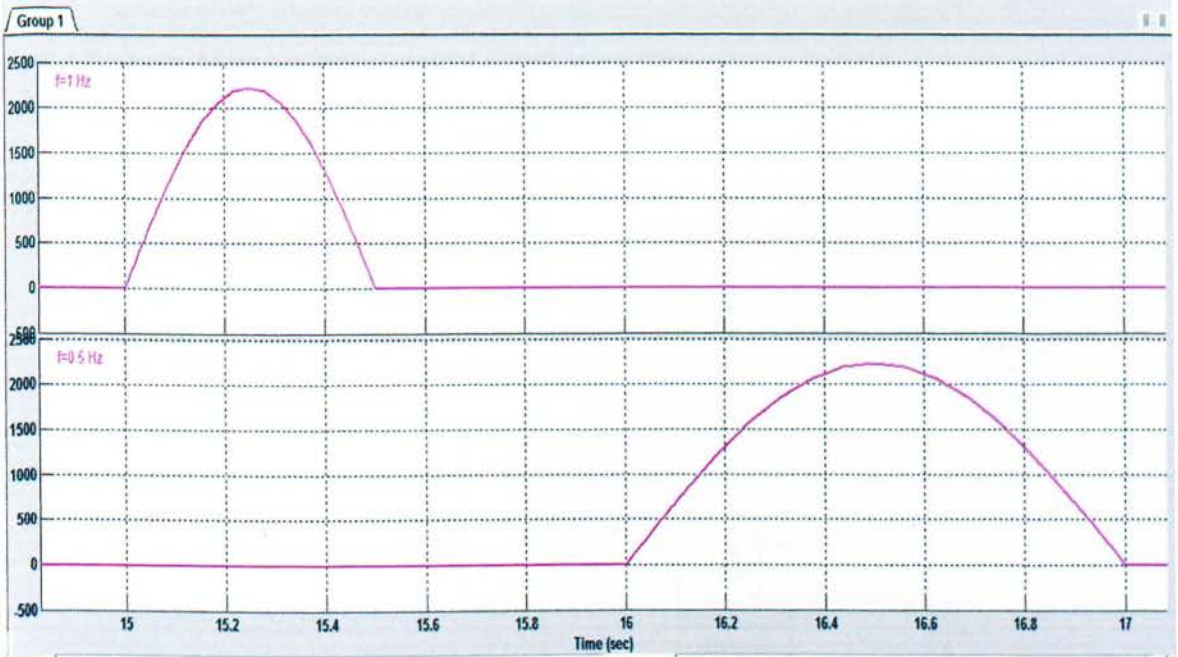
Η σχεδίαση όλων των σημάτων στο πρόγραμμα έγινε όπως ακριβώς περιγράφηκε παραπάνω. Μας δίνεται η δυνατότητα από το πρόγραμμα να βάλουμε όσα σήματα θέλουμε μαζί και έτσι στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα θετικά σήματα, τα αρνητικά σήματα για τρεις διαφορετικές ταχύτητες.



