



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

ΣΧΕΔΙΑΣΗ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ ΤΑΛΑΝΤΩΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΝΙΝΟΥΔΗ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

A.M. 2011033

Επιβλέπων : Ιωάννης Λιαπέρδος



ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

"Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάση επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στην Πτυχιακή μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Τίτλου Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Πτυχιακή Εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δε μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας."

Όνομα και Επώνυμο Συγγραφέα (Με Κεφαλαία):

ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΝΙΝΟΥΔΗΣ

Υπογραφή (Ολογράφως, χωρίς μονογραφή):

ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΝΙΝΟΥΔΗΣ

Ημερομηνία (Ημέρα – Μήνας – Έτος):

19-10-2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ιωάννη Λιαπέρδο, για τη πτυχιακή εργασία που μου ανέθεσε καθώς και τις βοήθειες που έλαβα για την πραγματοποίηση και τελειοποίηση της πτυχιακής μου εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογενειά μου, διότι χωρίς αυτή δεν θα είχα σπουδάσει σ' αυτή την σχολή και επίσης για την πολύτιμη συμπαράσταση που μου έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια σπουδών.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τη κοπέλα μου και τους φίλους μου οι οποίοι και αυτοί με την σειρά τους με στήριξαν ξεχωριστά ο καθένας τους με τον δικό τους μοναδικό τρόπο.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αυτή η πτυχιακή εργασία αποτελεί το τέλος των σπουδών μου στο Τ.Ε.Ι. Πελοποννήσου, τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε. και είναι μια εργασία πάνω στο σχεδιασμό και στη κατασκευή κυκλωμάτων αρμονικών ταλαντωτών διαφόρων τύπων (ολίσθησης φάσης, ορθογώνιοι κ.λπ.), με την χρήση τελεστικών ενισχυτών ενεργών στοιχείων. Στο πρώτο κεφάλαιο δίνονται κάποιες εισαγωγικές γνώσεις και ορισμοί πάνω στην Ηλεκτρονική στο ηλεκτρικό ρεύμα και σε όσα θα αναπτύξουμε στη συνέχεια πάνω στα κυκλώματα, στους ταλαντωτές και συγκεκριμένα στους αρμονικούς ταλαντωτές, στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύουμε τα κυκλώματα και τους ενισχυτές που υπάρχουν και που χρησιμοποιούνται στη πορεία για τον σχεδιασμό των κυκλωμάτων των αρμονικών ταλαντωτών, στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ταλαντωτές που υπάρχουν μέχρι και σήμερα και γίνεται μια μικρή έρευνα πάνω σ' αυτούς, στη συνέχεια αναλύονται οι αρμονικοί ταλαντωτές και οι τύποι των αρμονικών ταλαντωτών που υπάρχουν. Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο με την βοήθεια και του προγράμματος TINA-TI σχεδιάζουμε και στη συνέχεια περνάμε σε προσομοίωση τα κυκλώματα των αρμονικών ταλαντωτών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ.....	8
1.1 Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ.....	9
1.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ.....	10
1.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΝΟΙΩΝ.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ.....	
2.1 ΚΥΚΛΩΜΑ.....	15
2.2 ΕΙΔΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ.....	17
2.3 ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ.....	19
2.4 ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ & ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ.....	24
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	25
3.1.1 ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ.....	25
3.1.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ.....	27
3.2 ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ.....	30
3.2.1 ΣΥΝΤΟΝΙΖΟΜΕΝΟΙ ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ	
ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ.....	32

3.2.2 ΜΗ ΣΥΝΤΟΝΙΖΟΜΕΝΟΙ ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ.....	34
3.3 ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ ΤΑΛΑΝΤΩΤΩΝ.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ ΤΑΛΑΝΤΩΤΩΝ.....	43
4.1 ΟΡΘΟΓΩΝΙΟΣ ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ.....	44
4.2 ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ ΜΕ ΓΕΦΥΡΑ WIEN.....	50
4.3 ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΦΑΣΗΣ.....	54
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	62

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μέρα με την μέρα η τεχνολογία αναπτύσσεται συνεχώς ως προς την τηλεπικοινωνία και τις ηλεκτρονικές συσκευές. Οι ταλαντωτές και κυρίως οι αρμονικοί ταλαντωτές είναι ένα τμήμα πολλών ηλεκτρονικών συστημάτων. Είναι ιδιαίτερα σημαντικοί γιατί παράγουν κάποιο σήμα εξόδου χωρίς να έχουν κατ' ανάγκη σήμα εισόδου και επίσης παρέχουν σήματα συχνοτήτων, χρονισμού και ερεθισμού όπως ημιτονοειδή, τετραγωνικά, τριγωνικά κύματα. Επειδή χρησιμοποιούνται και σε πολλές ηλεκτρονικές συσκευές όπως παλμογράφους και ηλεκτρονικούς υπολογιστές υπάρχει μια ανάπτυξη στους ταλαντωτές οι οποίοι με την λειτουργικότητα τους βοηθάνε σε αυτήν την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών συσκευών.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

**ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ
ΓΝΩΣΕΙΣ**

1.1 Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

Πρίν συνεχίσουμε στην μελέτη και στον σχεδιασμό των αρμονικών ταλαντωτών θα ήταν καλό να αναλύσουμε την βάση που αποτελεί αυτό τον κλάδο και είναι η επιστήμη της Ηλεκτρονικής.

Η Ηλεκτρονική είναι η επιστήμη η οποία αποτελείται από πολλούς κλάδους και τεχνολογικές εφαρμογές και κυρίως τα τελευταία χρόνια έχουμε δει μεγάλη ανάπτυξη. Η ανθρώπινη ζωή έχει βελτιωθεί με την τεχνολογία των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής, είτε με τα κινητά τηλέφωνα, είτε με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, είτε με τα ραδιόφωνα και τις τηλεοράσεις, είτε με το διαδίκτυο. Με λίγα λόγια η Ηλεκτρονική αποτελεί ένα μεγάλο κομμάτι στη ζωή μας και στην καθημερινότητα μας.

Επίσης η Ηλεκτρονική σε γενικές γραμμές σύμφωνα με την επιστήμη της Φυσικής είναι ο κλάδος που ασχολείται τόσο με τη σχεδίαση όσο και με τη κατασκευή κυκλωμάτων και διαφόρων πρακτικών συσκευών όπου λειτουργούν με την βοήθεια ηλεκτρονίων και διαφόρων άλλων φορέων που διαθέτουν ηλεκτρική αγωγιμότητα, χρησιμοποιώντας διάφορα εξαρτήματα όπως τρανζίστορ, δίοδοι, κτλ.

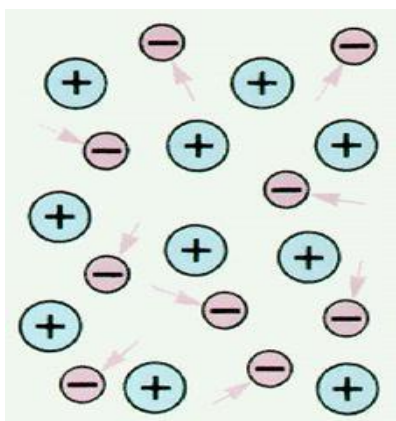
Οι χρήσεις αυτών των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων είναι κυρίως η διανομή και η μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας, ο έλεγχος συστημάτων, τόσο η επεξεργασία όσο και η διανομή πληροφοριών και τέλος η δημιουργία και ο έλεγχος

ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και παλμών.

