

Κεφάλαιο

§ 1-6 Εξαναγκασμένες Ταλαντώσεις

A. Μηχανικές

Όταν ένας ταλαντωτής μάζας m εκτελεί **A.Τ.**, δηλαδή ελεύθερη και αμείωτη ταλάντωση, με σταθερά επαναφοράς D το πλάτος της ταλάντωσης, έστω A_0 , είναι σταθερό, η περίοδος, έστω T_0 είναι σταθερή και η συχνότητα f_0 είναι σταθερή.

Στην περίπτωση αυτή η περίοδος χαρακτηρίζεται ως ιδιοπερίοδος και η συχνότητα ως ιδιοσυχνότητα του ταλαντούμενου συστήματος.

Επομένως,

Ιδιοσυχνότητα f_0 , ενός ταλαντούμενου συστήματος ονομάζουμε τη συχνότητα της ελεύθερης και αμείωτης ταλάντωσης του, δηλαδή τη συχνότητα με την οποία ταλαντώνεται το σύστημα όταν διεκείρεται μία μόνο φορά και κατά την ταλάντωση του δεν εμφανίζονται αποββέσεις.

$$\text{Είναι } \underline{f_0 = (1/2\pi) \sqrt{D/m}}$$

Όπως προκύπτει από την παραπάνω σχέση η ιδιοσυχνότητα ενός συστήματος εξαρτάται από τη σταθερά επαναφοράς του συστήματος, δηλαδή εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά του συστήματος.

Σημείωση

Στην πραγματικότητα κάθε ελεύθερη ταλάντωση είναι φθίνουσα και η συχνότητά της είναι λίγο μικρότερη από την f_0 .

Αν σε ένα ταλαντωτή στον οποίο όταν ταλαντώνεται ασκείται δύναμη τριβής της μορφής $F_b = -b\dot{u}$, με συνέπεια η ταλάντωση του να είναι φθίνουσα - αποσβενύμενη - ασκήσουμε μία πρόσθετη εξωτερική περιοδική δύναμη, της μορφής $F_d = F_0 \eta \mu \omega t$, τότε μετά από ένα μικρό χρονικό διάστημα η ταλάντωση του θα γίνει αμείωτη.

Μια τέτοια ταλάντωση λέγεται εξαναγκασμένη, η πρόθετη εξωτερική περιοδική δύναμη που ασκείται στον ταλαντωτή λέγεται διεξείρουσα δύναμη ενώ το σώμα που την ασκεί ονομάζεται διεξέρτης.

Επομένως, Εξαναγκασμένη ταλάντωση ονομάζεται η αμείωτη ταλάντωση που εκτελεί ένα σύστημα αποβενυμένων ταλαντώσεων όταν ασκείται ε' αυτό πρόθετη εξωτερική περιοδική δύναμη.

Διεξείρουσα δύναμη η πρόθετη εξωτερική περιοδική δύναμη που ασκείται ε' ένα σύστημα αποβενυμένων ταλαντώσεων προκειμένου να εκτελέσει αμείωτη ταλάντωση.

Σε μια εξαναγκασμένη ταλάντωση - Ε.Τ. ο διεξέρτης επιβάλλει στην ταλάντωση τη συχνότητά του, δηλαδή η συχνότητα ταλάντωσης είναι, σε κάθε περίπτωση, ίση με τη συχνότητα του διεξέρτη f_d , δηλαδή ίση με τη συχνότητα της πρόθετης εξωτερικής περιοδικής δύναμης που ασκείται στο σύστημα.

Σε μια Ε.Τ το πλάτος διατηρείται σταθερό και η τιμή του εξαρτάται τόσο από τη σταθερά απόσβεσης b όσο και από τη συχνότητα f_d του διεξέρτη. Συγκεκριμένα, για μια ορισμένη τιμή της b , αν μεταβληθεί η f_d μεταβάλλεται και το πλάτος της Ε.Τ.