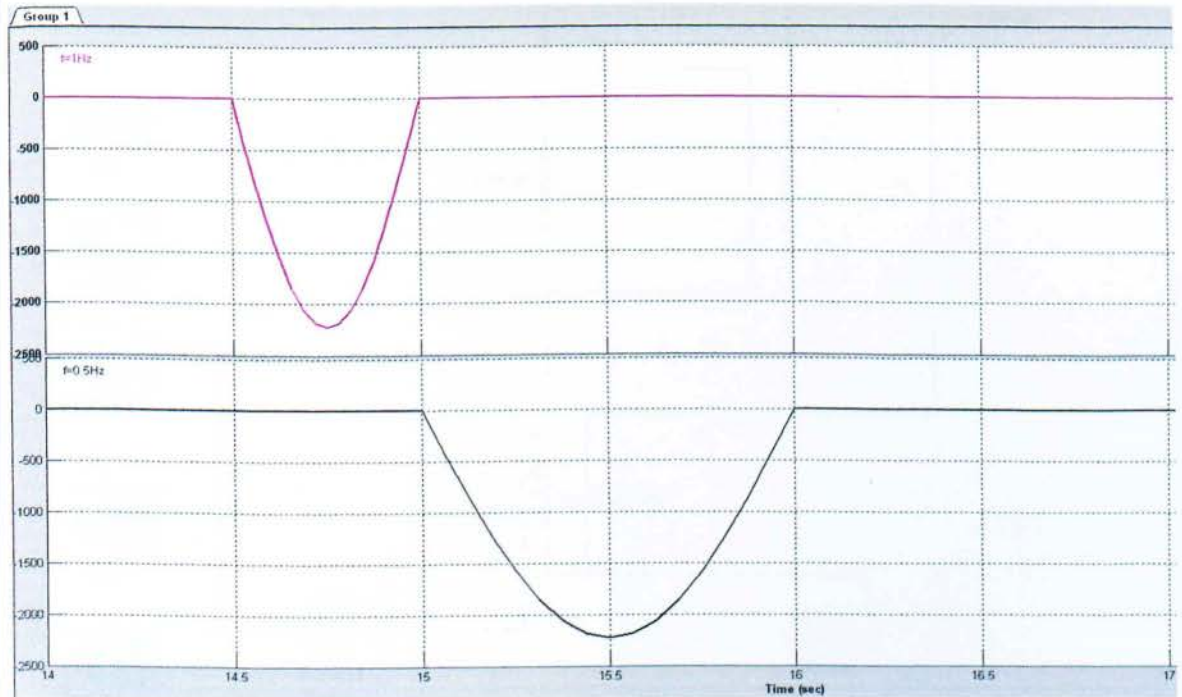
Εικόνα 14 Positive Signals



Εικόνα 15 Negative Signals

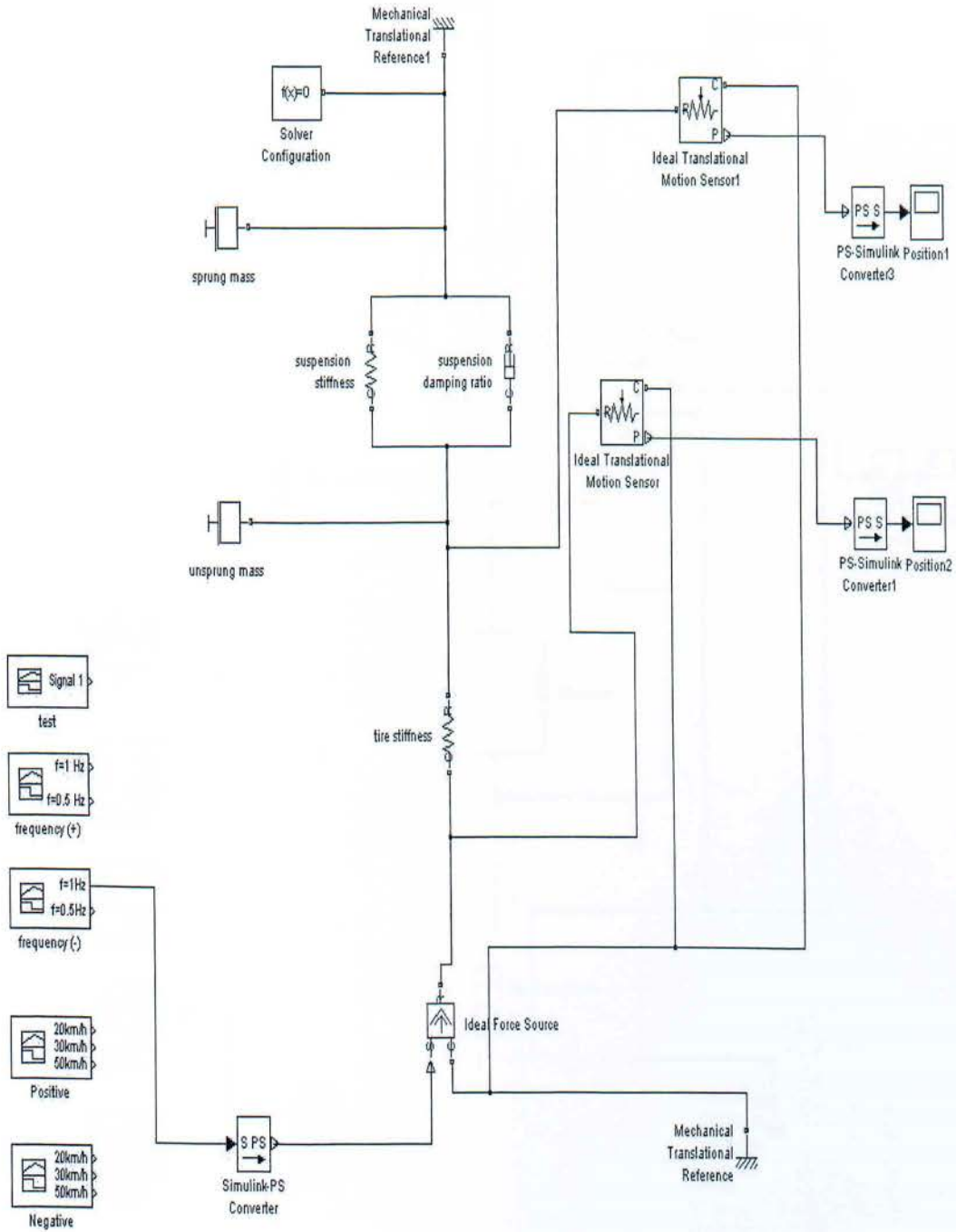


Εικόνα 16 Positive Signals

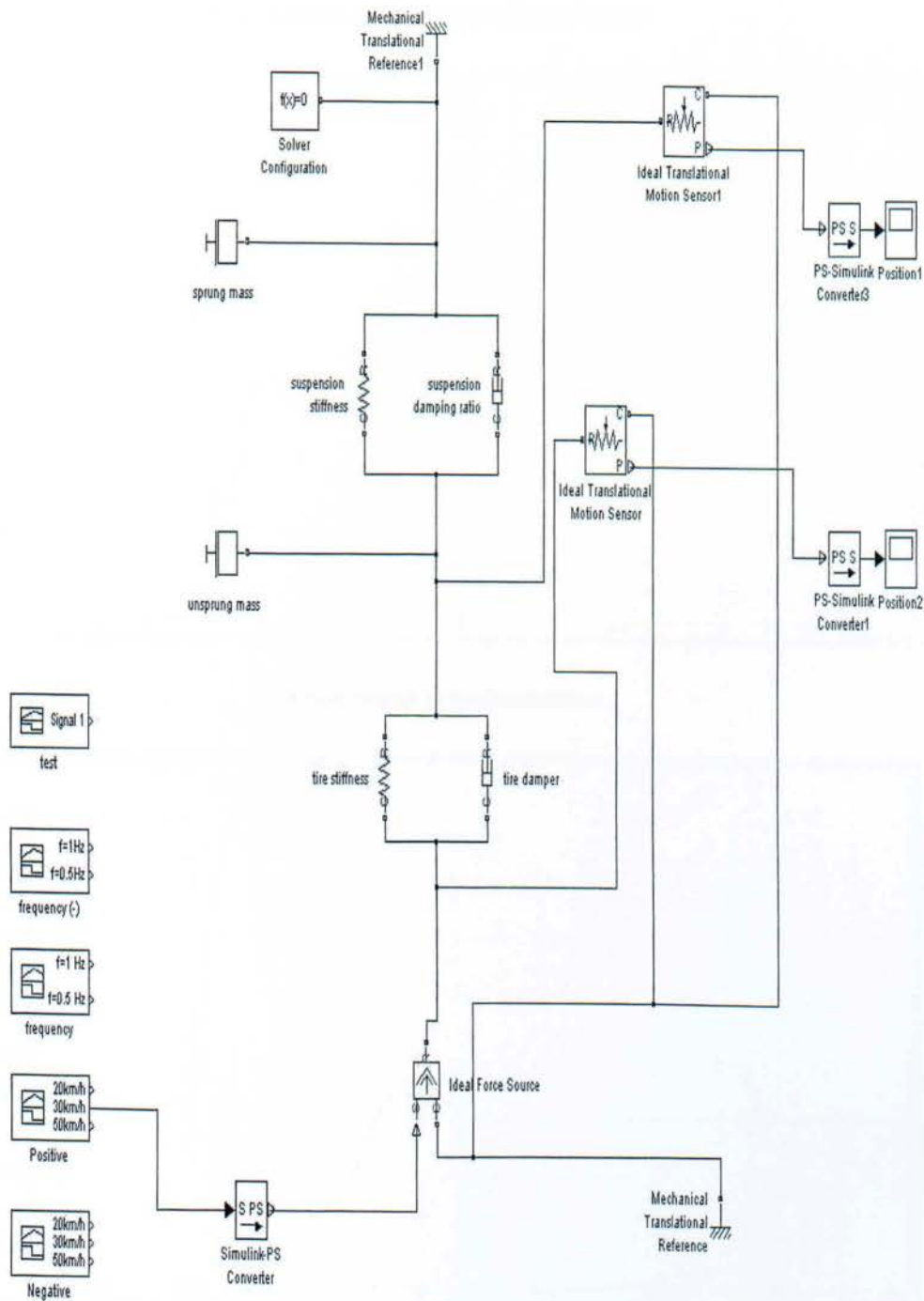


Εικόνα 17 Negative Signals

13.4 Σχεδίαση Απλού και Βισκολαστικού μοντέλου στο Simscape



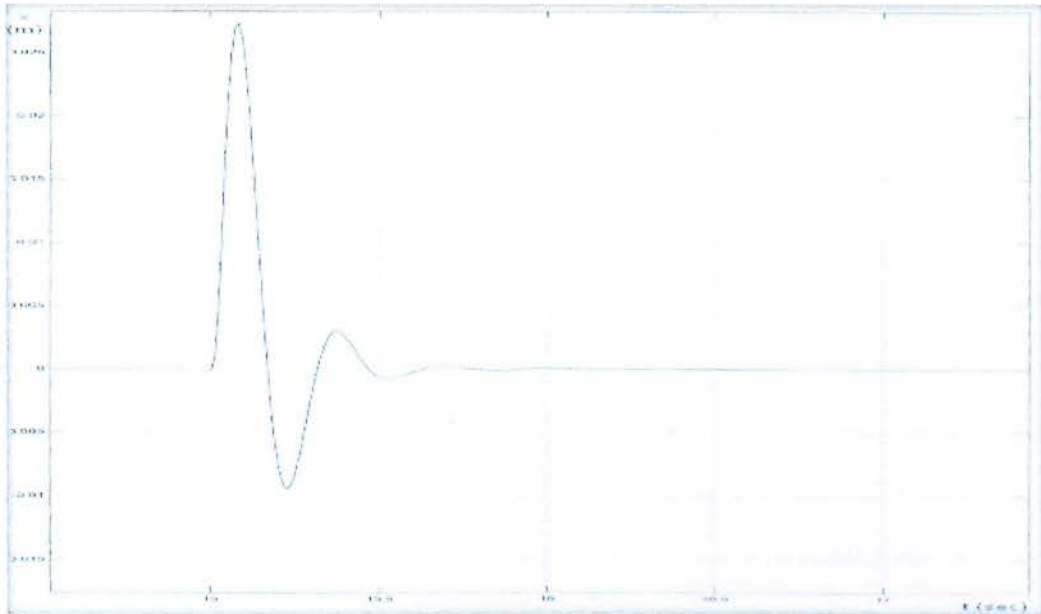
Εικόνα 18 Simple Model



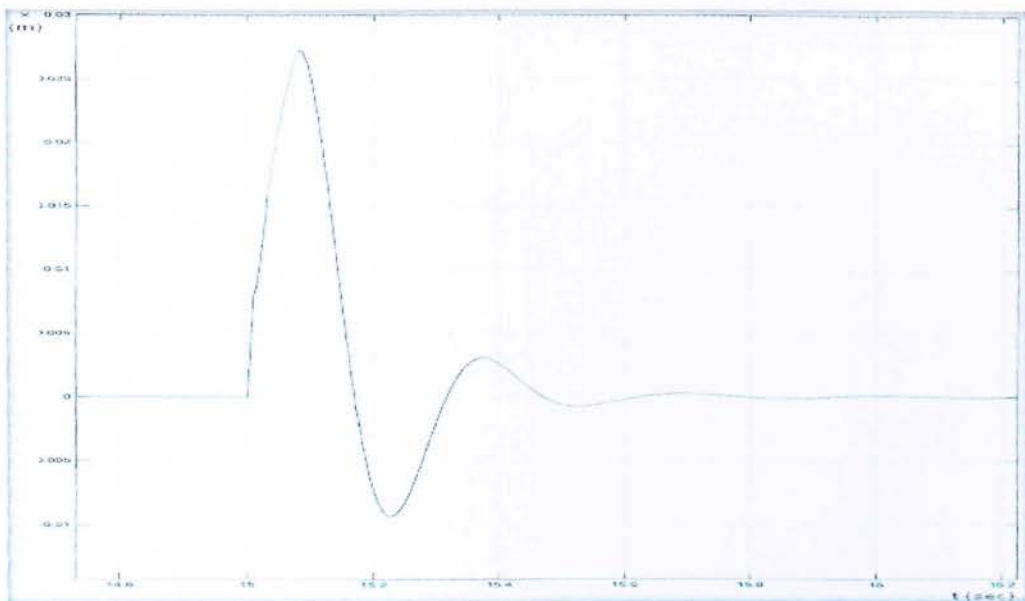
Εικόνα 19 Visco Model

4. Διαγράμματα

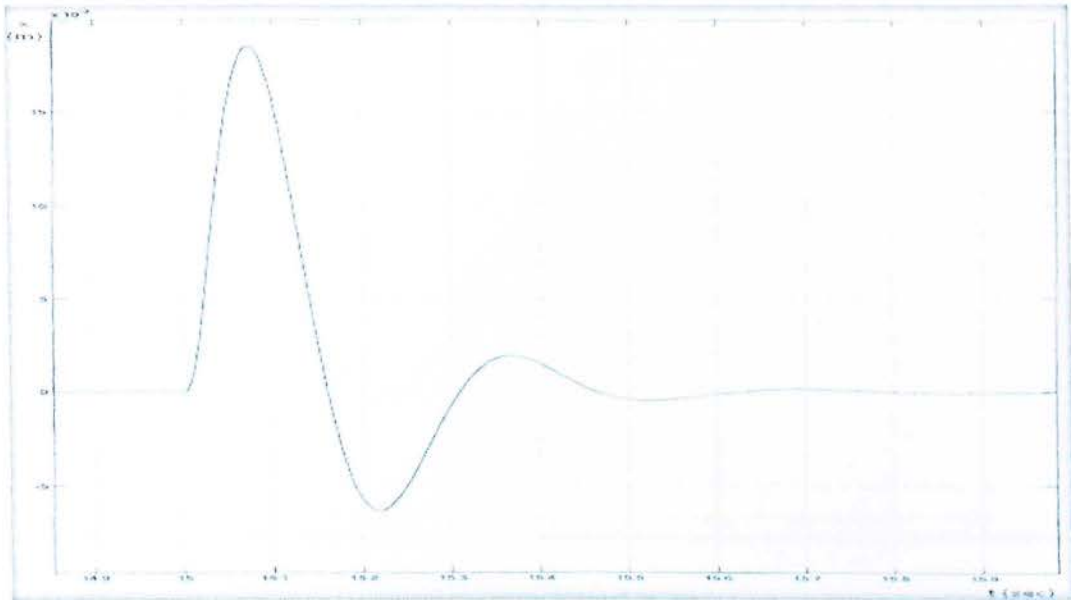
14.1 Διαγράμματα Simple Model Positive



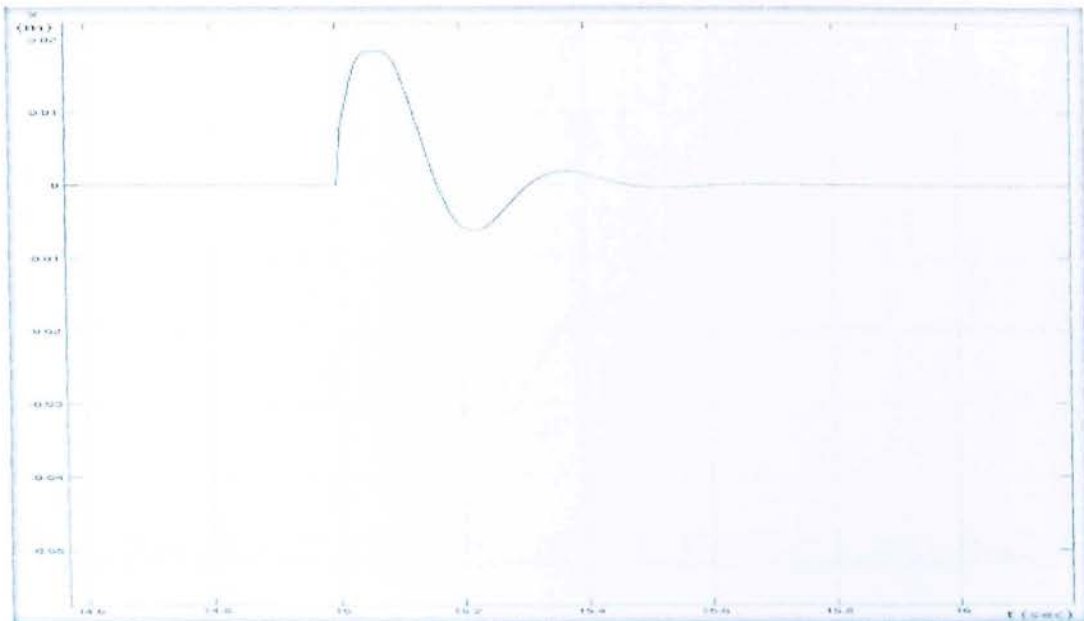
Simple Model 20 km/h position 2



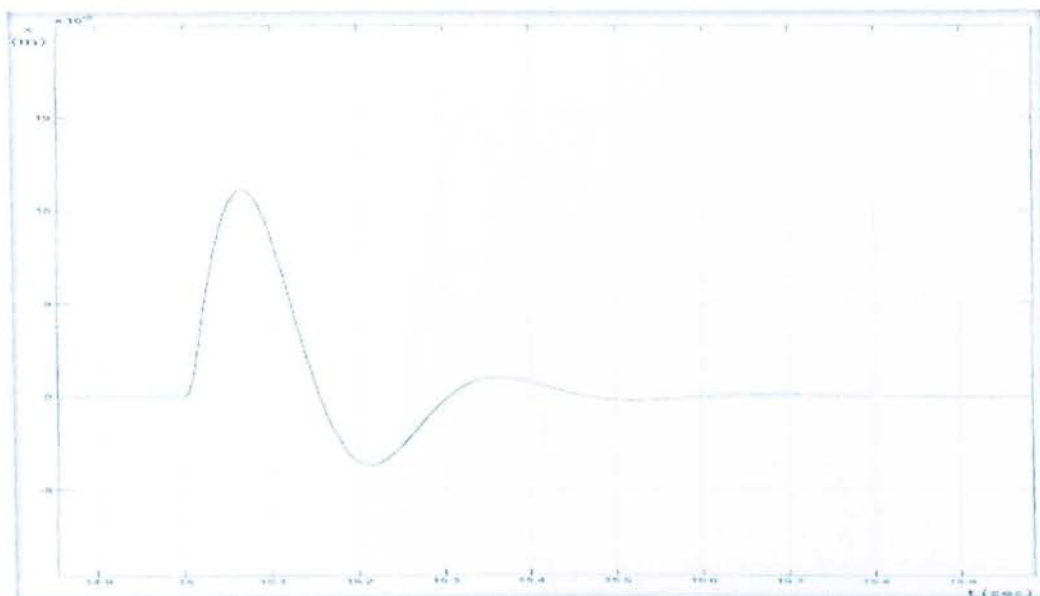
Simple Model 20 km/h position 2



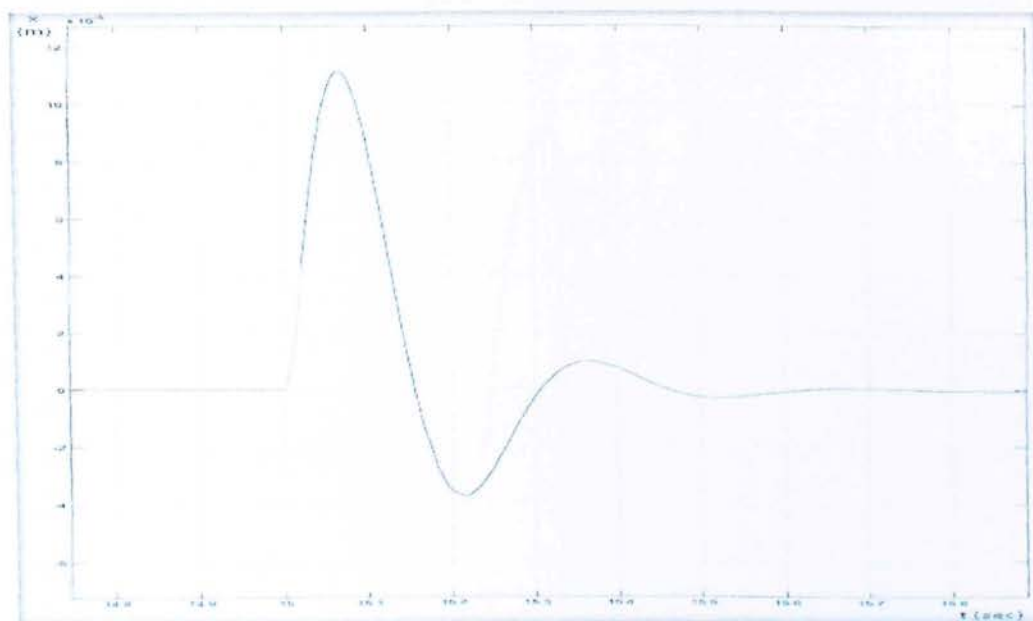
Simple Model 30 km/h position 1



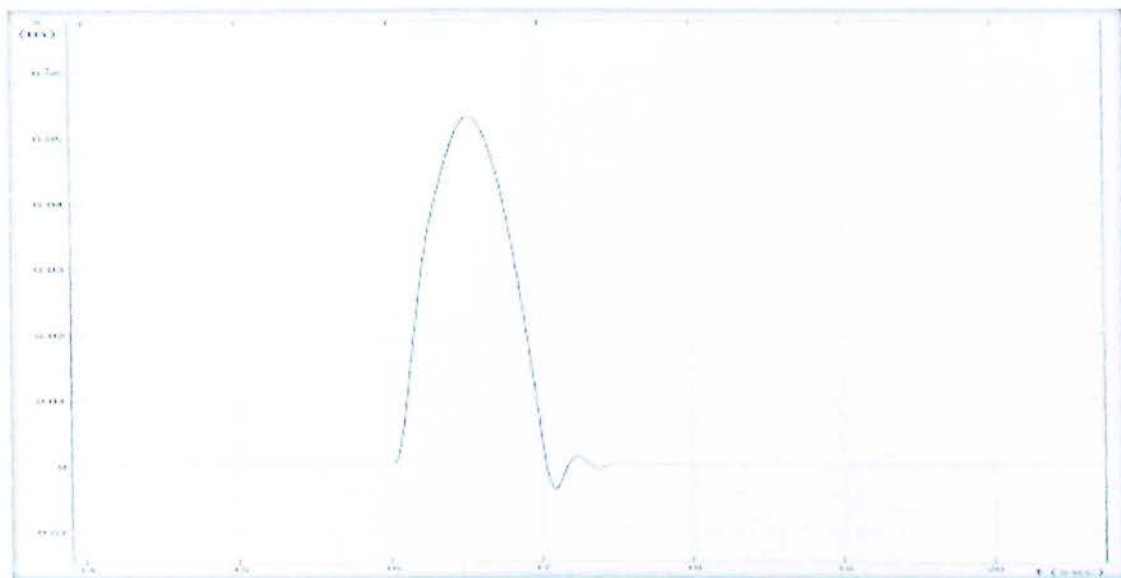
Simple Model 30 km/h position 2



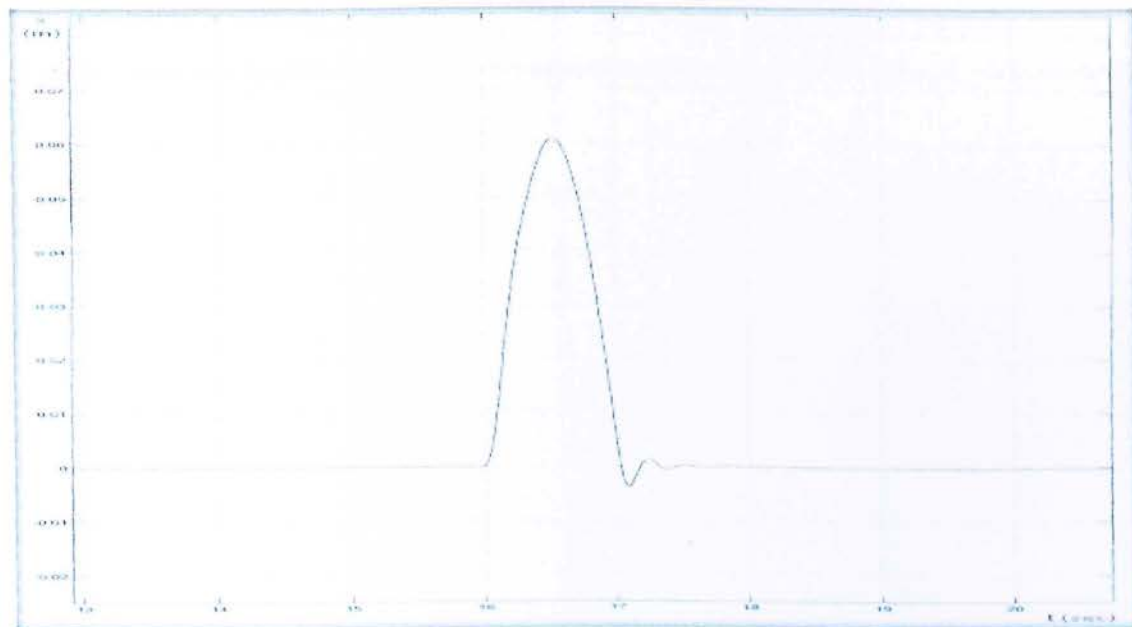
Simple Model 50 km/h position 1



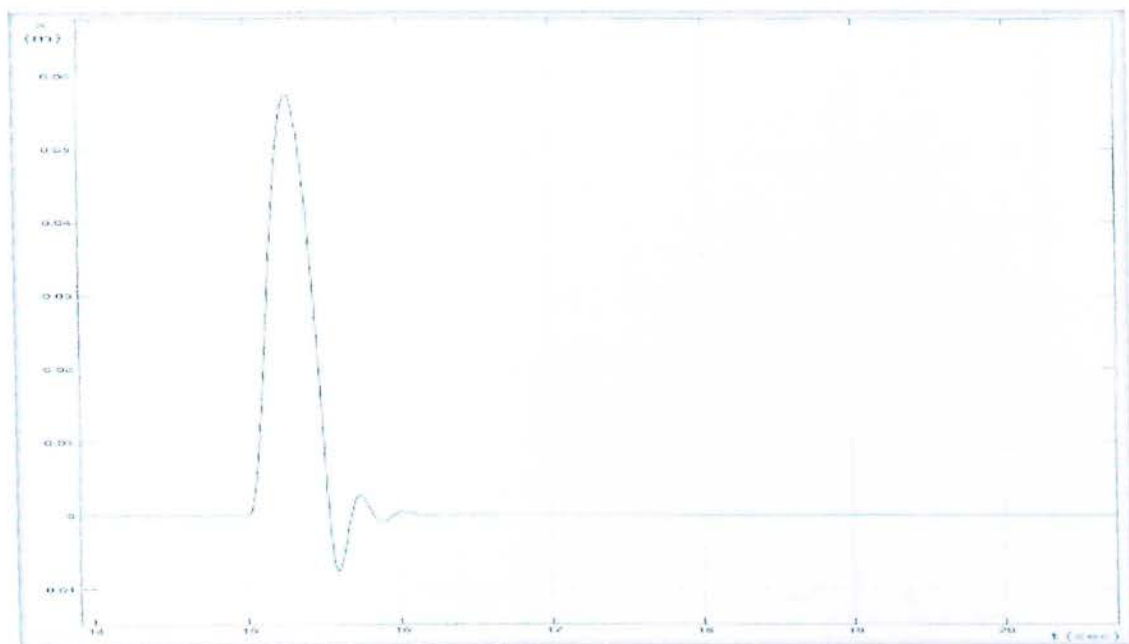
Simple Model 50 km/h position 2

Frequency Positive Simple