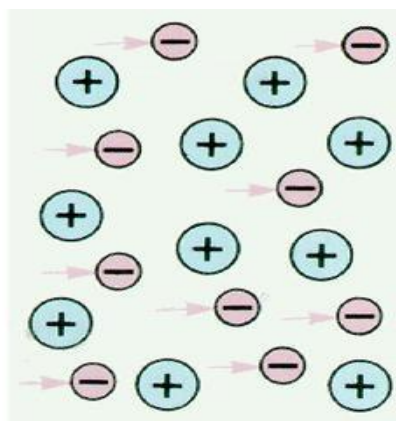
1.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

Για να λειτουργήσουν όλα αυτά τα ηλεκτρονικά κυκλώματα χρειάζονται την βοήθεια του ηλεκτρικού ρεύματος. Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η προσανατολισμένη κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων (ηλεκτρονίων) μέσα σε ένα αγωγό. Από αυτόν τον ορισμό καταλαβαίνουμε ότι για να εμφανιστεί χρειάζονται δύο προϋποθέσεις :

- Η ύπαρξη αυτών των ηλεκτρικών φορτίων με ελευθερία κίνησης είτε σε τυχαία κατεύθυνση, είτε στην ίδια. (Σχήμα 1, Σχήμα 2)
- Κάποιο ηλεκτρικό πεδίο όπου θα κινούνται τα ηλεκτρικά φορτία.



Σχήμα 1 Κίνηση ηλεκτρονίων σε τυχαίες κατευθύνσεις [1]



Σχήμα 2 Κίνηση ηλεκτρονίων προς την ίδια κατεύθυνση [1]

Το μέγεθος που μετρά το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος η οποία ορίζεται σε :

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

Όπου I είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, Q είναι το φορτίο και t ο χρόνος. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ο ρυθμός διέλευσης του. Μονάδα μέτρησης το Αμπέρ. Επίσης η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος δείχνει πόσο φορτίο περνά στη μονάδα του χρόνου.

Επίσης υπάρχουν δύο είδη ηλεκτρικού ρεύματος όπου αυτό εξαρτάται από την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος με το χρόνο. Αυτά είναι :

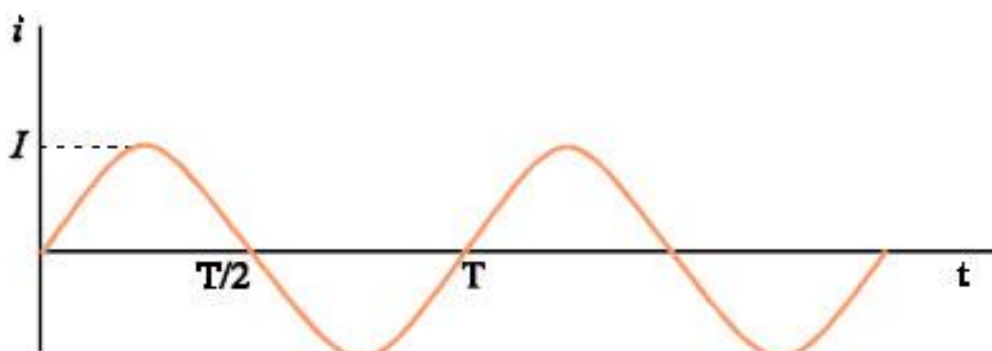
Συνεχές ρεύμα : Όπου είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που έχει μία συγκεκριμένη φορά (Σχήμα 3). Το συνεχές ρεύμα έχει σταθερό μέτρο έντασης, όπου λειτουργούν τα περισσότερα ηλεκτρικά ή ηλεκτρονικά κυκλώματα και παράγουν οι ίδιες οι μπαταρίες.



Σχήμα 3 Συνεχές ρεύμα [2]

Εναλλασσόμενο ρεύμα : Είναι το ηλεκτρικό ρεύμα στο οποίο εναλλάσσεται η φορά, με λίγα λόγια η φορά αλλάζει σε σχέση με

τον χρόνο (Σχήμα 4). Επίσης επικράτησε σε σχέση με το συνεχές ρεύμα λόγω της οικονομικότερης και ευκολότερης μεταδοσης που έχει καθώς και για την εύκολη μετατροπή της τάσης που διαθέτει σε χαμηλές και υψηλές τιμές.



Σχήμα 4 Εναλλασσόμενο ρεύμα [3]

1.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΝΟΙΩΝ

Πρίν συνεχίσουμε στην ανάλυση και στη σχεδίαση των αρμονικών ταλαντωτών, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε κάποιες έννοιες που θα συναντήσουμε παρακάτω.

Κύκλωμα : Ονομάζεται μία κλειστή αγωγή για το ηλεκτρικό ρεύμα διαδρομή.

Σχεδίαση κυκλωμάτων : Είναι η διαδικασία επιλογής εξαρτημάτων, καθώς και ο τρόπος που συνδέονται μεταξύ τους,

ώστε να λειτουργούν αναλόγως με τις ανάγκες επίλυσης ενός προβλήματος.

Κατασκευή κυκλωμάτων : Ακολουθεί την σχεδίαση κυκλωμάτων και είναι η μεταφορά του εικονικού κυκλώματος που έχει σχεδιαστεί προηγουμένως σε πραγματικό περιβάλλον με σύνδεση εξαρτημάτων.

Ταλάντωση : Ο όρος ταλάντωση χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε παλινδρομική μεταβολή οποιοδήποτε φυσικού μεγέθους γύρω από μία τιμή.

Ταλαντωτής : Το σύστημα το οποίο εκτελεί ταλάντωση.

Αρμονικός ταλαντωτής : Είναι ένα παράδειγμα περιοδικής κίνησης ή μεταβολής γιατί χρησιμεύει ως ακριβές πρότυπο σε πολλά προβλήματα.

Ενισχυτής : Αποκαθιστά τη στάθμη του ηλεκτρικού σήματος στην αρχική ή στην επιθυμητή τιμή και δεν επιτρέπει την εξασθένησή του.

Τελεστικός ενισχυτής : Χαρακτηρίζεται ένας ενισχυτής τάσης με πολύ μεγάλο κέρδος και απαιτεί τροφοδοσία dc (συνεχές ρεύμα) για να λειτουργήσει.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ & ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ

2.1 ΚΥΚΛΩΜΑ

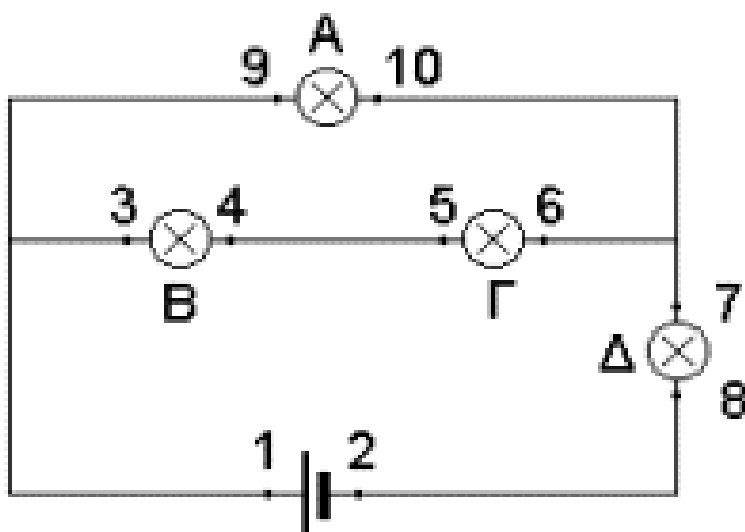
Στο προηγούμενο κεφάλαιο δώσαμε τους όρους εννοιών ενός κυκλώματος και ενός ενισχυτή και σ' αυτό θα αναλύσουμε λίγα χαρακτηριστικά για το καθένα.