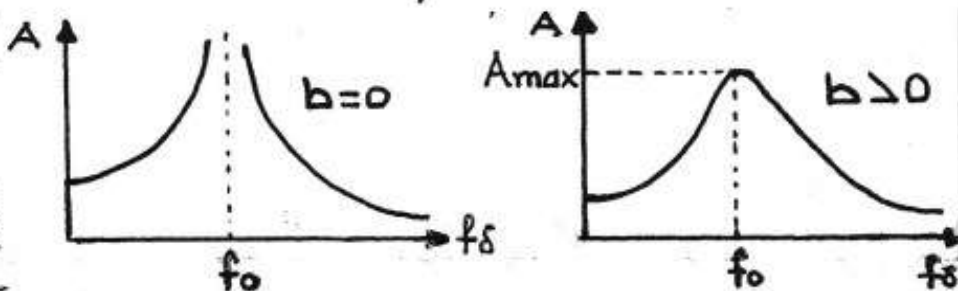
Σε μια Ε.Τ οι τιμές του πλάτους, για ορισμένη τιμή της b , είναι γενικά μικρές, εκτός αν η συχνότητα του διεξέρτη f_d "πλησιάζει" την ιδιοσυχνότητα f_0 του ταλαντούμενου συστήματος, οπότε το πλάτος παίρνει μεγάλες τιμές, και γίνεται μέγιστο όταν η συχνότητα f_d γίνει ίση με την f_0 .

Τότε λέμε ότι έχουμε συντονισμό. Δηλαδή συντονισμός λέγεται το φαινόμενο της μέγιστοποίησης του πλάτους σε μια Ε.Τ που συμβαίνει όταν η συχνότητα f_d του διεξέρτη γίνει ίση με την ιδιοσυχνότητα f_0 του ταλαντούμενου συστήματος.

Το πλάτος της Ε.Τ κατά το συντονισμό ε-
ξαρτάται από τη σταθερά απόσβεσης b .

Στην ιδανική περίπτωση όπου $b=0$, δηλαδή στην περίπτωση που στην ταλάντωση δεν υπάρχουν απώλειες ενέργειας — πρακτικά αυτό είναι αδύνατο — τότε κατά το συντονισμό — δηλαδή όταν $f_s = f_0$ — το πλά-

τος της Ε.Τ χί-
νεται άπειρο.
Αύξηση
της σταθεράς
απόσβεσης, συ-
νεπάχεται μείωση του πλάτους A της Ε.Τ.



Στην πραγματικότητα, στις ταλαντώσεις με απόσβεση η συχνότητα συντονισμού f_s είναι λίγο μικρότερη από την f_0 . Όσο δε αυξάνεται η απόσβεση ή μείωση της συχνότητας συντονισμού, γε γέ-
γη με την f_0 , γίνεται μεγαλύτερη.

Δηλαδή αν $b_2 > b_1$ τότε $A_s(2) < A_s(1)$ και $f_s(2) < f_s(1) < f_0$.

Ερώτηση

Πως ερμηνεύεται ενεργειακά η σταθερότητα του πλάτους σε μία Ε.Τ και πως η μεγιστοποίησή του κατά το συντονισμό;

Απάντηση

Στις ελεύθερες ταλαντώσεις κατά την ενεργοποίηση — διεξέρση — του συστήματος δίνεται έ-
αυ-
τό κάποια ποσότητα μηχανικής ενέργειας η οποία διατηρείται σταθερή, αν η ταλάντωση είναι αμείωτη, ή μετατρέπεται σταδιακά σε θερμότητα, αν είναι φθίνουσα, με συνέπεια η ενέργεια $E_t = DA^2/2$ άρα και το πλάτος της ταλάντωσης να μειώνεται.

Στις Ε.Τ, στο σύστημα ταλάντωσης προσφέρεται από το διεξέρτη περιοδικά ενέργεια με συχνότητα f_s , όπου f_s η συχνότητα του διεξέρτη άρα και

ταλάντωσης, μέσω του έρχου της διεχειρούσας δύναμης.

Η ενέργεια που προσφέρεται αντισταθμίζει τις απώλειες και έτσι το πλάτος της ταλάντωσης διατηρείται σταθερό.