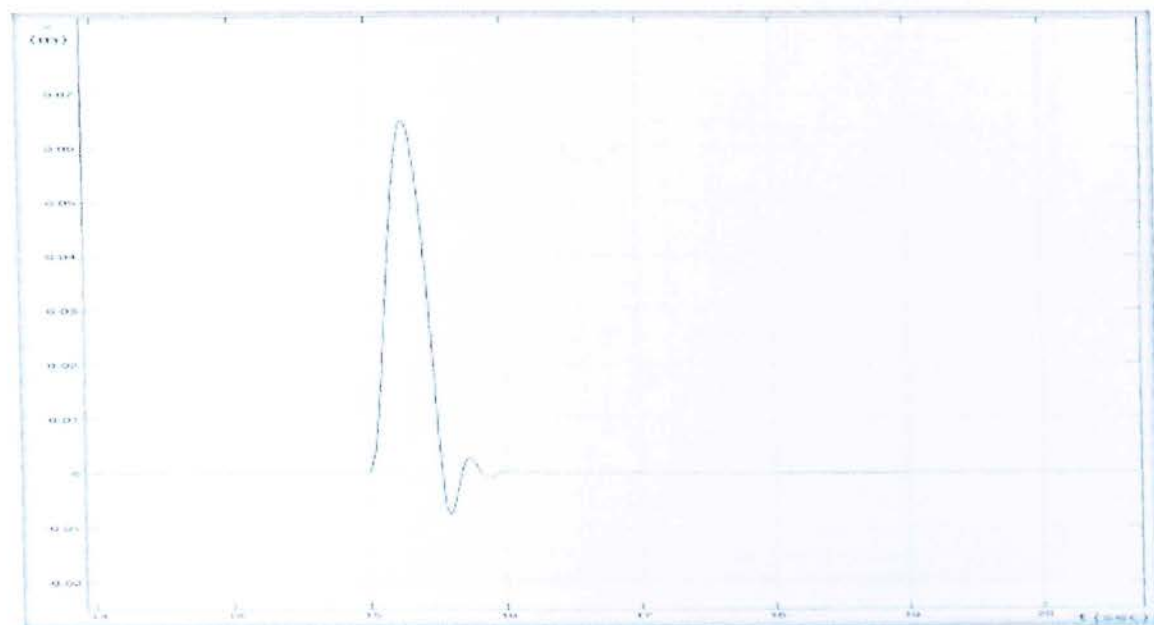
Simple Model 0.5 Hz Position 1



Simple Model 0.5 Hz Position 2

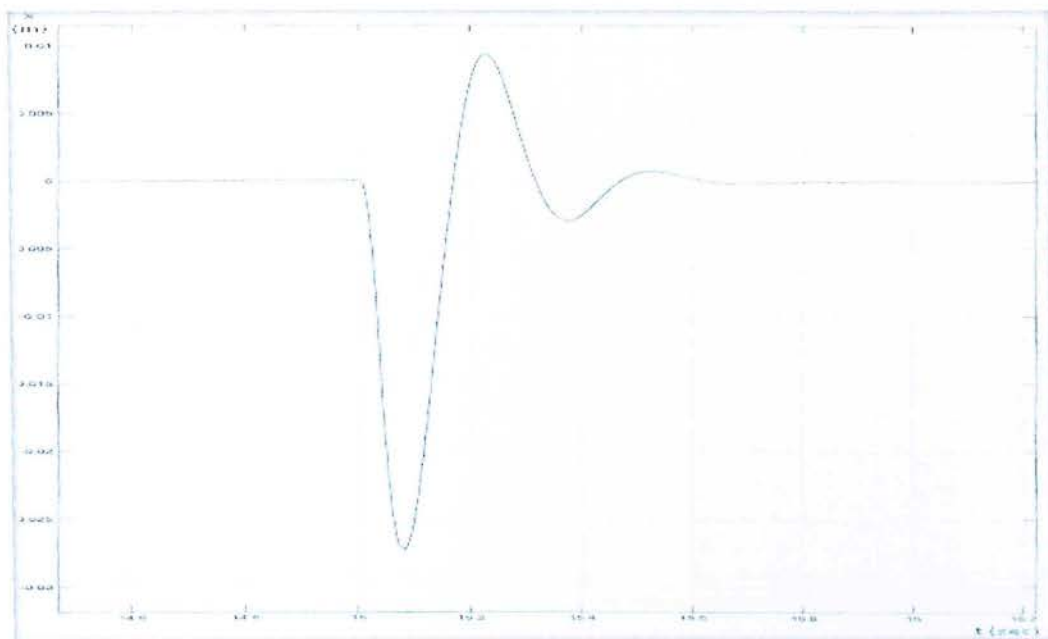


Simple Model 1 Hz Position 1

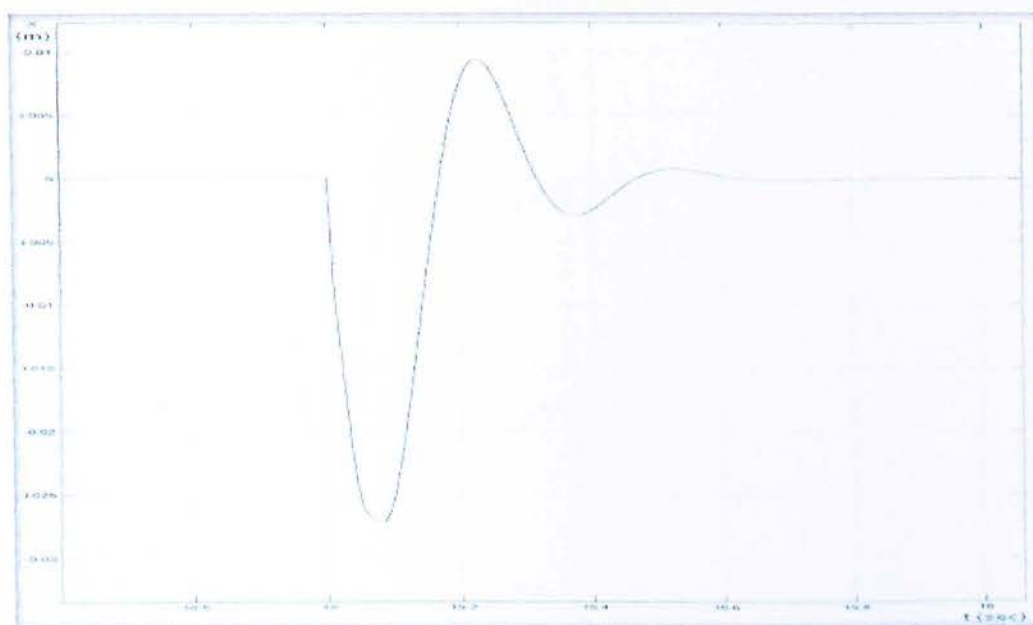


Simple Model 1 Hz Position 2

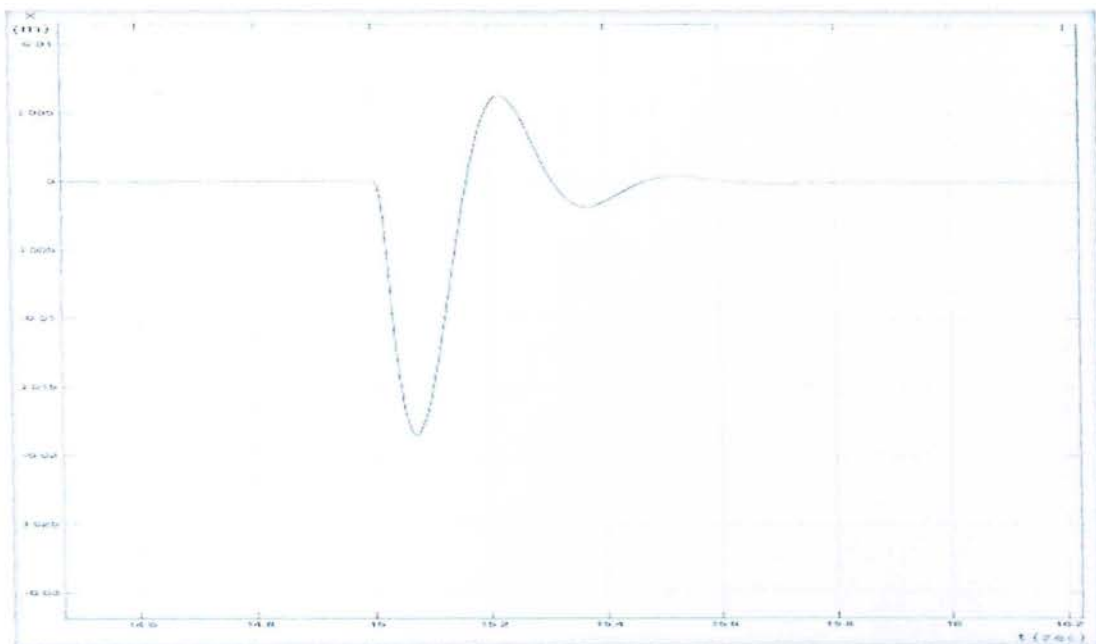
14.2 Simple Model Negative



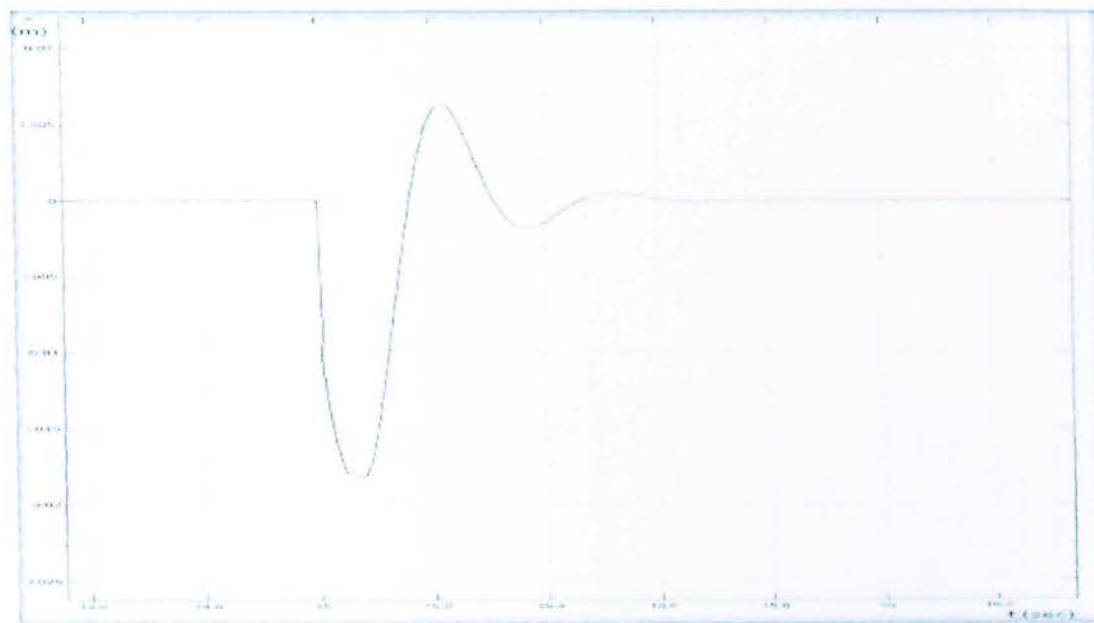
Simple Model 20 km/h position 1



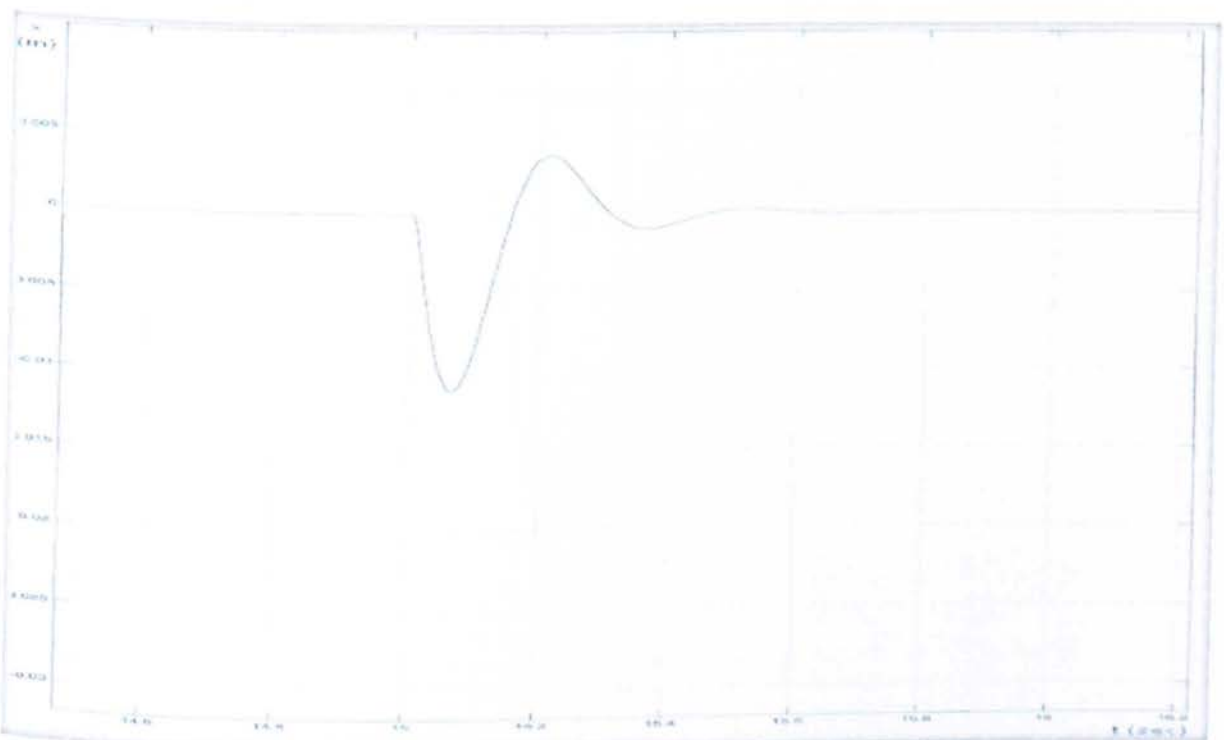
Simple Model 20 km/h position 2



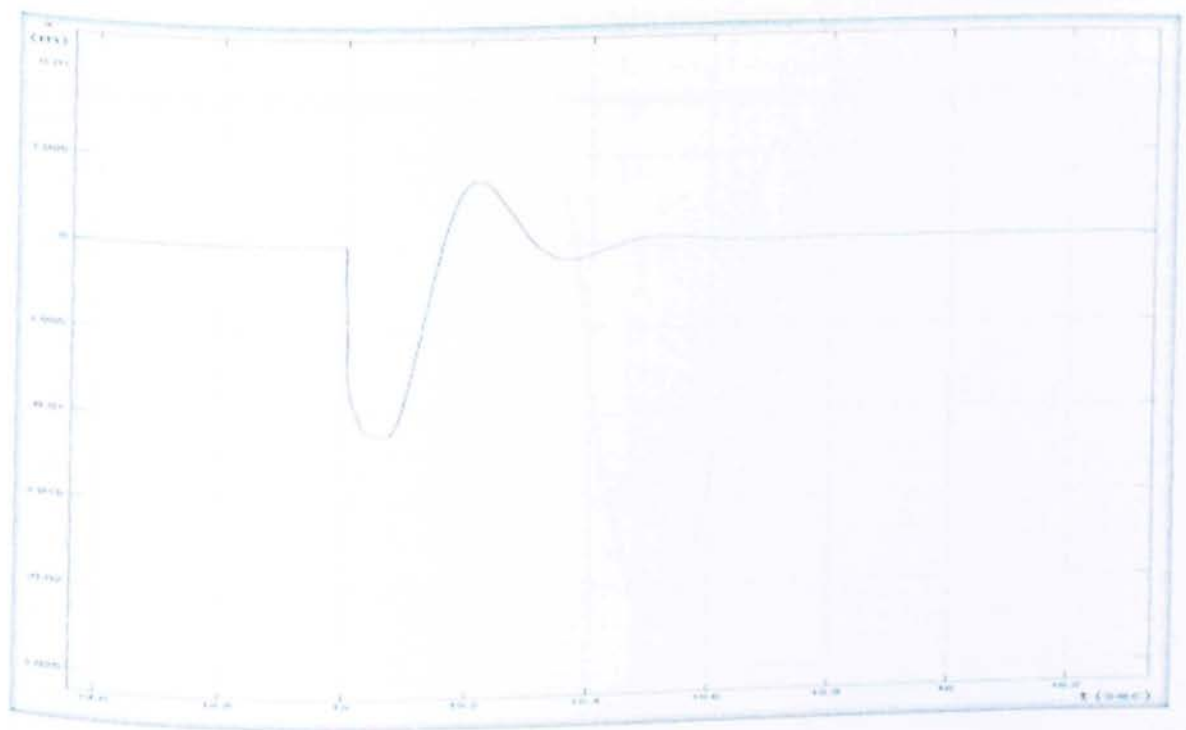
Simple Model 30 km/h position 1



Simple Model 30 km/h position 2

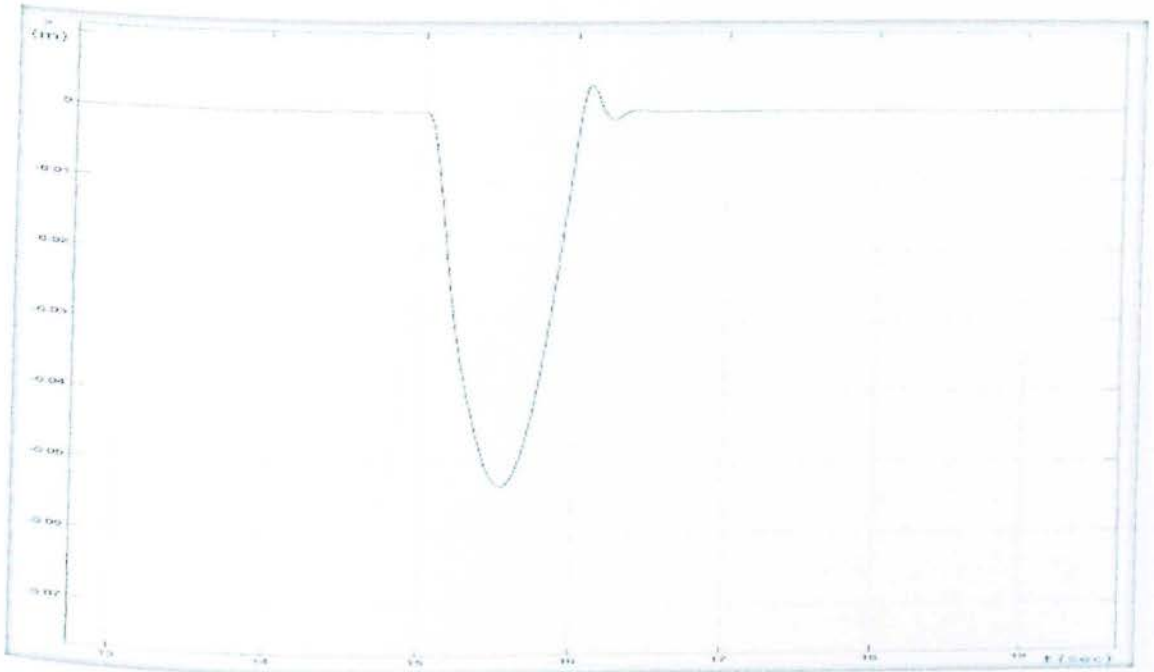


Simple Model 50 km/h position 1

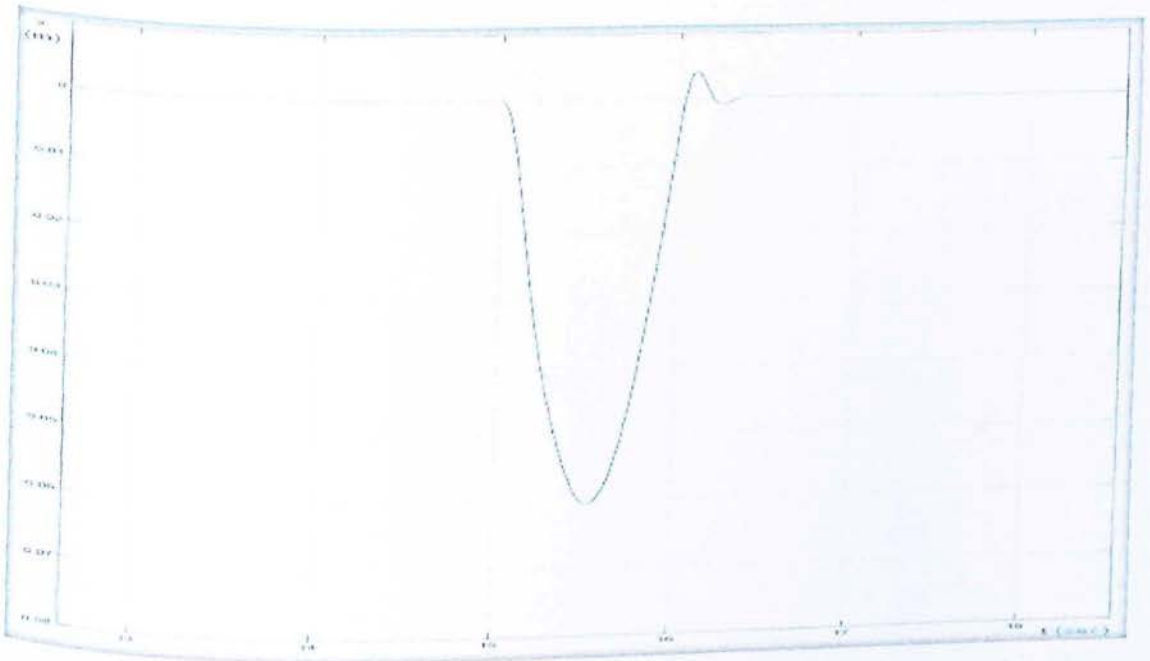


Simple Model 50 km/h position 2

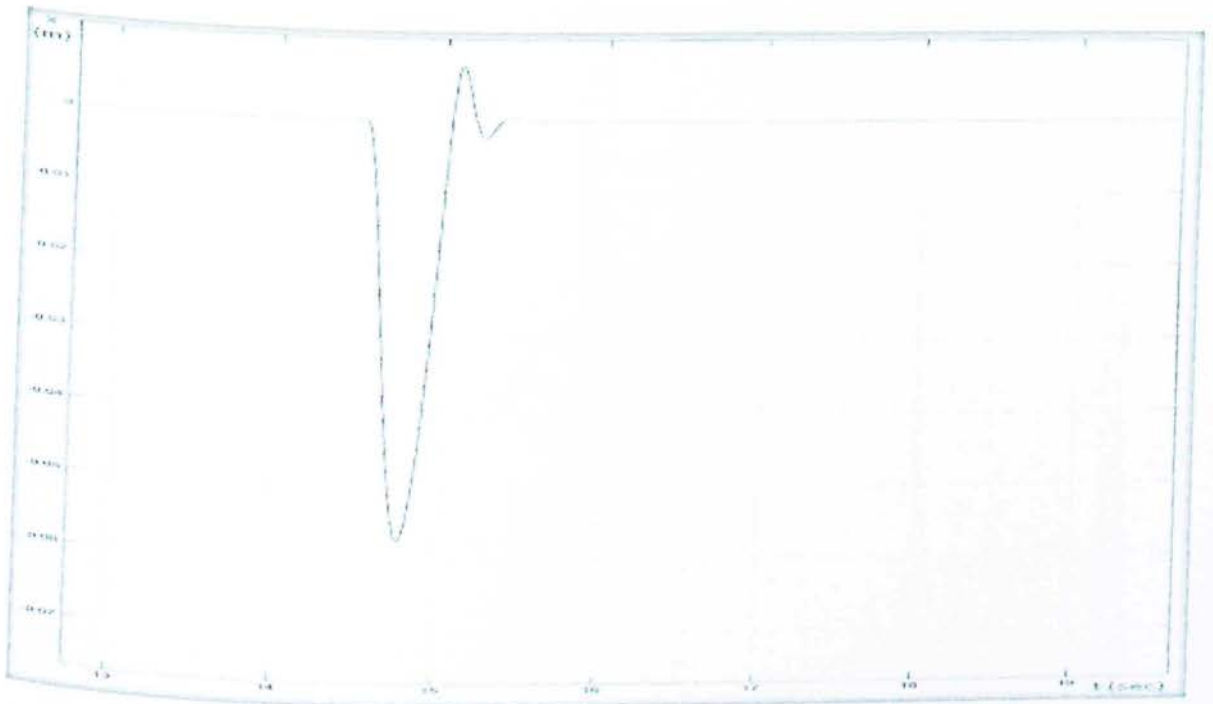
Frequency Negative Simple



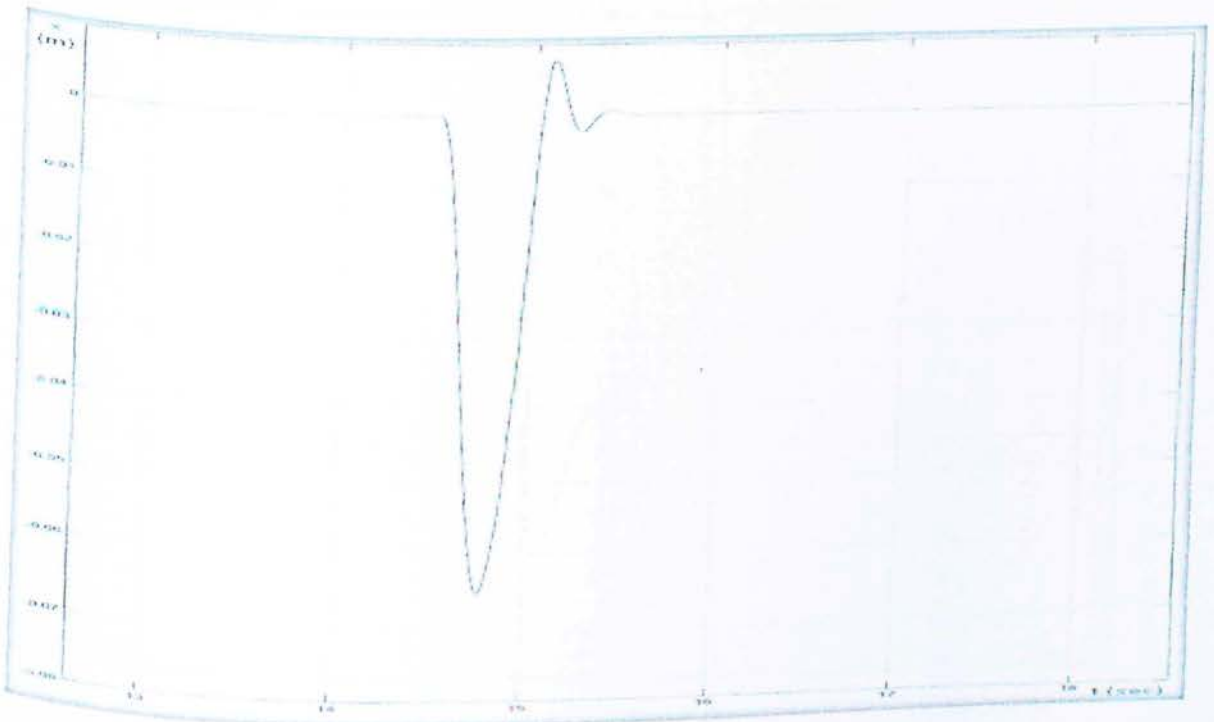
Simple Model 0.5Hz Position 1



Simple Model 0.5Hz Position 2

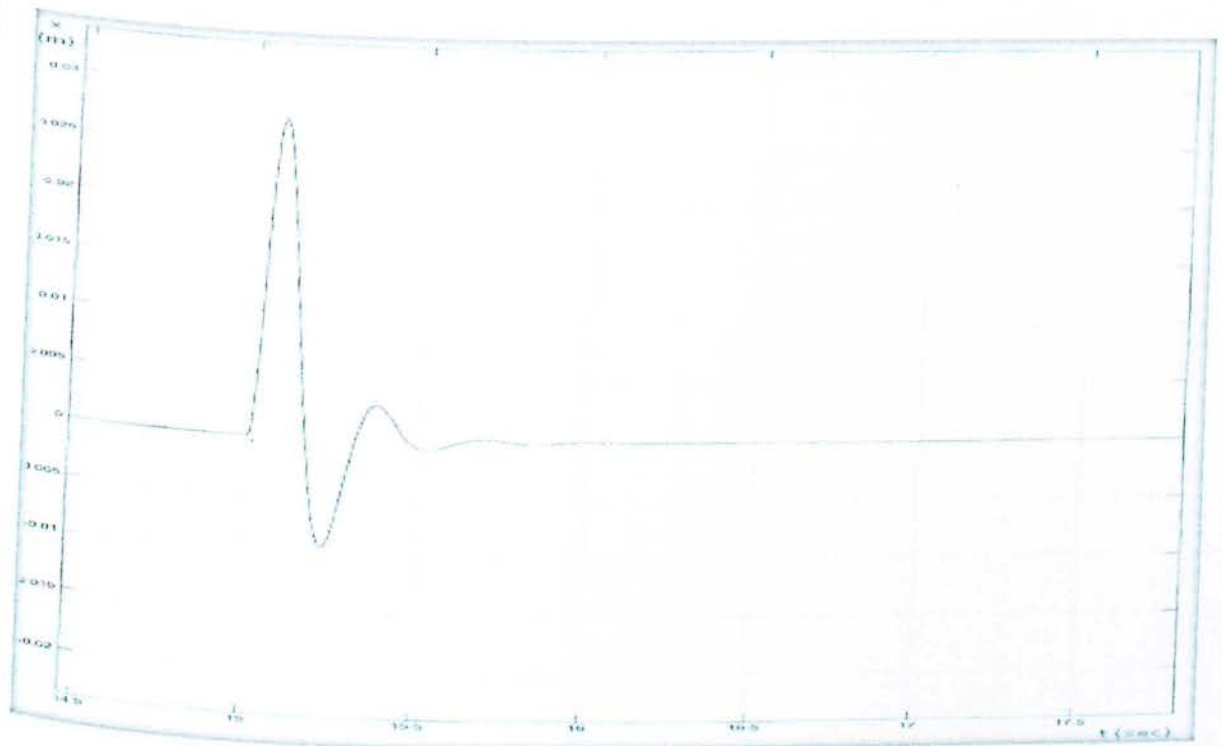


Simple Model 1Hz Position 1

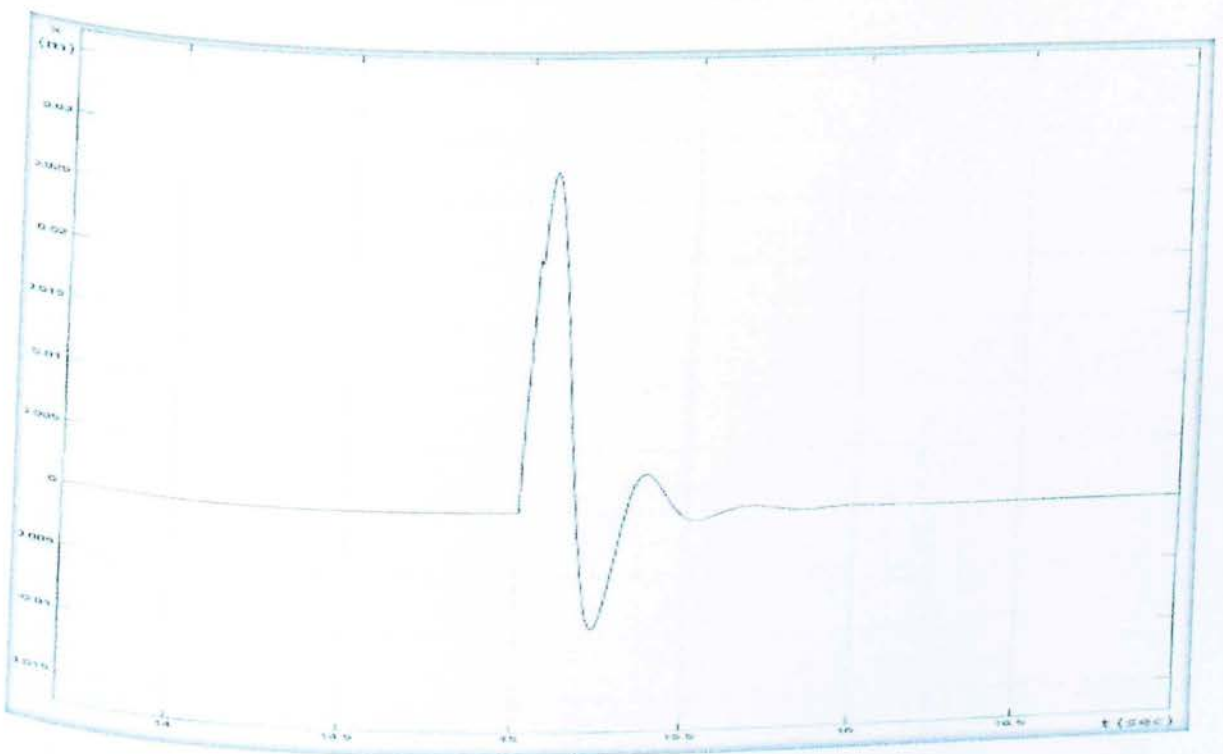


Simple Model 1Hz Position 2