Ξεκινώντας με το κύκλωμα υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά και είναι τα στοιχεία που το αποτελούν τα οποία ονομάζονται ηλεκτρικά στοιχεία. Τα ηλεκτρικά στοιχεία χωρίζονται σε τρία βασικά είδη τα οποία είναι τα παραγωγικά, οι αγωγοί και τα καταναλωτικά ηλεκτρικά στοιχεία. Ας αναλύσουμε τώρα το καθένα ξεχωριστά :

- **Παραγωγικά ηλεκτρικά στοιχεία :** Είναι οι πηγές στις οποίες οφείλεται η ηλεκτρεγερτική δύναμη, η οποία είναι η κύρια αιτία του ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα, δηλαδή οι πηγές δημιουργούν ηλεκτρικό πεδίο έτσι ώστε να ασκούνται δυνάμεις στα ηλεκτρόνια και να δημιουργείτε έτσι το ηλεκτρικό ρεύμα.
- **Αγωγοί :** Είναι σύρματα γυμνά ή μονωμένα τα οποία μεταφέρουν το ηλεκτρικό ρεύμα από τις πηγές εκεί που χρειάζεται να πάει.

- **Καταναλωτικά ηλεκτρικά στοιχεία :** Είναι οι συσκευές όπου καταναλώνουν το ηλεκτρικό ρεύμα για να εκτελέσουν κάποια λειτουργία όπως για παράδειγμα ο φωτισμός.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5), φαίνεται ένα απλό κύκλωμα στο οποίο υπάρχει η πηγή, τα Α, Β, Γ, Δ είναι οι συσκευές που καταναλώνουν το ρεύμα της πηγής (λάμπες) και στους αριθμούς 1,2,3,4,5,6,7,8 είναι οι συνδέσεις των αγωγών.



Σχήμα 5 Απλό κύκλωμα. [4]

Για να καταλάβουμε ακριβώς τους συμβολισμούς που αναπαρηστώνουν ένα κύκλωμα θα ήταν καλό να τους γνωρίζουμε, γι' αυτό και η παρακάτω εικόνα μας δίνει το κάθε ηλεκτρικό στοιχείο πώς συμβολίζεται (Εικόνα 1).

	πηγή συνεχούς ρεύματος
	πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος
	αγωγός
	γείωση
	αγωγοί που δε συνδέονται
	αγωγοί που συνδέονται
	ανοιχτός διακόπτης
	κλειστός διακόπτης
	συσκευή Σ
	αντιστάτης
	αντιστάτης μεταβλητής αντίστασης
	λάμπα
	πυκνωτής
	πολομένος πυκνωτής
	πηνείο
	πηνείο με μεταλλικό πυρήνα
	δίοδος
	κρυσταλλοδίοδος
	ηχείο

Εικόνα 1 Συμβολισμοί ηλεκτρικών στοιχείων ενός κυκλώματος. [E1]

2.2 ΕΙΔΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Τα κυκλώματα διαχωρίζονται σε ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά. Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα αποτελούνται από ημιαγωγούς ηλεκτρικού ρεύματος και τις παραλλαγές τους ενώ τα υπόλοιπα είναι τα ηλεκτρικά κυκλώματα. Παρ' όλα αυτά τα τελευταία χρόνια υπάρχουν σε ηλεκτρονικά κυκλώματα

ηλεκτρικά στοιχεία (τα πηνία στην μητρική πλακέτα ενός υπολογιστή) και σε ηλεκτρικά κυκλώματα υπάρχουν ηλεκτρονικά στοιχεία (μικροαντιστάτες).

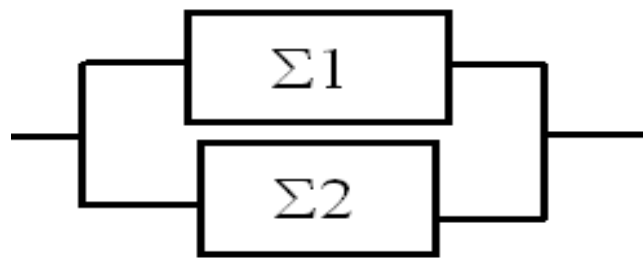
Στα κυκλώματα επίσης υπάρχουν τρία βασικά μέρη τα οποία είναι :

- **Κόμβος :** Σημείο στο οποίο υπάρχουν περισσότεροι από 2 αγωγοί.
- **Κλάδος:** Μέρος ενός κυκλώματος μεταξύ δύο διαδοχικών κόμβων.
- **Βρόχος :** Μέρος ενός κυκλώματος που αποτελείται από διαδοχικούς κλάδους σχηματίζοντας μία κλειστή διαδρομή.

Κάθε συσκευή περιέχει ακροδέκτες, σημεία με τα οποία συνδέεται στο κύκλωμα. Αν σε ένα κύκλωμα θέλουμε να συνδέσουμε και άλλη μια συσκευή δύο ακροδεκτών στο κύκλωμα, τότε μπορούμε είτε να την τοποθετήσουμε σε ένα κόμβο (σύνδεση σε σειρά, Σχήμα 6) ή να την συνδέσουμε εφαρμόζοντας τους δέκτες σε δύο ξεχωριστούς κόμβους (σύνδεση παράλληλα, Σχήμα 7). Συνοψίζοντας εάν δύο συσκευές είναι συνδεδεμένες σε σειρά, σημαίνει ότι σχηματίζουν ένα κλάδο με δύο άκρα, ενώ παράλληλα σημαίνει ότι σχηματίζουν ένα κόμβο.



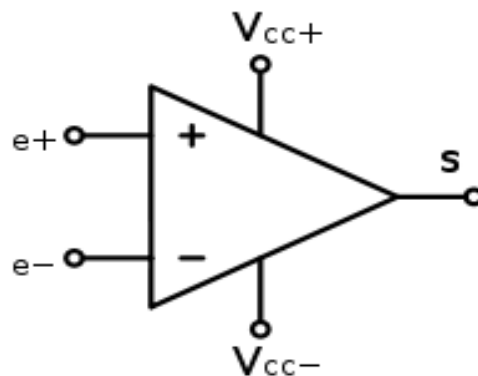
Σχήμα 6 Συσκευές συνδεδεμένες σε σειρά στο κύκλωμα. [5]



Σχήμα 7 Συσκευές συνδεδεμένες παράλληλα στο κύκλωμα. [5]

2.3 ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ

Όπως είπαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο ο ενισχυτής είναι μια ηλεκτρική ή ηλεκτρονική συσκευή όπου ενισχύει το ηλεκτρικό σήμα (Σχήμα 8).