Ο τρόπος όμως με τον οποίο προσφέρεται ενέργεια στο ταλαντούμενο σύστημα είναι εκλεκτικός και σχετίζεται με τη συχνότητα υπό την οποία προσφέρεται.

Κατά το συντονισμό η ενέργεια μεταφέρεται στο σύστημα κατά το βέλτιστο τρόπο - η μεταφορά ενέργειας γίνεται μέγιστη - χι' αυτό και το πλάτος γίνεται μέγιστο.

Προαιρετικά

Σε μία Ε.Τ ο ρυθμός με τον οποίο, μέσω του έρχου της διεχειρούσας δύναμης, μεταφέρεται ενέργεια στο ταλαντούμενο σύστημα - δηλαδή η ισχύς είναι:

$$P_F = \Delta W_F / \Delta t = F \cdot \Delta x / \Delta t = F \cdot v.$$

Κατά το συντονισμό η διεχειρούσα δύναμη παρουσιάζει διαφορά φάσης $\pi/2$ με την απομάκρυνση x , δηλαδή βρίσκεται σε φάση με την ταχύτητα ταλάντωσης v χι' αυτό και παράχει συνεχώς έρχο θετικό μέσω του οποίου μεταφέρεται συνεχώς ενέργεια στο σύστημα αυξάνοντας την ενέργειά του.

Γι' αυτό το λόγο κατά το συντονισμό η μεταφορά ενέργειας γίνεται μέγιστη με συνέπεια και το πλάτος της ταλάντωσης να γίνεται μέγιστο.

Παρατήρηση

Έστω $F_s = F_0 \sin \omega t$

Όταν $f_s = f_0$ έχουμε συντονισμό, που σημαίνει ότι ο ρυθμός με τον οποίο μεταφέρεται η ενέργεια στο ταλαντούμε σύστημα μέσω του έρχου της F_s είναι μέγιστος. Ο ρυθμός αυτός είναι $\Delta W / \Delta t = F_s \cdot \Delta x / \Delta t = F_s \cdot v$, και είναι μέγιστος όταν τα μέγεθη F_s και v έχουν πάντοτε το ίδιο πρόσημο

δηλαδή έχουν την ίδια φάση, οπότε πρέπει να είναι και $v = v_0 \sin(\omega t - \pi/2) = v_0 \sin(\omega t) \rightarrow v = v_0 \sin(\omega t - \pi/2)$.

Επομένως θα είναι $x = A \sin(\omega t - \pi/2)$, δηλαδή F_s και x παρουσιάζουν διαφορά φάσης $\pi/2$.

Προβολή

Στην πραγματικότητα μεγιστοποίηση του πλάτους - συντονισμός - παρατηρείται και όταν η συχνότητα του διεγέρτη είναι πολλαπλάσια της ιδιοσυχνότητας του ταλαντωτή. Όταν όμως η συχνότητα του διεγέρτη γίνεται πολύ μεγάλη το πλάτος της Ε.Τ μηδενίζεται, επειδή το ταλαντούμενο σύστημα δεν προλαβαίνει να "παρακολουθήσει" το διεγέρτη και λόγω αδράνειας μένει ακίνητο.

Φαινόμενο συντονισμού και μεταφορά ενέργειας.

Όταν ένα σώμα εκτελεί Ε.Τ ασκούνται έστω τρεις δυνάμεις:

α. η δύναμη επαναφοράς $F_{ep} = -Dx$, που είναι η συνισταμένη των δυνάμεων οι οποίες προκαλούν στο σώμα ελεύθερη και αμείωτη ταλάντωση,

β. η δύναμη απόσβεσης $F_b = -bv$, που προκαλεί στο σώμα αποσβενύμενη ταλάντωση,

γ. η διεγείρουσα δύναμη F_s , η οποία ασκείται στο σώμα από το διεγέρτη και προκαλεί την Ε.Τ του.

Ισχύει ότι: $F_{ep} + F_b + F_s = ma$.