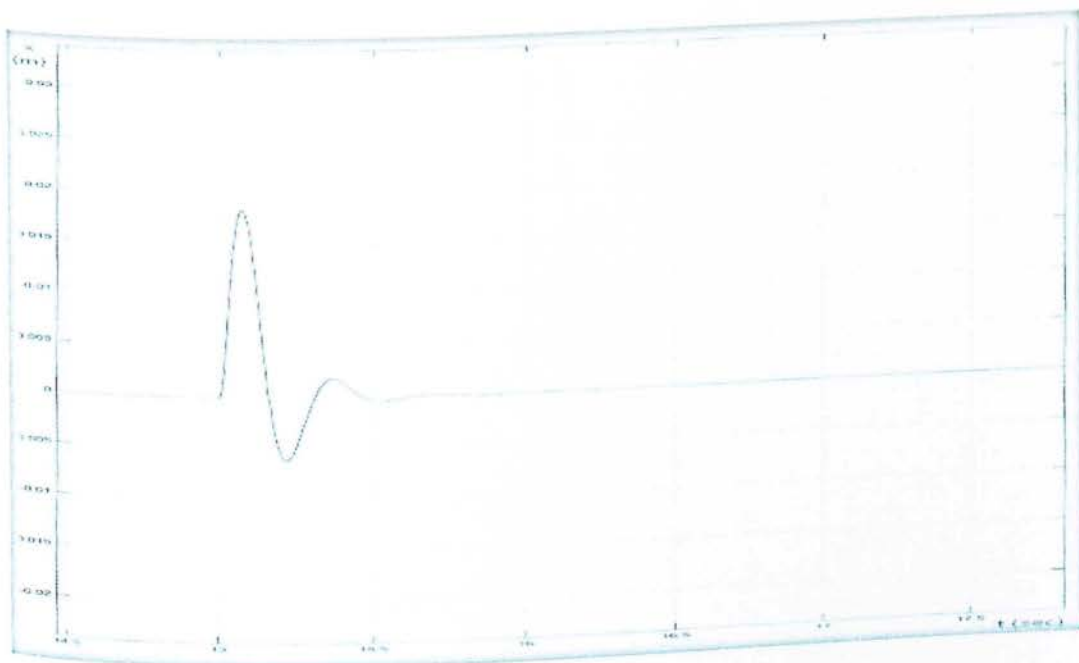
14.3 Διαγράμματα *Visco Model Positive*



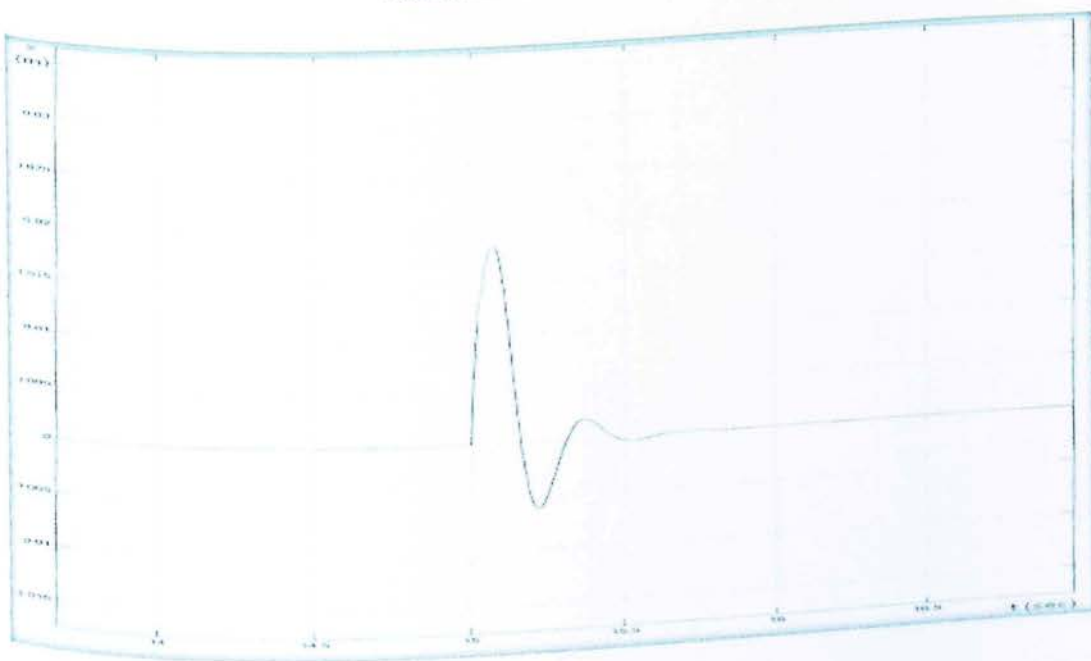
Visco Model 20 km/h position 1



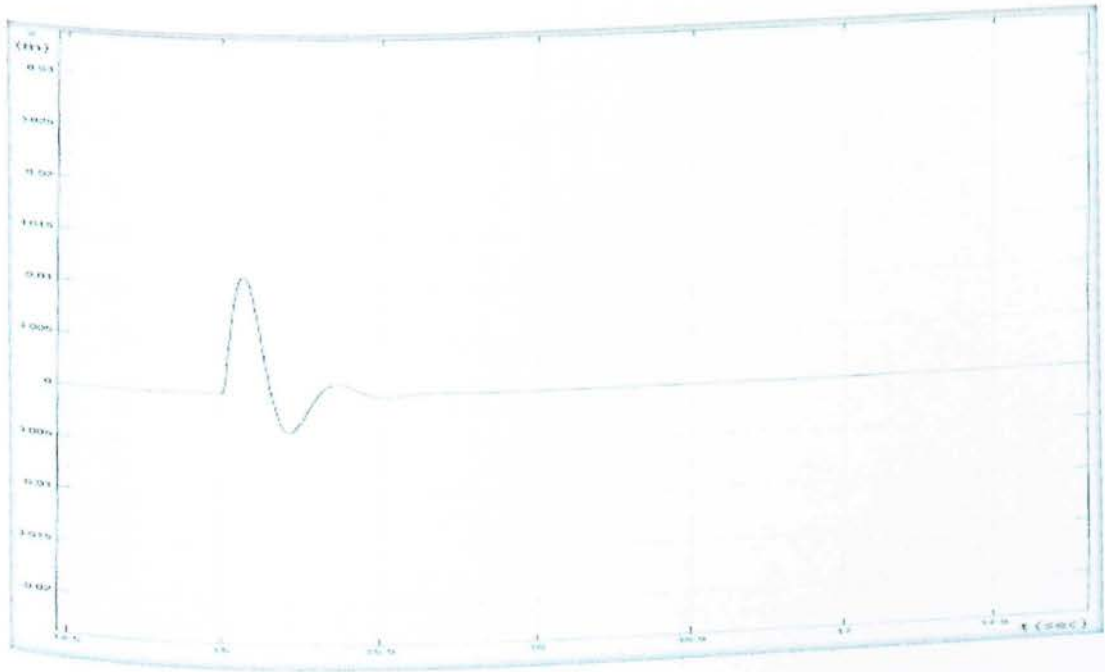
Visco Model 20 km/h position 2



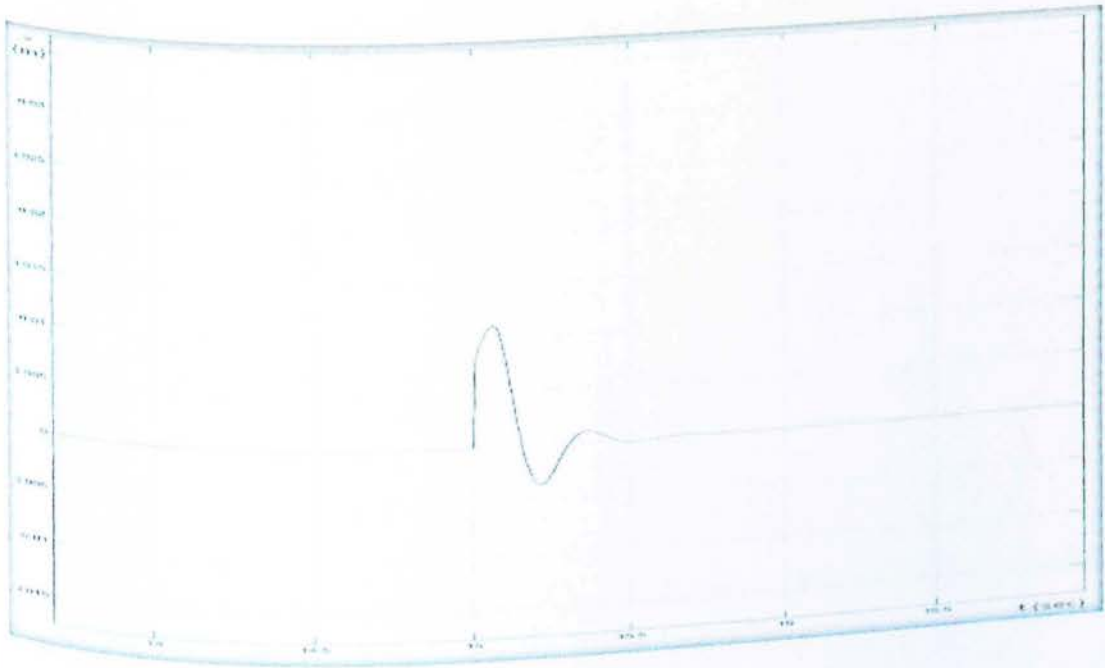
Visco Model 30 km/h position 1



Visco Model 30 km/h position 2

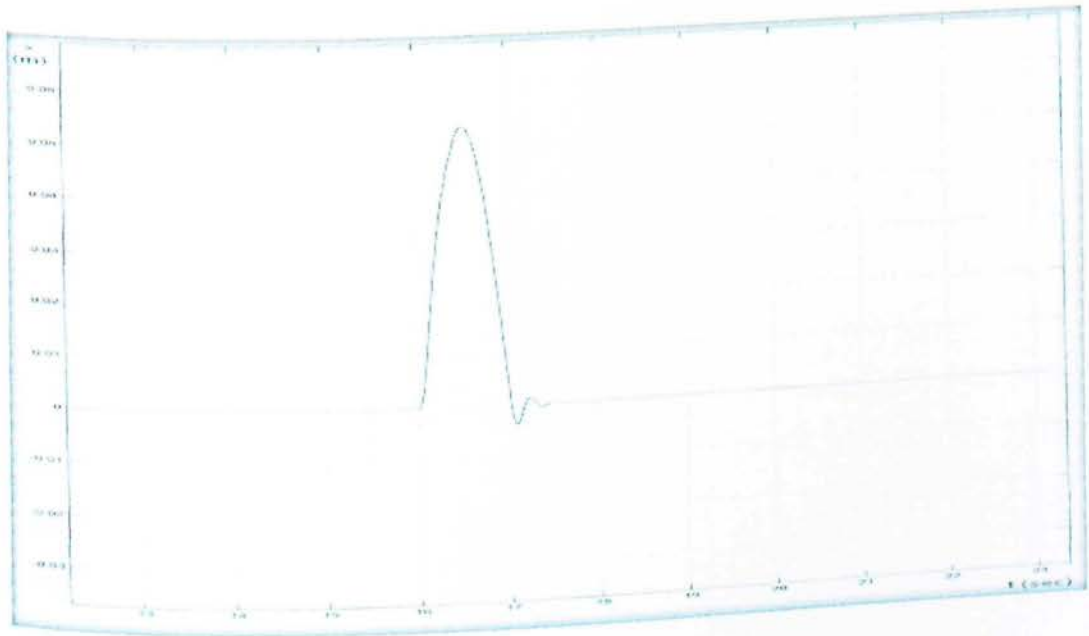


Visco Model 50 km/h position 1

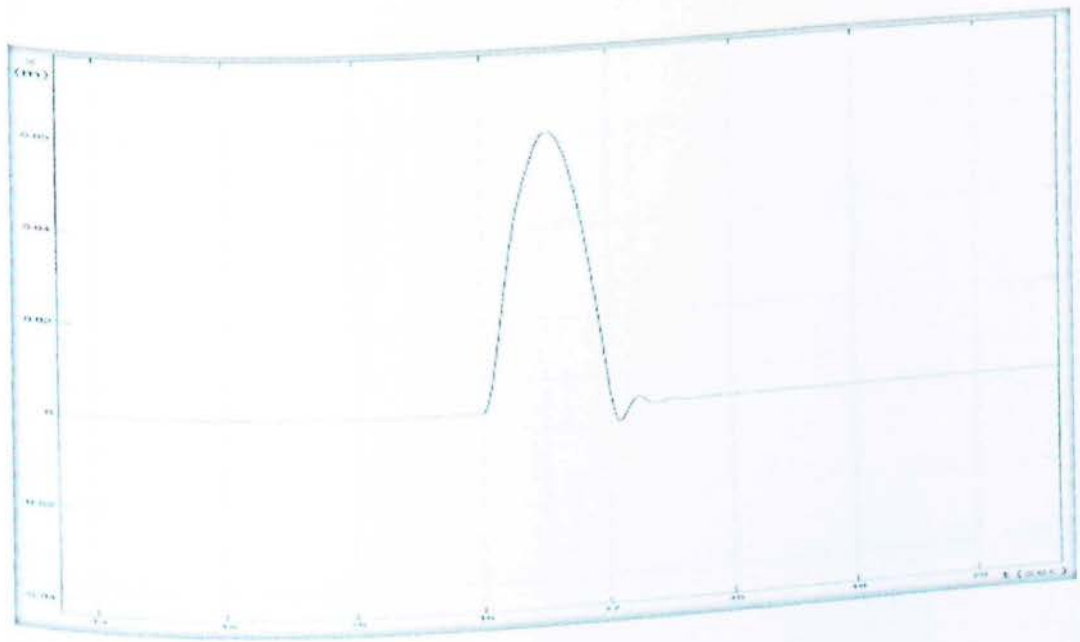


Visco Model 50 km/h position 2

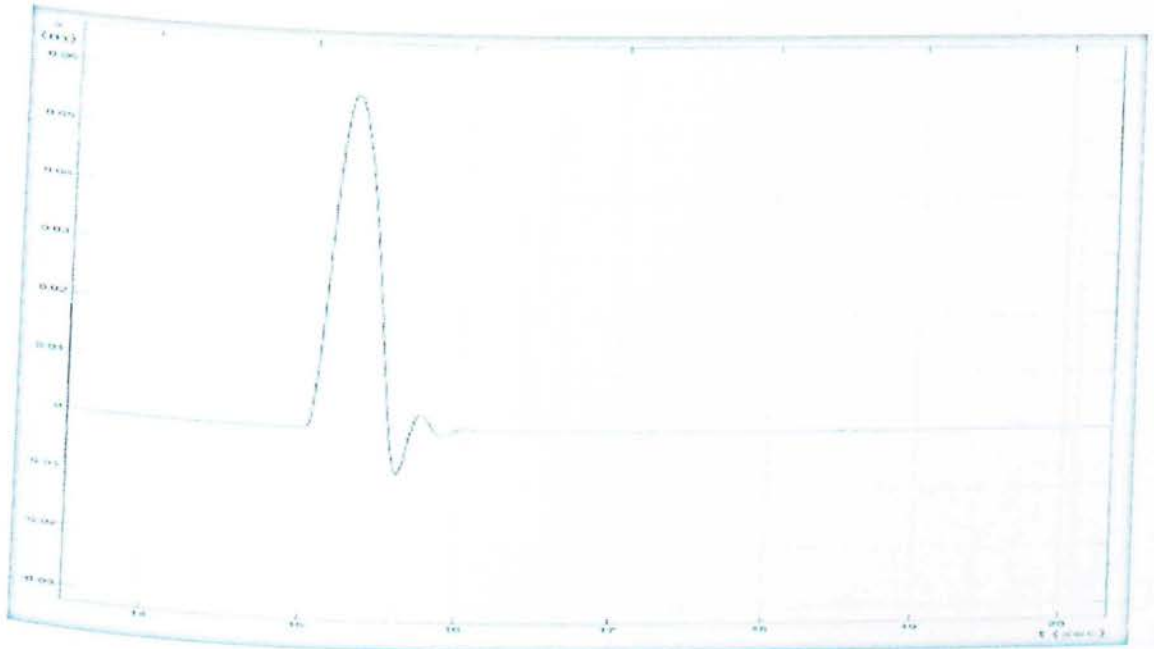
Frequency Positive Visco



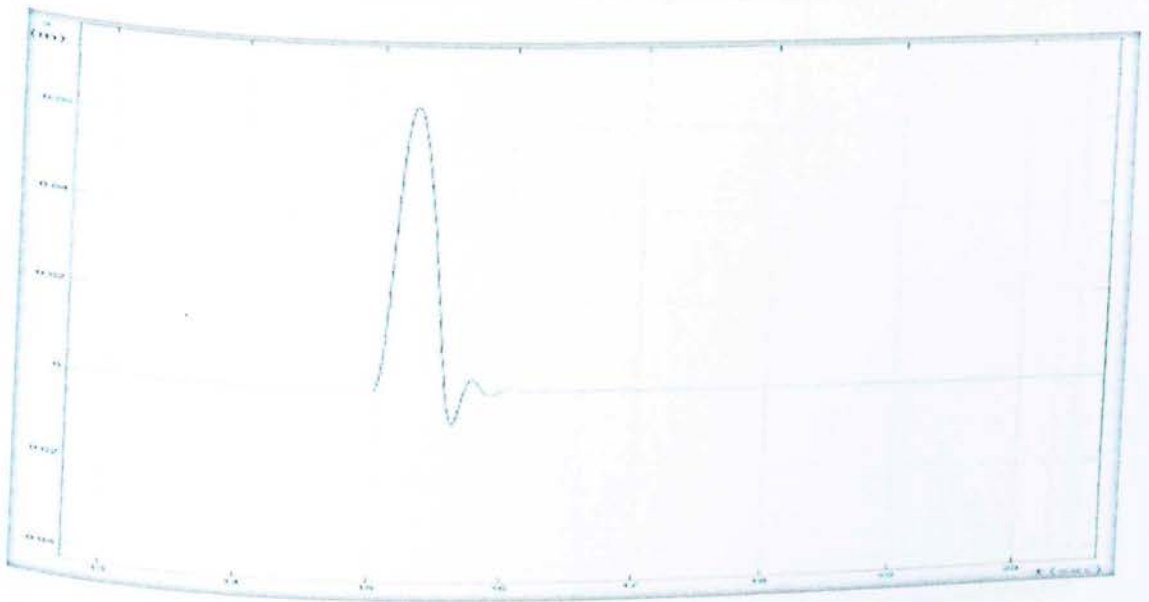
Visco Model 0.5Hz Position 1



Visco Model 0.5Hz Position 2

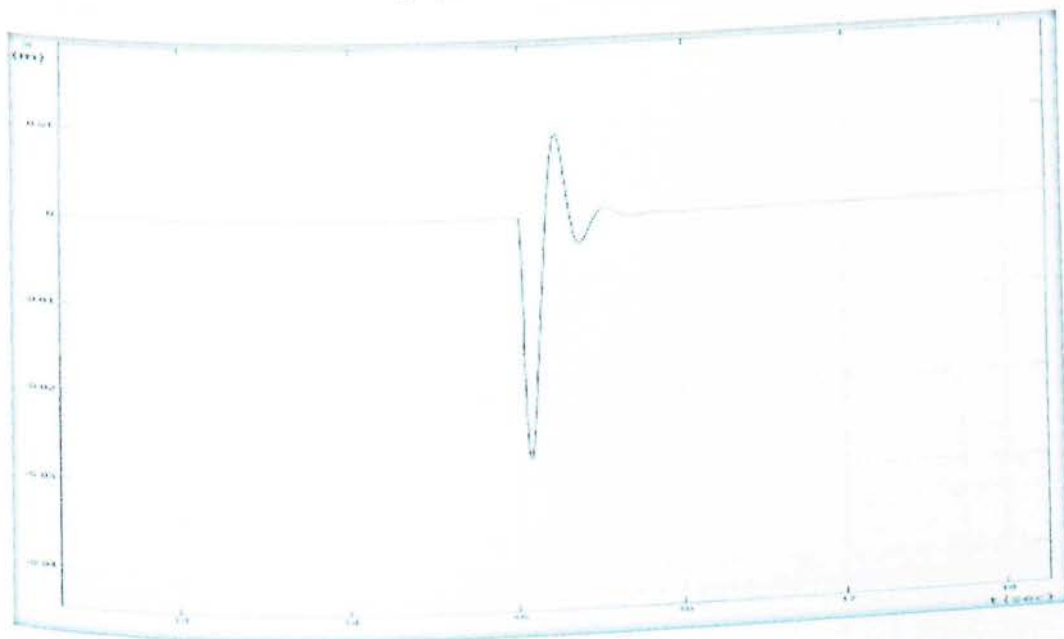


Visco Model 1Hz Position 1

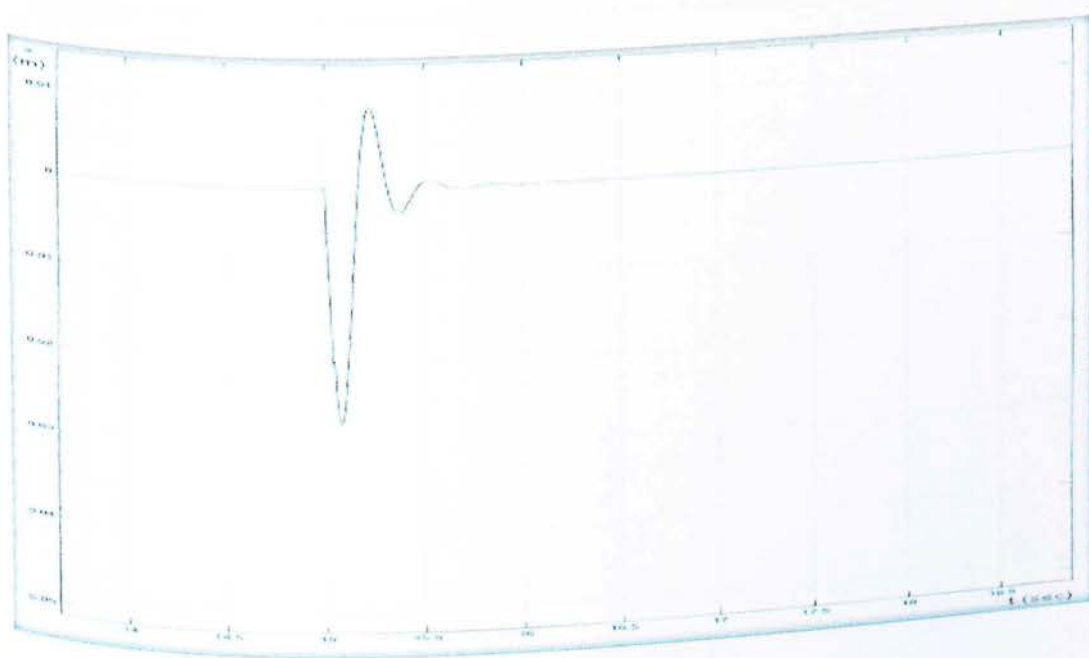


Visco Model 1Hz Position 2

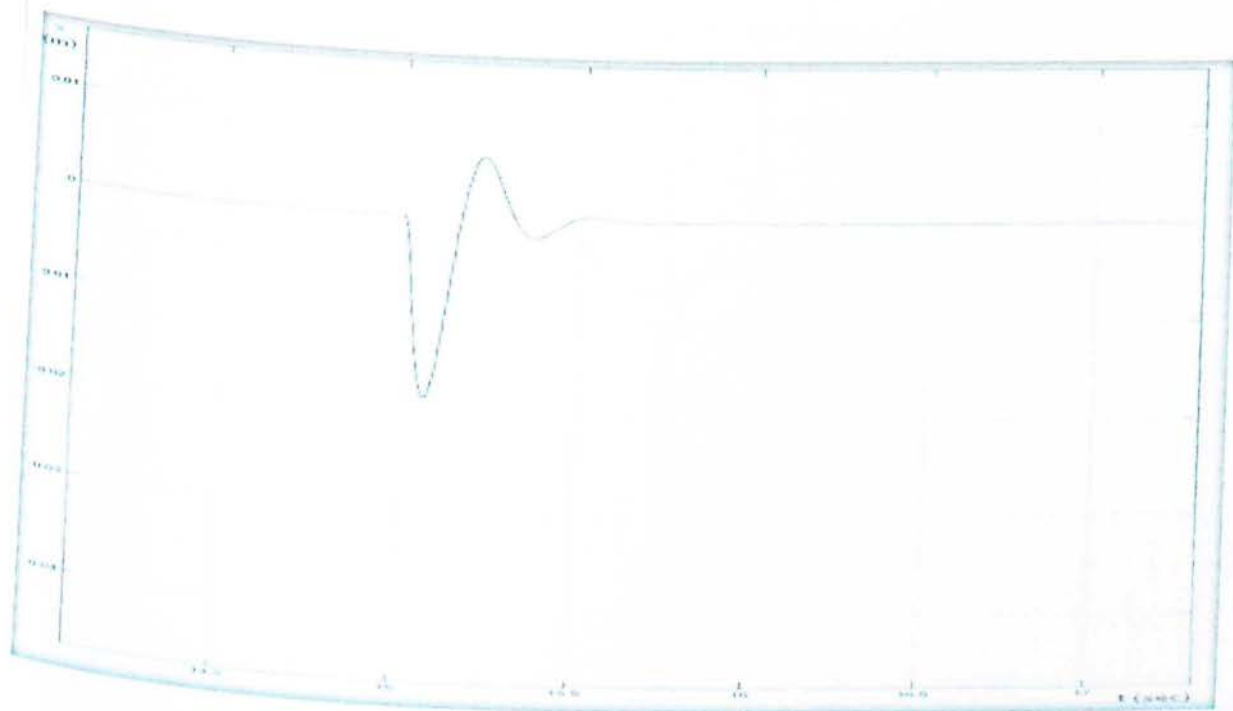
14.4 Διαγράμματα *Visco Model Negative*



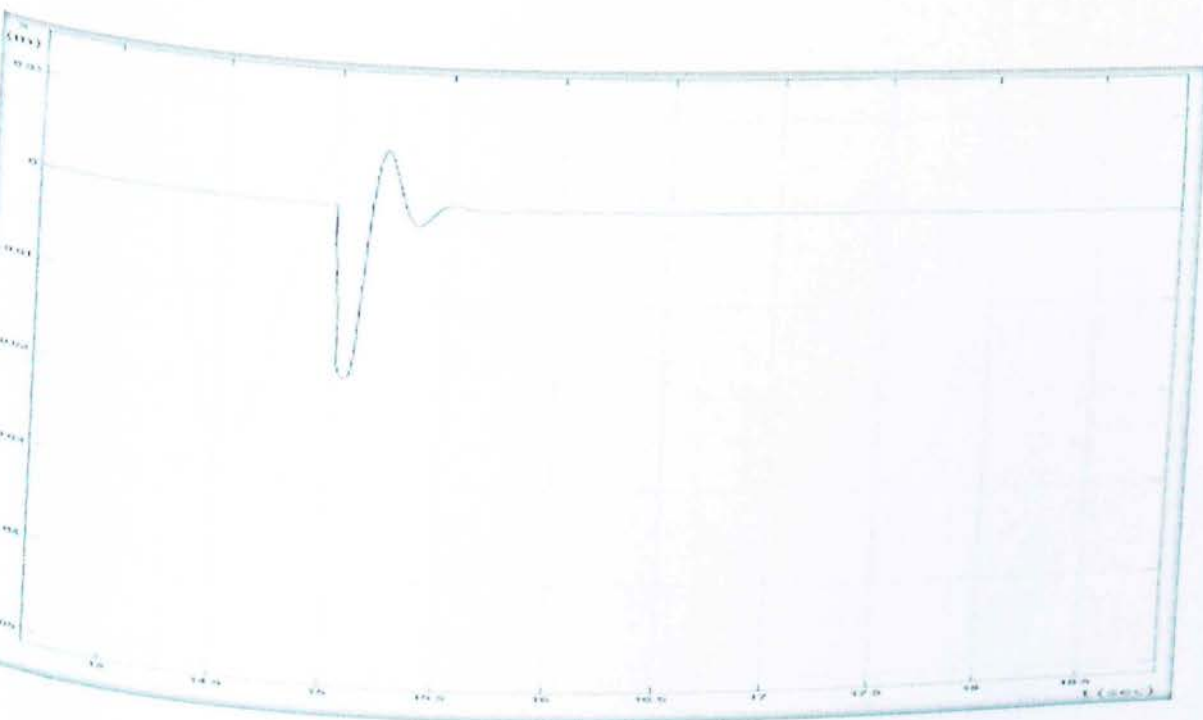
Visco Model 20 km/h position 1



Visco Model 20 km/h position 2

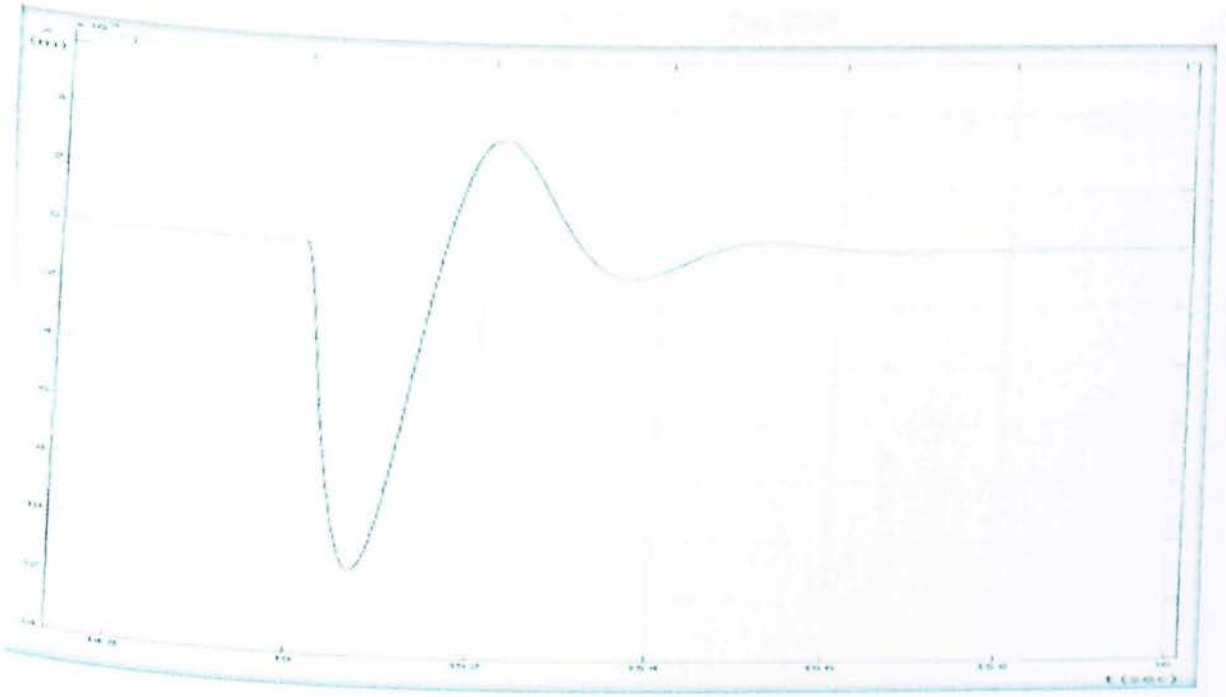