Σχήμα 8 Σύμβολο ηλεκτρονικού ενισχυτή τροφοδοσίας V_{cc} εισόδου e^+ e^- και εξόδου s [6]

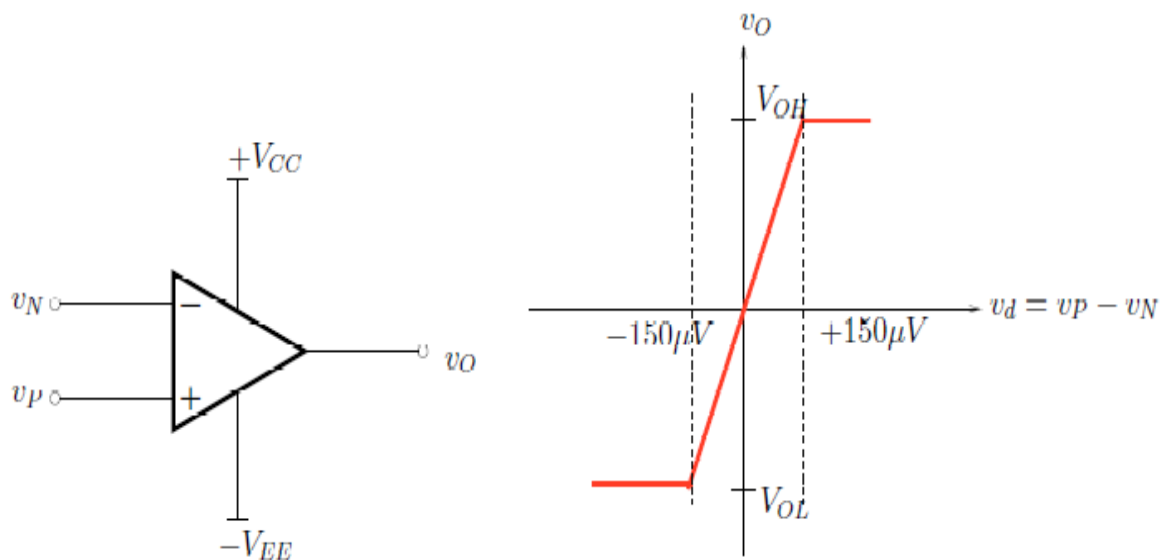
Αποτελείται από τέσσερις εισόδους, μία κανονική έξοδο και μία γειωμένη έξοδο. Οι δύο πρώτες εισοδοί διαμορφώνουν μία διαφορά δυναμικού στον ενισχυτή, έτσι ώστε η τάση που εξέρχεται να είναι ίση με την διαφορά δυναμικού επί τον συντελεστή ενίσχυσης υπό άλλες συνθήκες. Οι άλλες δύο εισοδοί εισάγουν στον ενισχυτή δύο συμμετρικές τάσεις με βάση τις οποίες λειτουργεί η ενίσχυση.

Το κύκλωμα ενός ενισχυτή εκτός από κάποια στοιχεία, αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία πρέπει να περιέχει και ένα τουλάχιστον ενεργό στοιχείο όπου τον ρόλο αυτό τον είχαν στην αρχή οι τρίοδοι λυχνίες και στη συνέχεια τα τρανζίστορ.

2.4 ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ

Ένα από τα είδη των ενισχυτών που θα αναλύσουμε είναι ο τελεστικός ενισχυτής. Όπως είπαμε ο τελεστικός ενισχυτής είναι ένας ενισχυτής τάσης με μεγάλο κέρδος. Το κέρδος μπορεί να παίρνει μεγάλες τιμές όπως 10^4 και 10^6 . Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτόνομα σε ένα αναλογικό κύκλωμα και χρησιμεύει σαν μοντέλο αφαιρετικής λειτουργίας στην περίπτωση των ολοκληρωμένων αναλογικών κυκλωμάτων. Στη

συνέχεια η υλοποίηση του με τρανζίστορ προσαρμόζεται, έτσι ώστε να ταιριάζει στις ανάγκες της εφαρμογής.



Σχήμα 9 Ο σχηματικός συμβολισμός του τελεστικού ενισχυτή μαζί με ένα παράδειγμα της χαρακτηριστικής εισόδου-εξόδου του. [7]

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 9 ο τελεστικός ενισχυτής αποτελείται από δύο εισόδους, την αναστρέφουσα είσοδο U_N και τη μη αναστρέφουσα είσοδο U_P , επίσης υπάρχει και η έξοδος η U_{out} . Στο τελεστικό ενισχυτή, διακρίνονται επίσης και οι δύο τάσεις τροφοδοσίας $+V_{CC}$ και $-V_{EE}$ αντίστροφης πολικότητας. Συνήθως οι τάσεις τροφοδοσίας ενός τελεστικού ενισχυτή παραλείπονται σε κάποια σχηματικά μεγαλύτερων κυκλωμάτων.

Ενός τελεστικού ενισχυτή κύρια λειτουργία του είναι να ενισχύει την διαφορά δυναμικού μεταξύ U_P και U_N όπου ορίζεται

με το τύπο $U_D = U_P - U_N$ και ονομάζεται διαφορική τάση εισόδου. Η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή δίνεται από τον τύπο $U_0 = \alpha * U_D = \alpha * (U_P - U_N)$ όπου με α συμβολίζεται το κέρδος του τελεστικού ενισχυτή το οποίο μπορεί να λάβει μεγάλες τιμές.

Για παράδειγμα αν θέλουμε να βρούμε ποιά είναι η διαφορά δυναμικού U_D που προκαλεί μία δεδομένη τάση εξόδου U_{out} , τότε πρέπει να υπολογίσουμε τον λόγο $U_D = U_{out} / \alpha$. Αν $\alpha = 2 * 10^5$ και $U_{out} = 6V$ τότε η διαφορά δυναμικού στους ακροδέκτες της εισόδου που προκάλεσαν αυτή τη τάση στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή είναι $U_D = 6 / 2 * 10^5 = 30\mu V$. Με λίγα λόγια μια πολύ μικρή διαφορά δυναμικού στην είσοδο του τελεστικού ενισχυτή αρκεί για να δώσει στην έξοδό του μία μεγάλη τιμή.

Στο Σχήμα 9 παρατηρούμε επίσης πως η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή δεν μπορεί να ξεπεράσει τα όρια V_{OH} και V_{OL} που θέτουν οι τάσεις τροφοδοσίας $+V_{CC}$ και $-V_{EE}$. Έτσι στο σχήμα παρατηρούμε πως αν για παράδειγμα $V_{OH} = 15V$, $\alpha = 10^5$ και η διαφορά δυναμικού U_D ξεπεράσει τα $150\mu V$ τότε η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή φτάνει στη μέγιστη δυνατή τιμή η οποία είναι η V_{OH} . Αν στη περίπτωση που η έξοδος πιάσει είτε τη μέγιστη είτε την ελάχιστη τιμή της για δεδομένες τάσεις τροφοδοσίας, τότε λέμε πως ο τελεστικός ενισχυτής έχει εισέλθει

στη φάση του κορεσμού. Σχηματικά βλέπουμε πως όσο η διαφορική τάση εισόδου U_D παραμένει μικρότερη κατ' απόλυτη τιμή από τα $150\mu V$ τότε η έξοδος είναι γραμμικά εξαρτημένη από τη U_D . Όταν ξεπεραστεί αυτό το όριο, τότε η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή σταθεροποιείται στις δύο ακραίες τιμές ανεξάρτητα της εισόδου.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

**ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ &
ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ
ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ**