Είναι $F_{ep} = -Dx$ και $a = -\omega_s^2 x$, οπότε

$$-Dx + F_b + F_s = -m\omega_s^2 x \rightarrow$$

$$F_b + F_s = (D - m\omega_s^2)x = (m\omega_0^2 - m\omega_s^2)x$$

Στην κατάσταση συντονισμού είναι $\omega_s = \omega_0$, οπότε θα είναι και $F_b + F_s = 0 \rightarrow F_s = -F_b \rightarrow$

$F_s = - (- b v) \rightarrow F_s = b v$, δηλαδή η F_s είναι ευμφασική - έχουν το ίδιο πρόσημο - με την ταχύτητα v και χί αυτό παράχει συνεχώς εσό-χο θετικό μέγω του οποίου μεταφέρεται συνεχώς ενέργεια στο σύστημα και αυτό είναι κίτι που δε συμβαίνει όταν $\omega_s \neq \omega_0$, δηλαδή όταν $f_s \neq f_0$.

Γι αυτό το λόγο κατά το συντονισμό η μεταφορά ενέργειας στο σύστημα ταλάντωσης χίνε-ται μέχλιτη με συνέπεια και το πλάτος της ταλάν-τωσης να χίνεταί μέχλιτο.

Αυτό εννοούμε όταν λέμε ότι κατά το συντο-νισμό η ενέργεια μεταφέρεται στο σύστημα κα-τά το βέλτιτο τρόπο.

Το σύστημα ανάρτησης των αυτοκινήτων.

Κατά την κίνηση ενός αυτοκινήτου οι διάφο-ρες ανωμαλίες του δρόμου λειτουργούν ως διεξέρ-τες αναγκάζοντας το αυτοκίνητο, μέγω του συστή-ματος ανάρτησης, σε ταλάντωση.

Όμως, όσο χρόνο το όχημα ταλαντώνεται οι ρόδες έχουν λιχότερη επαφή με το οδόστρωμα με συνέπεια το όχημα να χάνει την ευστάθειά του και να χίνεταί έτσι επικίνδυνο χια την ασφάλεια των επιβατιών.

Το σύστημα ανάρτησης των αυτοκινήτων εί-ναι ένα σύστημα αποσβενύμενων ταλάντωσης.

Τα αμορτιζέρ, που τοποθετούν οι κατασκευα-στές στο σύστημα ανάρτησης, εξασφαλίζουν δύ-ναμη απόσβεσης - που εξαρτάται από την ταχύτη-τα - τέτοια ώστε όταν το αυτοκίνητο περνάει α-πό ένα εξόχκωμα ή λακούβα του δρόμου, η τα-λάντωση του να είναι φθίνουσα με αποτέλεσμα να μην ταλαντώνεται χια μέχλιτο χρονικό διάστη-μα.

Καθώς όμως, τα αμορτιζέρ παλιώνουν και φθείρονται, η τιμή της σταθεράς απόσβεσης b ελαττώνεται και η ταλάντωση του οχήματος διαρκεί περιβρότερο.

Η όθρορά αυτή μειώνει την ασφάλεια του οχήματος διότι στην περίπτωση αυτή οι τροχοί έχουν λιχότερη επαφή με το οδόστρωμα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Σημείωση

Σ' ένα αυτοκίνητο, κατά την κίνησή του, θα πρέπει να εξασφαλίεται εκτός από την ασφάλεια και η άνεση των επιβατών.

Με το σύστημα ανάρτησης με αμορτισέρ αυτό επιτυγχάνεται διότι έτσι τα "τμήματα" των τροχών στις διάφορες ανωμαλίες του δρόμου δε μεταφέρονται στους επιβάτες και το ταξίδι γίνεται πιο άνετο.

B. Ηλεκτρικές

Αν ένα κύκλωμα LC ενεργοποιηθεί - διεκερθεί - π.χ με βτιχμαία επαφή των οπλισμών του πυκνωτή με τους πόλους μίας πηχής συνεχούς τάσης, εκτελεί ελεύθερη Η.Τ με συχνότητα ταλάντωσης ίση με την ιδιοσυχνότητα f_0 του κυκλώματος

Αν η αντίσταση R του κυκλώματος είναι:

- α. μηδέν - $R=0$ - η ταλάντωση είναι αμείωτη.
- β. διάφορη του μηδενός - $R \neq 0$ - η ταλάντωση είναι αποσβενύμενη.