Visco Model 30 km/h position 1

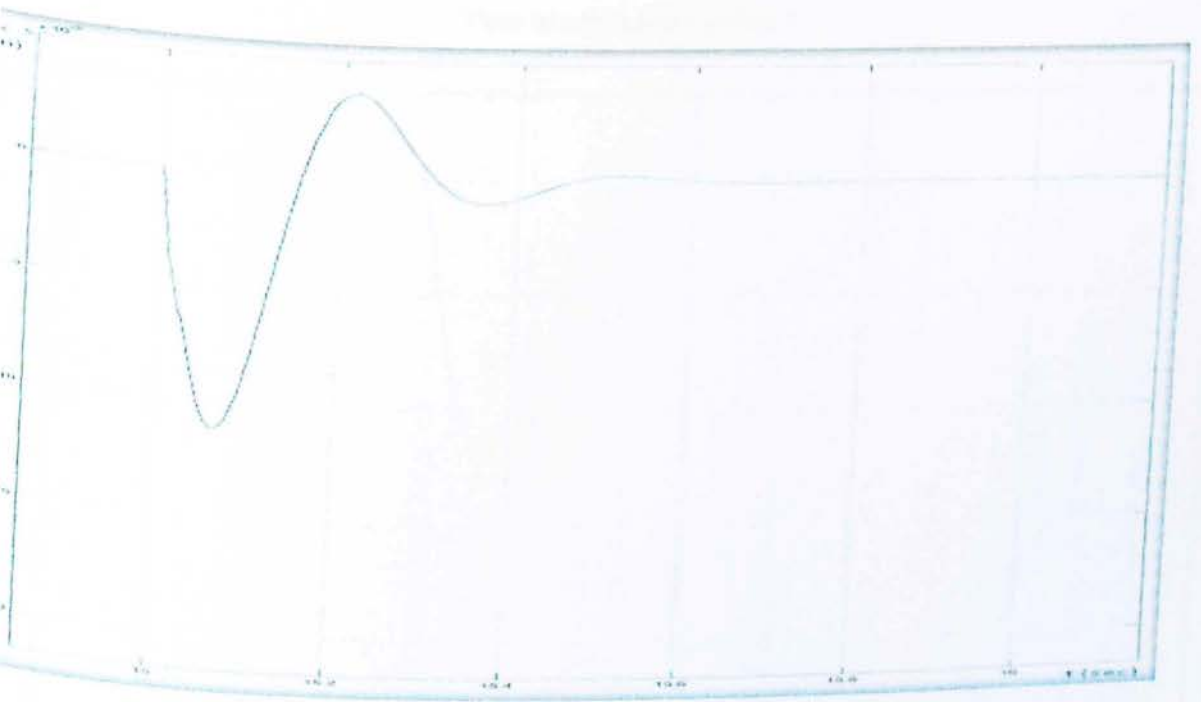


Visco Model 30 km/h position 2

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

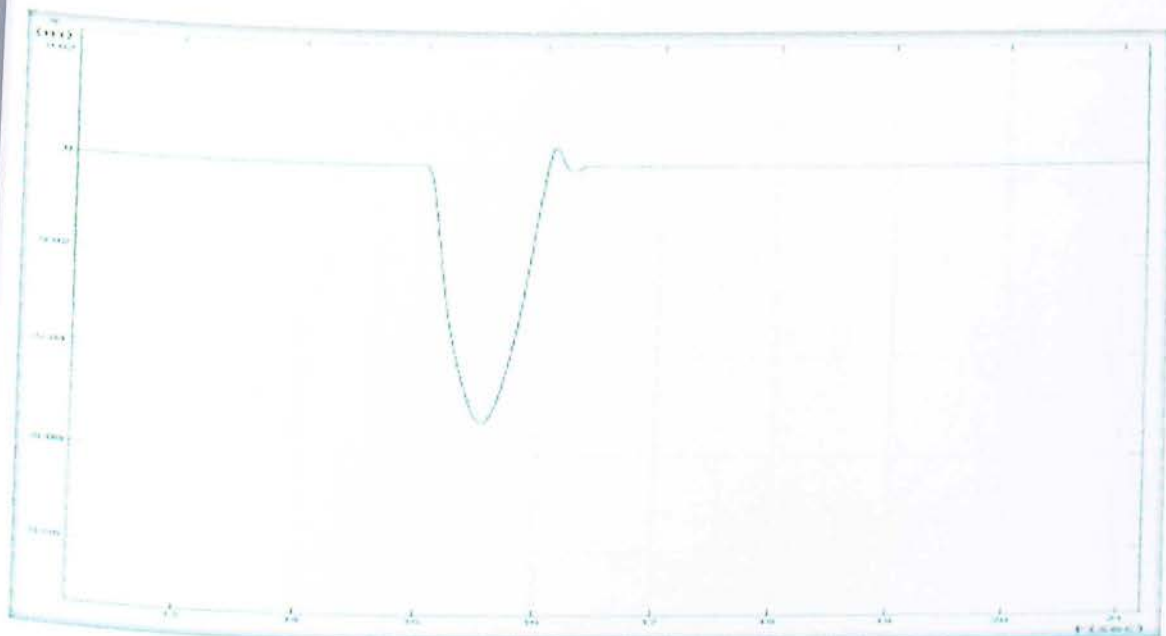


Visco Model 50 km/h position 1

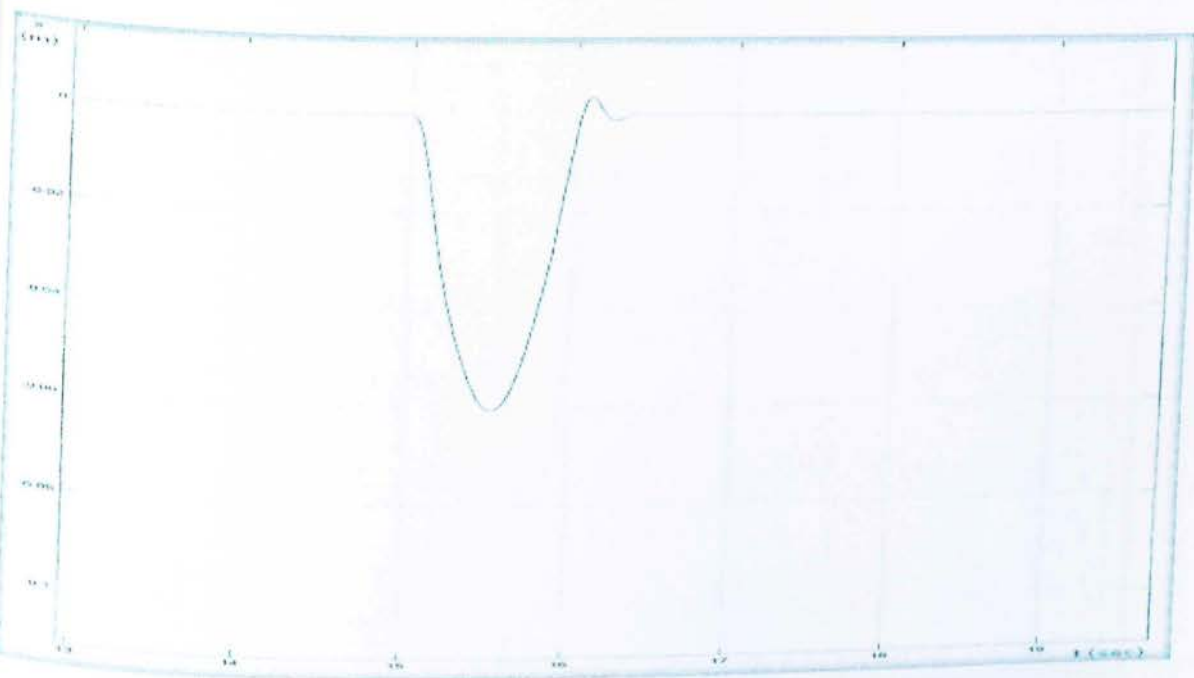


Visco Model 50 km/h position 2

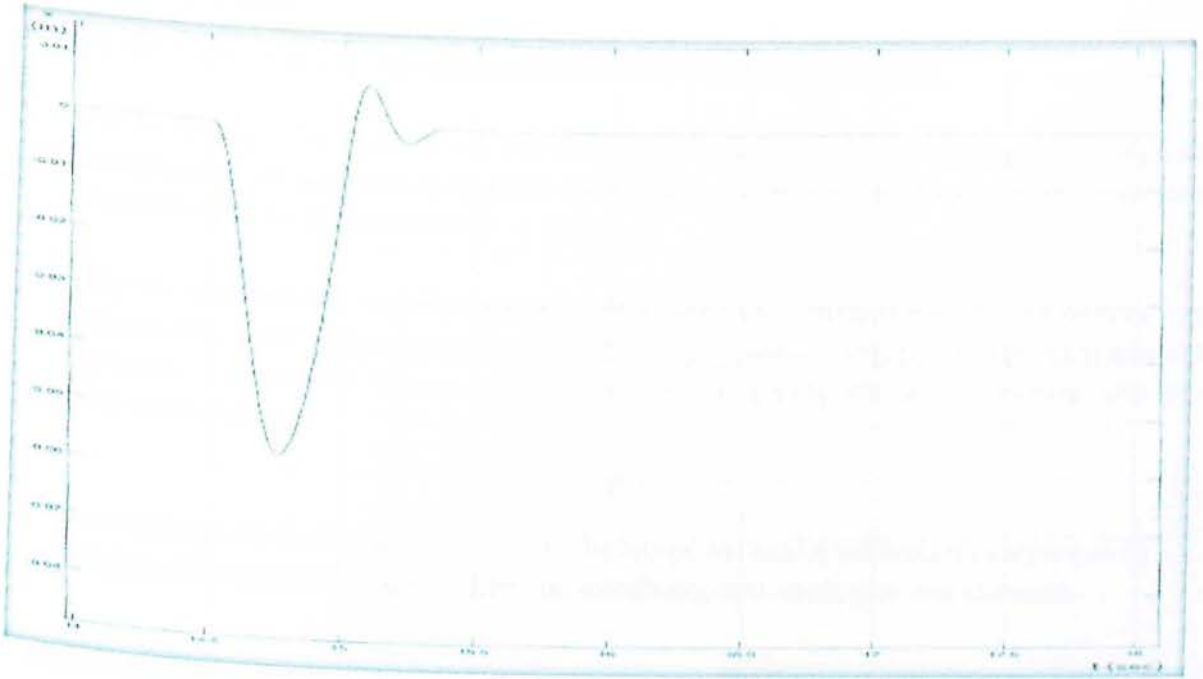
Frequency Negative Visco



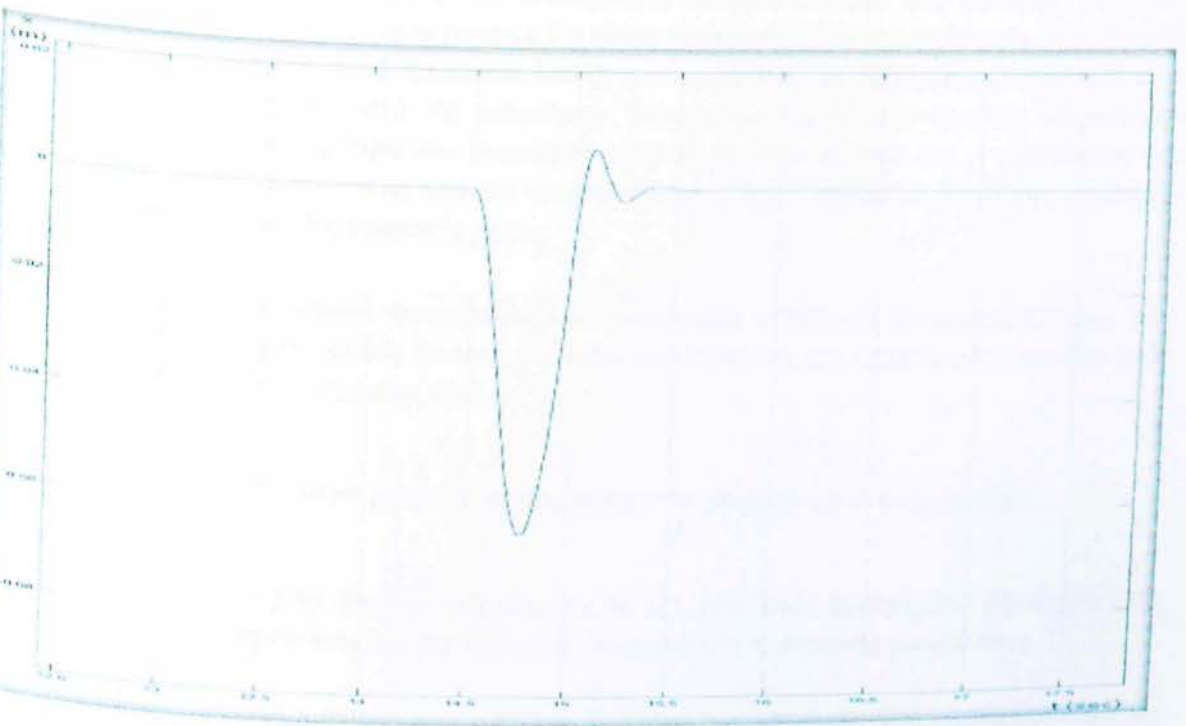
Visco Model 0.5Hz Position 1



Visco Model 0.5Hz Position 2



Visco Model 1Hz Position 1



Visco Model 1Hz Position 2

15. Σγόλια – Συμπεράσματα

Βλέποντας και συγκρίνοντας τα διαγράμματα μεταξύ τους παρατηρούμε τα εξής:

- Για το τραπεζοειδές εμπόδιο και στα δύο μοντέλα, αυξάνοντας την ταχύτητα του οχήματος παρατηρούμε ότι μικραίνει η περίοδος της ταλάντωσης με συνέπεια να γίνεται πιο γρήγορα η διαδικασία και να ελαχιστοποιείται ο χρόνος.