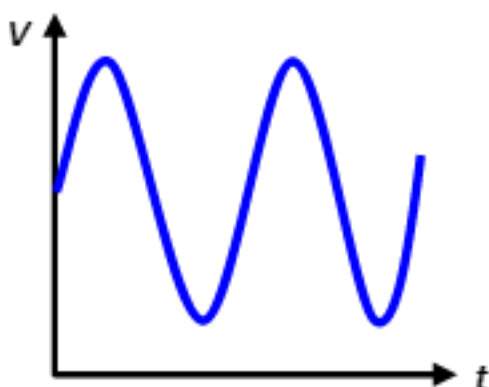
3.1 ΓΕΝΙΚΑ

3.1.1 ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ

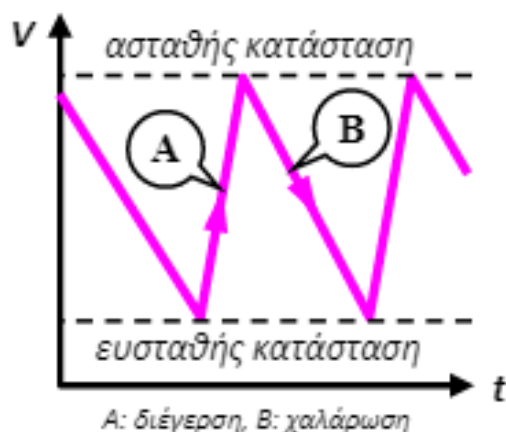
Ο ταλαντωτής και συγκεκριμένα οι ηλεκτρονικοί ταλαντωτές είναι ηλεκτρονικά κυκλώματα διαφόρων ειδών και τεχνολογιών, όπου παράγουν στην έξοδό τους περιοδικές κυματομορφές τάσης ή ρεύματος, χωρίς να χρειάζονται σήμα εισόδου. Την ισχύ που χρειάζονται για να παράγουν σήμα στην έξοδο χωρίς να παράγουν σήμα στην είσοδο, την απορροφούν από την τροφοδοσία τους. Τα ενεργά στοιχεία που περιέχουν μπορεί να είναι οι λυχνίες, τα τρανζίστορς διαφόρων ειδών ή τελεστικοί ενισχυτές για τους οποίους αναφερθήκαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι ταλαντωτές είναι πλέον από τα πιο χρήσιμα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικά εργαστηριακά όργανα όπως οι γεννήτριες σήματος ή οι γεννήτριες κυματομορφών, είτε γενικού σκοπού είτε ειδικού σκοπού. Υπάρχουν και σε εφαρμογές στα κυκλώματα πομπών και δεκτών στις τηλεπικοινωνίες, στα κυκλώματα χρονισμού των ψηφιακών υπολογιστών για παράδειγμα στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, στα βιοϊατρικά όργανα (υπέρηχοι, ακουστικά σήματα και άλλα), στον έλεγχο λειτουργίας και εντοπισμού

βλαβών άλλων ηλεκτρονικών συσκευών και σε άλλα πολλά πεδία. Οι ταλαντωτές χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες :

- **Αρμονικοί ταλαντωτές :** Παράγουν στην έξοδό τους ημιτονοειδείς κυματογραφές (Σχήμα 10).
- **Ταλαντωτές χαλάρωσης ή ανατροπής :** Παράγουν στην έξοδό τους περιοδικές κυματομορφές άλλου τύπου, όπως τριγωνικές, τετραγωνικές, πριονωτές και άλλες (Σχήμα 11).



Σχήμα 10 Διάγραμμα αρμονικού ταλαντωτή [8]



Σχήμα 11 Διάγραμμα ταλαντωτή χαλάρωσης ή ανατροπής [8]

Οι ταλαντωτές αρχικά αναπτύχθηκαν ως αναλογικά ηλεκτρονικά κυκλώματα. Σήμερα οι ταλαντωτές μπορούν να κατασκευαστούν και με ψηφιακά ηλεκτρονικά κυκλώματα όπως για παράδειγμα με τη σύνθεση ημιτονικού σήματος από ένα

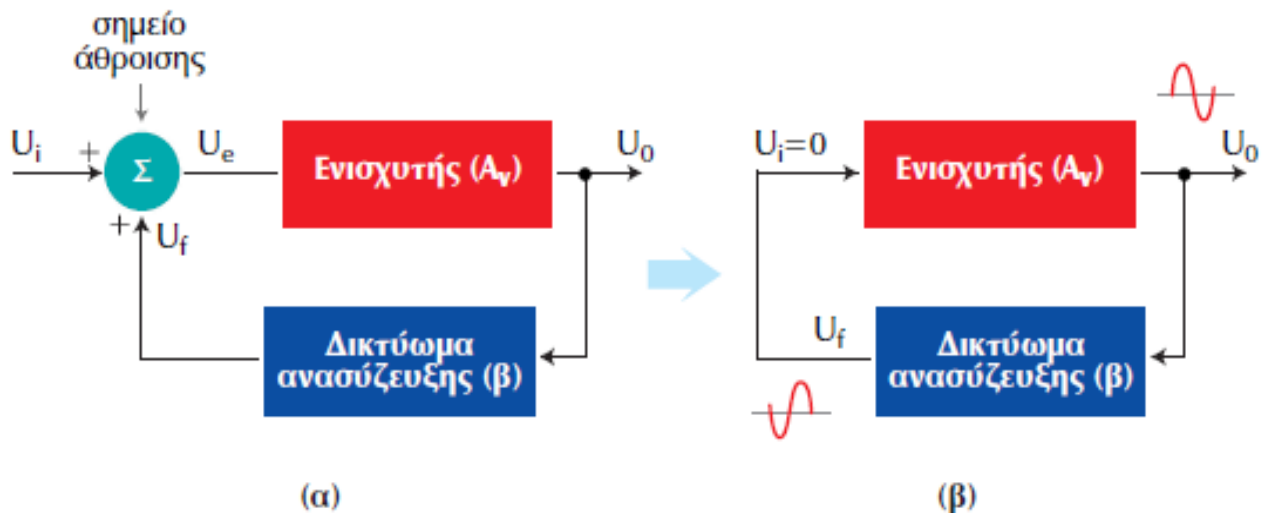
μικροεπεξεργαστή και ψηφιο-αναλογική μετατροπή του. Παρ' όλα αυτά, οι αναλογικοί ταλαντωτές χρησιμοποιούνται ακόμη ευρύτατα.

Επίσης χρησιμοποιούνται και σε συστήματα ακουστικών συχνοτήτων και στις τηλεπικοινωνίες. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν διάφορους ταλαντωτές συμπεριλαμβανομένων των κρυσταλλικών ταλαντωτών και των ταλαντωτών ελεγχόμενους από τάση (VCO). Οι ταλαντωτές με διακριτά στοιχεία έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα απέναντι σε πολλά ολοκληρωμένα συστήματα, για παράδειγμα σε πολλές περιπτώσεις οι ταλαντωτές με ολοκληρωμένα κυκλώματα δεν μπορούν να σχεδιαστούν σε υψηλές συχνότητες και μικρούς θορύβους, όπου είναι απαιτήσεις πολλών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Παρομοίως, οι ταλαντωτές όπου χρησιμοποιούνται στα συστήματα ήχου υψηλής ποιότητας πρέπει να έχουν υψηλή σταθερότητα και χαμηλό θόρυβο και γι αυτό σχεδιάζονται με διακριτά στοιχεία.

3.1.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 12β, διακρίνεται το δομικό διάγραμμα που έχει ένας τυπικός αρμονικός ταλαντωτής και στο

σχήμα 12α παρατηρούμε το δομικό διάγραμμα ενός ενισχυτή με ανασύζευξη.