Ένα κύκλωμα LRC μπορεί να εκτελέσει Ε.Τ και ως διεκέρτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία πηχή εναλλαβόμενης τάσης.

Στην περίπτωση αυτή το κύκλωμα διαρρέεται από εναλλαβόμενο ρεύμα με συχνότητα f_s ίση με τη συχνότητα της εναλλαβόμενης τάσης.

Το πλάτος του ρεύματος στο κύκλωμα εξαρτάται από την τιμή της αντίστασης R και τη συχνότητα f_s .

Για ορισμένη τιμή της R το πλάτος του ρεύματος παίρνει τη μέγιστη τιμή του όταν $f_s = f_0$.

Τότε έχουμε συντονισμό.

Η μέγιστη τιμή I_s του πλάτους της έντασης

του ρεύματος κατά το συντονισμό εξαρτάται από την τιμή της αντίστασης R . Αύξηση της R συνεπάσεται μείωση του πλάτους I_e του ρεύματος κατά το συντονισμό.

Δηλαδή αν $R_1 < R_2 \rightarrow I_e(1) > I_e(2)$.

Όταν $R=0$, τότε η I_e τείνει - θεωρητικά - στο άπειρο.

Στην περίπτωση που ο διεχέρτης του κυκλώματος είναι μία πηγή εναλλαζόμενης τάσης πλάτους V_0 , τότε στην κατάσταση συντονισμού αποδεικνύεται ότι είναι, $I_e = V_0 / R$.

Εφαρμοχές του συντονισμού

Ο συντονισμός λαμβάνεται πολύ σοβαρά υπόψη σε πολλές εφαρμοχές που αφορούν στην καθημερινή μας ζωή.

1. Αν μία ομάδα ανθρώπων κινηθεί με συγχρονισμένο βηματισμό πάνω σε μία χέφουρα, η χέφουρα διεχειρείται και εκτελεί Ε.Τ. Αν η συχνότητα βηματισμού είναι ίση με την ιδιοσυχνότητα της χέφουρας, έχουμε συντονισμό, η χέφουρα ταλαντώνεται με μεγάλο πλάτος και υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης. Έτσι όταν π.χ ένα τμήμα στρατού περνάει πάνω από χέφουρα, οι στρατιώτες προχωρούν με ελεύθερο βηματισμό.

2. Στη διάρκεια ενός σεισμού το έδαφος πάλλεται με συχνότητα f και τα κτίρια εξαναγκάζονται να εκτελέσουν ταλάντωση. Αν η συχνότητα f με την οποία πάλλεται το έδαφος - διεχέρτης - είναι ίση με την ιδιοσυχνότητα f_0 ενός κτιρίου το πλάτος της ταλάντωσης του κτιρίου θα γίνει μεγάλο, σχεδόν που θα οδηγήσει στην κατάρρευσή του.

3. Όταν η συχνότητα ενός ηχητικού κύματος χίνει ίση με την ιδιοσυχνότητα ενός χυάλινου αντικειμένου π.χ ένα κρυστάλλινο ποτήρι, τα τλάσματα παράθυρα ενός κτιρίου, το χυάλινο αντικείμε-

νο ταλαντώνεται με το μέγιστο δυνατό πλάτος και τελικά σπάζει.

4. Δύο κυκλώματα βρίσκονται σε επαγωγική σύνδεση στην περίπτωση που αν διεξέρουμε το ένα σε Η.Τ διεξέρεται σε Η.Τ και το άλλο.

Κάθε ραδιοφωνικός σταθμός - Ρ/Σ - εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά - Η.Μ - κύματα σε ορισμένη συχνότητα. Στην κεραία ενός ραδιοφώνου κάθε στιγμή φτάνουν Η.Μ κύματα με διαφορετικές συχνότητες που προέρχονται από διαφορετικούς Ρ/Σ.