- Για το ημιτονοειδές εμπόδιο και στα δύο μοντέλα, αυξάνοντας την συχνότητα της ταλάντωσης παρατηρούμε ότι μειώνεται η περίοδος της ταλάντωσης με συνέπεια να γίνεται πιο γρήγορα η διαδικασία και να ελαχιστοποιείται ο χρόνος και αυτό προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$T = \frac{1}{f}$$

- Παρατηρούμε ότι στο Βισκοελαστικό μοντέλο έχουμε πιο ομαλή ταλάντωση σε σχέση με το Απλό μοντέλο και αυτό συμβαίνει λόγω της απόσβεσης που «υπάρχει» στο ελαστικό.

Ως γενικότερες παρατηρήσεις στα δύο μοντέλα έχουμε τις εξής :

- Συγκρίνοντας τις μετατοπίσεις στο τραπεζοειδές εμπόδιο και στα δύο μοντέλα για κάθε ταχύτητα παρατηρούμε ότι στο position 2 η κλίση της καμπύλη είναι μεγαλύτερη, δηλαδή είναι πολύ πιο «απότομη». Αυτό προκύπτει επειδή η σταθερά του ελατηρίου k στο ελαστικό είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή της ανάρτησης. Επίσης, και για τα δύο εμπόδια και στα δύο μοντέλα για κάθε ταχύτητα και συχνότητα αντίστοιχα παρατηρούμε ότι η μετατόπιση στο position 2 είναι μεγαλύτερη από ότι στην ανάρτηση. Αυτό συμβαίνει λόγω της σταδιακής μετατόπισης και της διαφορετικής μάζας.