Σχήμα 12α Δομικό διάγραμμα ενισχυτή με ανασύζευξη [9]

Σχήμα 12β Δομικό διάγραμμα ενός αρμονικού ταλαντωτή [9]

Το σύστημα αποτελείται από ένα ενισχυτή τάσης με ενίσχυση A_v , ένα δικτύωμα ανασύζευξης και ένα σημείο άθροισης. Η τάση εξόδου από το σημείο άθροισης δηλαδή το U_e είναι η διαφορά του σήματος εισόδου U_i μείον την τάση εξόδου της ανασύζευξης U_f ($U_i - U_f$). Οι σχέσεις που προκύπτουν από το διάγραμμα είναι οι εξής :

$$U_e = U_i + U_f$$

$$U_0 = A_v U_e$$

$$U_f = \beta U_0$$

Από τις εξισώσεις αυτές προκύπτει η σχέση :

$$\mathbf{A}_f \equiv \frac{U_0}{U_i} \equiv \frac{A_v}{1 - \beta A_v}$$

Η A_f είναι η ολική ενίσχυση με ανασύζευξη ή η ενίσχυση με κλειστό βρόχο, η A_v είναι η ενίσχυση χωρίς ανασύζευξη και βA_v η ενίσχυση του ανοικτού βρόχου. Από την εξίσωση $\mathbf{A}_f \equiv \mathbf{U}_0 / \mathbf{U}_i \equiv \mathbf{A}_v / 1 - \beta \mathbf{A}_v$ προκύπτει ότι αν $\beta A_v = 1$ τότε $|A_f| = |U_0 / U_i| = \infty$! Έτσι το σύστημα θα παράγει έξοδο $U_0 \neq 0$ χωρίς είσοδο ($U_i = 0$), οπότε θα λειτουργεί ως ταλαντωτής.

Η μιγαδική εξίσωση είναι :

$$\beta A_v = 1$$

όπου καλείται συνθήκη Barkhausen και είναι η συνθήκη για να έχουμε εκκίνηση ταλαντώσεων από το σύστημα. Αυτή η εξίσωση με την κατάλληλη μαθηματική επεξεργασία αποδεικνύεται ισοδύναμη με τις σχέσεις :

$$|\beta A_v| = 1$$

$$\varphi = 0^\circ \text{ (ή } 360^\circ \text{)}$$

όπου η φ είναι η διαφορά φάσης που εισάγει το συνολικό κύκλωμα ανοικτού βρόχου. Σύμφωνα με τις δύο αυτές εξισώσεις

προκύπτουν οι δύο συνθήκες που απαιτούνται να έχουν ταλάντωση :

- Το μέτρο της ενίσχυσης ανοικτού βρόχου βA_v πρέπει να είναι 1.
- Η ολική μεταβολή φάσης μέσω ανοικτού βρόχου πρέπει να είναι 0° ή 360° .

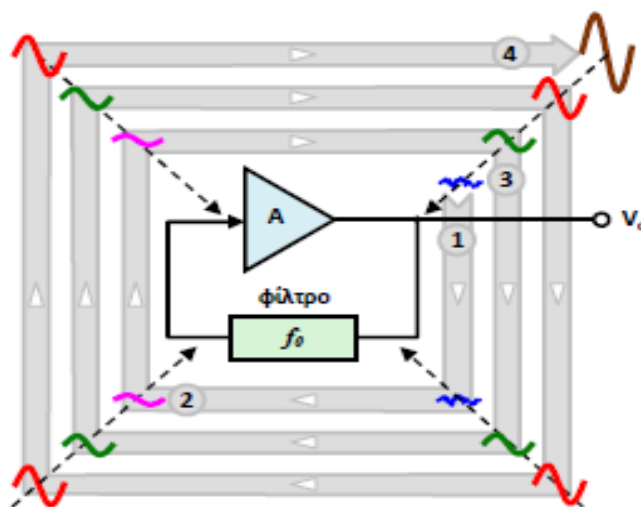
Αυτές οι δύο συνθήκες ονομάζονται κριτήρια ταλάντωσης Barkhausen.

Αν ο ενισχυτής του σχήματος 12 δημιουργεί μια μεταβολή φάσης 180° τότε το δικτύωμα ανασύζευξης πρέπει να δημιουργεί άλλες 180° διαφορά φάσης έτσι ώστε για να έχουμε ταλάντωση και η ολική μεταβολή φάσης του συστήματος ανοικτού βρόχου να είναι 360° (ή 0°).

3.2 ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ

Ένας αρμονικός ταλαντωτής στη βασική του μορφή αποτελείται από έναν ενισχυτή σε συνδεσμολογία κλειστού βρόχου και ένα κλάσμα στην έξοδο του οποίου ανατροφοδοτείται στην είσοδο μέσω ενός φίλτρου (Σχήμα 13). Το φίλτρο επιτρέπει τη διέλευση μιας στενής ζώνης συχνοτήτων με κεντρική τιμή

στην επιθυμητή συχνότητα f_0 του ταλαντωτή. Όταν το κύκλωμα συνδεθεί με την πηγή τροφοδοσίας του, η έξοδος του ενισχυτή περιέχει μόνο θόρυβο (οι κυματομορφές του σχήματος), ο οποίος υπάρχει σε όλα τα ηλεκτρικά κυκλώματα και αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό φασματικών συνιστωσών. Συνεχίζοντας κατα μήκος του κλειστού βρόχου ο θόρυβος διέρχεται από το φίλτρο, όπου καταπνίγονται όλες οι συνιστώσες του πλὴν της f_0 , δίνοντας έτσι ένα ασθενέστατο αρμονικό σήμα αυτής της συχνότητας στην έξοδο (κυματομορφή 2 στο σχήμα 13). Το σήμα ενισχύεται από τον ενισχυτή και ανατροφοδοτείται στο φίλτρο, μαζί με τον θόρυβο που έχει παραμείνει. Οι διαδοχικές επαναλήψεις της προηγούμενης διαδικασίας φιλτραρίσματος και ενίσχυσης πολύ γρήγορα οδηγούν στην κατάπνιξη του θορύβου και στην ανάδειξη του αρμονικού σήματος συχνότητας f_0 , με αρκούντως μεγάλο πλάτος.