Η επιλογή ενός Ρ/Σ στο ραδιόφωνο επιτελείται στο φαινόμενο του συντονισμού.

Όταν κυρίουμε το κουμπι επιλογής των σταθμών ε' ένα ραδιόφωνο μεταβάλλουμε τη χωρητικότητα ενός μεταβλητού πυκνωτή. Ο πυκνωτής αυτός είναι μέρος ενός κυκλώματος LC το οποίο βρίσκεται σε επαγωγική σύνδεση με την κεραία του ραδιοφώνου.

Στην κεραία τα Η.Μ κύματα που φτάνουν από τους διάφορους Ρ/Σ αναχαιτίζουν τα ηλεκτρόνια της να εκτελέσουν ταλάντωση.

Η ταλάντωση των ελεύθερων ηλεκτρονίων της κεραίας δημιουργεί ε' αυτή ένα πολύ ασθενές μεταβαλλόμενο ρεύμα. Εξαιτίας της επαγωγικής σύνδεσης μεταξύ της κεραίας και του κυκλώματος LC το κύκλωμα LC εξαναγκάζεται να εκτελέσει Η.Τ. Το πλάτος του ρεύματος της Η.Τ είναι αθίμαντο εκτός εάν έχουμε συντονισμό.

Μεταβάλλοντας όμως τη χωρητικότητα του πυκνωτή στο κύκλωμα LC μεταβάλλουμε την ιδιοσυχνότητά του. Όταν η ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος LC συμπίπτει με κάποια από τις συχνότητες με τις οποίες ταλαντώνονται τα ηλεκτρόνια της κεραίας - δηλαδή με κάποια από τις συχνότητες των Η.Μ κυμάτων τα οποία φθάνουν στην κεραία - δηλαδή με κάποια από τη συχνότητα εκπομπής ενός Ρ/Σ - το κύκλωμα LC συντονίζεται και διαρρέεται από εναλλαγόμενο ρεύμα μέγιστου πλά-

τους. Αυτό το εχέτικα μεγάλο ρεύμα, περιέχει το ηλεκτρικό έημα, το οποίο, ενισχυμένο, οδηγείται στο μεχάφωνο του ραδιοφώνου και το διεχέρει.

Ερωτήσεις

1. Πότε λέμε ότι δύο συστήματα ταλαντώσεων βρίσκονται σε σύζευξη. Να αναφέρετε ένα παράδειγμα συζευχμένων συστημάτων.
2. Τι θα συνέβαινε αν όλοι οι Ρ/Σ του Βόλου εξέπεμπαν στην ίδια συχνότητα;
3. Η Η.Τ που εκτελεί το κύκλωμα του πομπού ενός Ρ/Σ — ή του δέκτη ενός ραδιοφώνου — είναι αμείωτη ή φθίνουσα;
4. Γιατί η Εε ενός συστήματος που εκτελεί Ε.Τ εξαρτάται τόσο από την f_{δ} όσο και από την f_0 ;

Απαντήσεις

1. Βρίσκονται σε σύζευξη στην περίπτωση που, αν θέσουμε σε ταλάντωση το ένα από αυτά, τότε αρχίζει να ταλαντώνεται και το άλλο.

Αν πρόκειται για συστήματα Η.Τ η σύζευξη χαρακτηρίζεται επαχθική!

Σύζευξη έχουμε στην εκπομπή και στη λήψη Η.Μ κυμάτων, όπου οι κεραιές πομπού και δέκτη είναι συζευχμένες.

2. Ένα ραδιοφώνο — δέκτης — στην προσπάθεια κάποιου να αμύσει κάποιο Ρ/Σ θα βρισκόταν σε συντονισμό με τα Η.Μ κύματα εκπομπής όλων των Ρ/Σ ταυτόχρονα με αποτέλεσμα να μην μπορεί να αμύσει κανένα Ρ/Σ.

3. Είναι αμείωτη γιατί πρόκειται για Ε.Τ.

4. Η Εε ενός ταλαντούμενου συστήματος δίνεται από τη σχέση $E_e = DA^2/2$, όπου D η σταθερά επαναφοράς και A το πλάτος της ταλάντωσης.