- Βλέποντας τα δύο εμπόδια τραπεζοειδές και ημιτονοειδές αντίστοιχα θα παρατηρήσουμε ότι η ταλάντωση στο ημιτονοειδές θα είναι πολύ πιο ομαλή απ ότι στο τραπεζοειδές εμπόδιο λόγω της ασυνέχειας που υπάρχει σε αυτό.

Πιθανά αίτια σφαλμάτων τα οποία μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

- Τα διαγράμματα έχουν διαφορετική κλίμακα μεταξύ τους στον κατακόρυφο άξονα λόγω της μεγέθυνσης του προγράμματος και έτσι είναι δυσκολότερη η σύγκριση μεταξύ τους.
- Δεν υπάρχει μεγάλη ακρίβεια στις ενδείξεις μας λόγω της κλίμακας που χρησιμοποιούμε, αν θέλουμε μεγαλύτερη ακρίβεια θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μεγαλύτερη μεγέθυνση.

16. Βιβλιογραφία

Επιστημονικά Άρθρα

- [1] Fuzzy Control of a Quarter-Car Suspension System by Salemand Ayman Aly
- [2] Design Optimization of Quarter-Car Models with passive and semi-active suspensions under Random Road Excitation
- [3] Automotive Suspension Systems –Dr Kevin Cray Professor of Mechanical Engineering
- [4] Reza N Janar –Vehicle Dynamics, theory and applications
- [5] Tomas D Gillespie-Fundamentals of vehicle Dynamics
- [6] Simulink Dynamic System Simulation for Matlab_Mathworks
- [7] Simscape Language guide_Mathworks
- [8] Simscape Getting Started guide_Mathworks
- [9] C. N. Spentzas and A. Tsolakis: Modeling and optimization of an innovative suspension system that keeps the vehicle's sprung mass horizontal under all conditions of motion, Proceedings of the 31st ISATA, Paper No. 98ME007, Volume on Automotive Mechatronics Design and Engineering, pp. 349-353, Düsseldorf, Germany, 2-5 June 1998
- [10] C. N. Spentzas and A. Tsolakis: An innovative suspension system for ground vehicles, Proceedings of the 10th International Scientific Symposium "Motor Vehicles and Engines", Paper No. YU-98003, pp. 9-13, Kragujevac, Yugoslavia, 5-7 October 1998, pp. 9-13

Ιστότοποι

- [1] www.en.wikipedia.org
- [2] www.el.wikipedia.org
- [3] www.mathworks.com/suspensionsystem
- [4] www.drive.gr
- [5] www.carbibles.com
- [6] www.raw4x4europe.com
- [7] www.lancialybra.mlemo.gr/operation/suspension
- [8] www.caroto.gr/suspensionsystems