Σχήμα 13 Βασική μορφή ενός αρμονικού ταλαντωτή

[8]

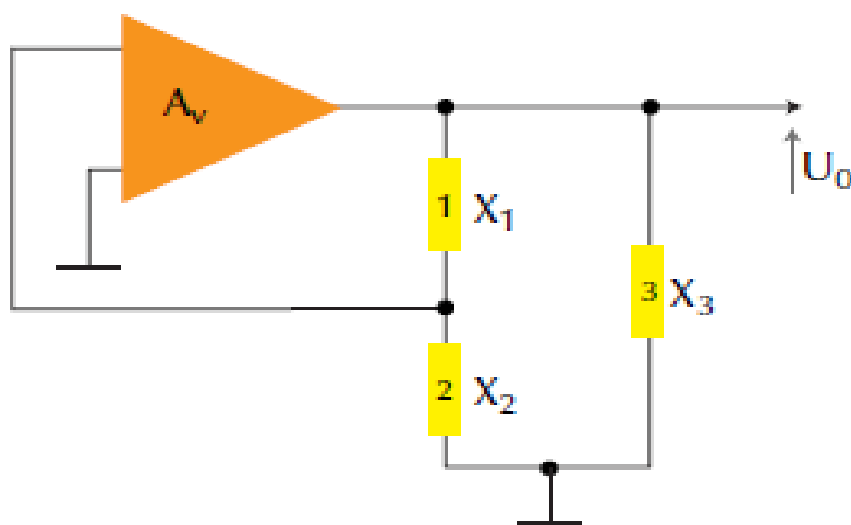
Η ενίσχυση της αρμονικής κυματομορφής ελέγχεται με την κατάλληλη εκμετάλλευση της μη γραμμικότητας των στοιχείων του κυκλώματος με τέτοιο τρόπο ώστε η συνολική απολαβή κατά μήκος του κλειστού βρόχου για την συχνότητα f_0 του επιθυμητού αρμονικού σήματος να είναι φθίνουσα συνάρτηση του πλάτους του σήματος αυτού. Με τον τρόπο αυτό, η απολαβή είναι πολύ μεγάλη όσο το πλάτος του σήματος είναι μικρό, το οποίο εξασφαλίζει την εκκίνηση της ταλάντωσης, μειώνεται όμως όσο το πλάτος του σήματος αυξάνεται.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες αρμονικών ταλαντωτών οι οποίες είναι οι συντονιζόμενοι και οι μη συντονιζόμενοι ταλαντωτές. Οι **συντονιζόμενοι αρμονικοί ταλαντωτές** αποτελούνται από ένα δικτύωμα συντονισμού LC και ένα ενεργό στοιχείο (τρανζίστορ), ενώ οι **μη συντονιζόμενοι αρμονικοί ταλαντωτές** από ένα ενεργό στοιχείο και ένα δικτύωμα RC.

3.2.1 ΣΥΝΤΟΝΙΖΟΜΕΝΟΙ ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ

Ονομάζονται και ταλαντωτές LC επειδή έχουν ως δικτύωμα ανασύζευξης κάποιο κύκλωμα συντονισμού LC συνδυασμένο

και με αντιστάσεις R . Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ραδιοσυχνοτήτων, με συχνότητες αρκετών εκατοντάδων kHz μέχρι αρκετών εκατοντάδων MHz. Κάποιοι από αυτούς τους ταλαντωτές είναι οι ταλαντωτές Colpitts, Hartley, Clapp. Η βασική δομή απεικονίζεται στο σχήμα 14, όπου αποτελείται από έναν ενισχυτή τάσης A_v και από ένα δικτύωμα ανασύζευξης που στη γενική περίπτωση περιλαμβάνει τρία κυκλωματικά στοιχεία 1, 2, 3 με μεσαία λήψη στο 1 και στο 2. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν ένα γενικό κύκλωμα συντονισμού.



Σχήμα 14 Βασική δομή συντονιζόμενου αρμονικού ταλαντωτή [9]

Σύμφωνα με την βασική δομή των συντονιζόμενων ταλαντωτών και με την βοήθεια των κριτηρίων Barkhausen

προκύπτει ότι για να έχουμε συντηρούμενες ταλαντώσεις με τους ταλαντωτές πρέπει να ισχύουν οι σχέσεις :

$$\mathbf{X_1 + X_2 + X_3 = 0}$$

$$\mathbf{A_v \geq 1 + \frac{X_1}{X_2}}$$

όπου X_1 , X_2 και X_3 είναι οι αντιστάσεις, με $X_k = j\omega L_k$ για καθαρές αυτεπαγωγές (πηνία) και $X_k = 1/j\omega C_k$ για καθαρές χωρητικότητες (πυκνωτές).

3.2.2 ΜΗ ΣΥΝΤΟΝΙΖΟΜΕΝΟΙ ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ

Η πραγματοποίηση ενός ταλαντωτή δεν υποστηρίζει απαραίτητα τη χρήση ενός συντονιζόμενου κυκλώματος L και C στο δικτύωμα ανασύζευξης, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και οποιοδήποτε άλλο δίκτυωμα που να περιέχει μόνο συνδυασμό στοιχείων R και C. Άρα μη συντονιζόμενο εννοούμε τον ταλαντωτή όπου τα στοιχεία του ικανοποιούν τις απαιτήσεις ανασύζευξης και μεταβολής φάσης των κριτηρίων Barkhausen.

Οι ταλαντωτές αυτοί είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι στις χαμηλές συχνότητες και στα ολοκληρωμένα κυκλώματα όπου δεν μπορούν ή δε συμφέρει να χρησιμοποιηθούν πηνία.

Χαρακτηριστικοί ταλαντωτές αυτής της κατηγορίας είναι ο ταλαντωτής ολίσθησης φάσης, ο ταλαντωτής γέφυρας Wien και ο ταλαντωτής με διπλό T.

3.3 ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ ΤΑΛΑΝΤΩΤΩΝ

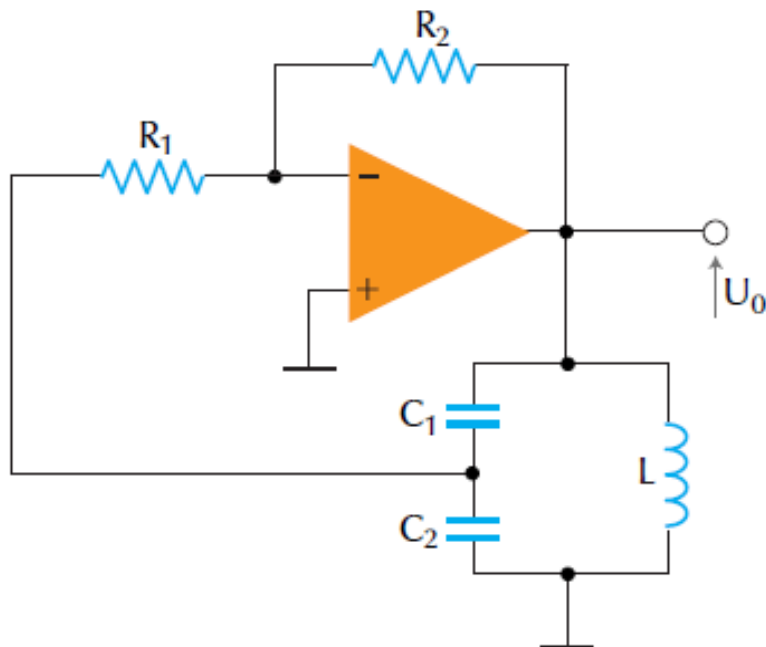
Σε αυτή τη παράγραφο θα περιγράψουμε κάποιους από τους αρμονικούς ταλαντωτές που αναφέραμε προηγουμένως.

Ταλαντωτής Colpitts

Το χαρακτηριστικό γνώρισμα ενός ταλαντωτή Colpitts είναι ότι αποτελείται από δύο πυκνωτές, C_1 και C_2 σε σειρά και το σύστημα τους παράλληλο προς το πηνίο L . Οι δύο πυκνωτές δημιουργούν ένα ac διαιρέτη τάσης και η τάση ανασύζευξης V_f είναι αυτή που αναπτύσσεται στα άκρα του C_2 και οδηγείται στον ενισχυτή απολαβής A_v .

Το σχήμα 15 απεικονίζει τον ταλαντωτή Colpitts με τελεστικό ενισχυτή. Ο τελεστικός ενισχυτής σύμφωνα με τα προηγούμενα που αναλύσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο δίνει

την απαραίτητη ενίσχυση για να έχουμε συντήρηση των ταλαντώσεων.