Σε μία Ε.Τ όμως το πλάτος A εξαρτάται από τη σχέση της συχνότητας f_{δ} του διεχέρτη με την ιδιοσυχνότητα f_0 του ταλαντούμενου συστήματος.

Όσο πιο κοντά στην f_0 βρίσκεται η f_s - όπως προκύπτει από την καμπύλη συντονισμού - τόσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος της Ε.Τ, άρα και η Ε.Τ.

Προσοχή

1. Σε μία Ε.Τ - όπως προκύπτει από την καμπύλη συντονισμού - όταν η διαφορά $|f_0 - f_s|$:

- α. αυξάνεται το πλάτος μειώνεται,
- β. μειώνεται το πλάτος αυξάνεται

χ. το πλάτος παίρνει τη μέγιστη τιμή του όταν $|f_0 - f_s| = 0 \leftrightarrow f_s = f_0$.

2. Όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω ^{4. Ζητήση} για τις Ε.Μ.Τ ισχύουν εφόσον οι αποσβέσεις είναι μικρές - $b \leq 1$ - οπότε συντονισμό έχουμε όταν $f_s = f_0$.

3. Προκειμένου ένα σύστημα να εκτελεί ταλαντώση ίδια με αυτή που θα εκτελούσε αν δεν υπήρχαν αποσβέσεις θα πρέπει να διαχειριζόμαστε το σύστημα με συχνότητα ίση με την ιδιοσυχνότητά του, ώστε η δύναμη διέχερσης να είναι κάθε στιγμή αντίθετη από τη δύναμη απόσβεσης - όπως δείξαμε παραπάνω - και άρα να την εξοδεύει.

4. Σε μία Ε.Μ.Τ γενικά δεν ισχύει η Α.Δ.Μ.Ε. Αυτό είναι αναμενόμενο εφόσον η F_b και η F_s δεν είναι δυνάμεις συντηρητικές με συνέπεια το έργο τους να μην μπορεί να εκφραστεί ως μεταβολή κάποιας δυναμικής ενέργειας.

Επομένως:

α. Όταν μιλάμε για δυναμική ενέργεια σε μία Ε.Μ.Τ εννοούμε τη δυναμική ενέργεια που οφείλεται στη δύναμη επαναφοράς, δηλαδή τη συνισταμένη των συντηρητικών δυνάμεων αλληλεπίδρασης του ταλαντωτή με το περιβάλλον του.

β. Σε μία Ε.Μ.Τ η Α.Δ.Μ.Ε ισχύει μόνο στην κατάσταση συντονισμού όπου η F_s είναι κάθε

επιχειρήματα αντίθετα της F_b και επομένως την εξισώ-
 δετεριώνει.

Συνεπώς στις Ε.Μ.Τ η μέγιστη δυναμική
 ενέργεια της ταλάντωσης $U_{\max} = DA^2/2$ δεν
 είναι ίση με τη μέγιστη κινητική ενέργεια
 $K_{\max} = m v_0^2/2 = m \omega_s^2 A^2/2$ παρό μόνο στην
κατάσταση συντονισμού.

5. Σε μία Ε.Μ.Τ, όπου ω_s, ω_0 είναι η κυκλι-
 κή συχνότητα διεκέρσης και η κυκλική ιδιοσυ-
 χνότητα αντίστοιχα λέχεται ότι:

$$x = A \eta \mu(\omega_s t + \phi_0),$$

$$v = v_0 \theta \nu \nu(\omega_s t + \phi_0), \text{ όπου } v_0 = \omega_s \cdot A,$$

$$a = -a_0 \eta \mu(\omega_s t + \phi_0), \text{ όπου } a_0 = \omega_s^2 \cdot A,$$

$$F_b = -b v = -b \cdot v_0 \theta \nu \nu(\omega_s t + \phi_0),$$

$$U = D x^2/2 = m \omega_0^2 x^2/2,$$

$$K = m v^2/2.$$

A. Ζαφεινάκης