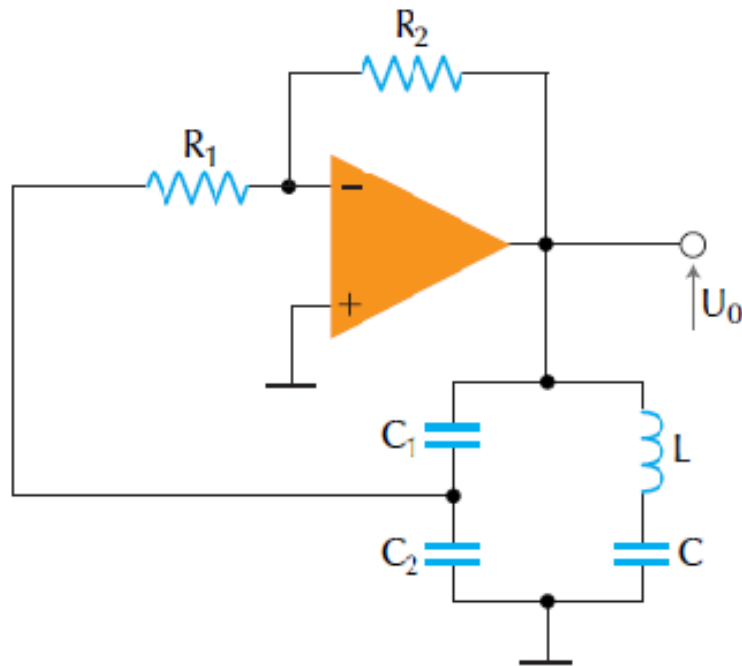
Σχήμα 15 Ταλαντωτής Colpitts με TE [9]

Ταλαντωτής Clapp

Αν τροποποιήσουμε τον ταλαντωτή Colpitts με τη σύνδεση ενός πυκνωτή C σε σειρά με το πηνίο L μας δίνει τον ταλαντωτή Clapp. Η προσθήκη του πυκνωτή βελτιώνει την σταθερότητα της ταλάντωσης και επίσης η σταθερότητα αυτή μπορεί να βελτιωθεί εάν χρησιμοποιήσουμε πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο. Η χωρητικότητα C μπορεί να είναι μεταβλητή έτσι ώστε να έχουμε μεταβλητή συχνότητα συντονισμού σε μία δεδομένη περιοχή

συχνοτήτων.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ο ταλαντωτής Clapp με τελεστικό ενισχυτή.



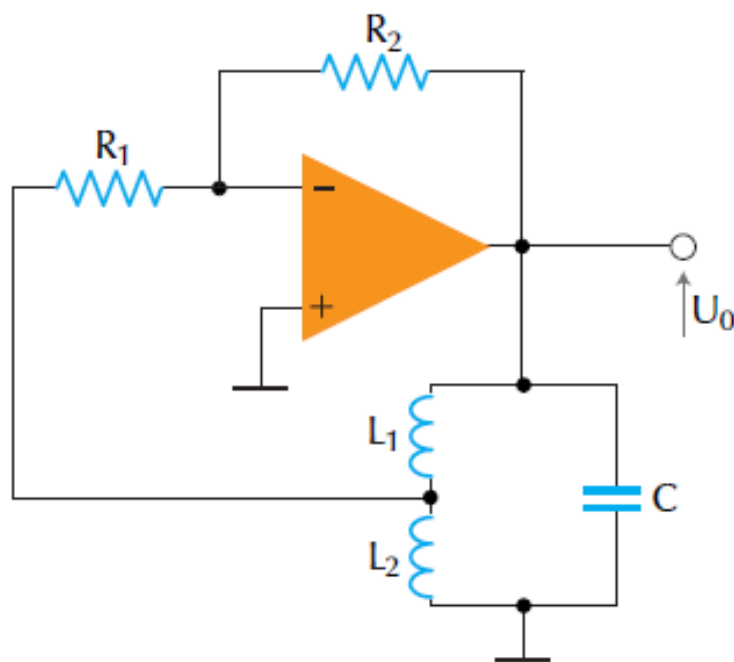
Σχήμα 16 Ταλαντωτής Clapp με TE [9]

Ταλαντωτής Hartley

Ο ταλαντωτής Hartley μοιάζει με τον ταλαντωτή Colpitts, με τη διαφορά ότι η θέση και ο ρόλος πυκνωτών και πηνίων έχει αντιστραφεί. Δηλαδή για να δημιουργηθεί η ανασύζευξη χρησιμοποιούνται δύο πηνία L_1 και L_2 στη θέση των πυκνωτών C_1 και C_2 και ένας πυκνωτής C στη θέση του L . Η συχνότητα συντονισμού της ταλάντωσης καθορίζεται από το δικτύωμα

συντονισμού (L_1 , L_2 , C). Ο πυκνωτής C μπορεί να είναι μεταβλητός και επομένως το κύκλωμα να συντονίζει επιλεκτικά μέσα σε μία δεδομένη περιοχή συχνοτήτων.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ο ταλαντωτής Hartley με τη χρήση του τελεστικού ενισχυτή.

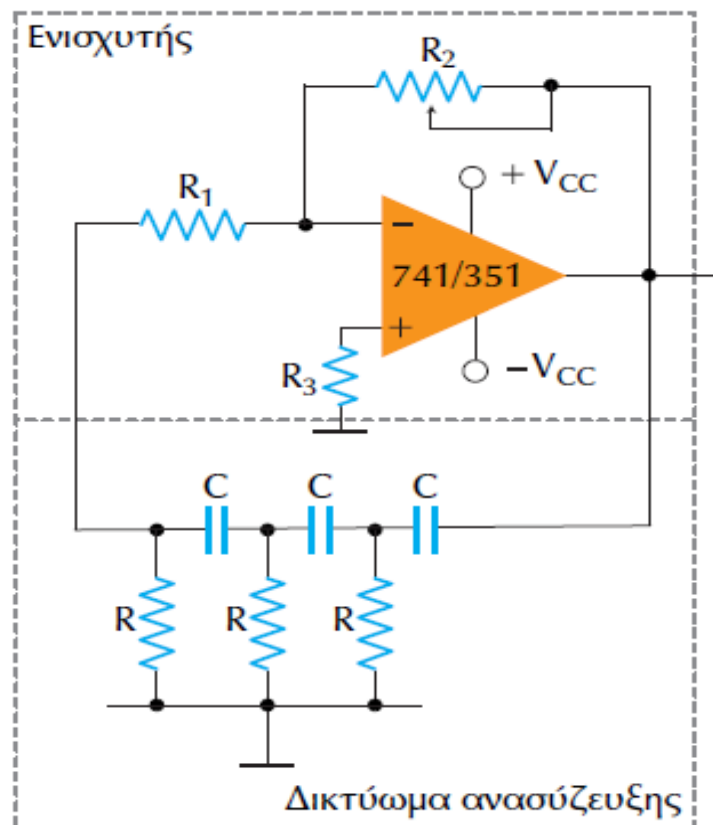


Σχήμα 17 Ταλαντωτής Hartley με TE [9]

Ταλαντωτής Ολίσθησης Φάσης

Όπως παρατηρούμε στο παρακάτω σχήμα ο ταλαντωτής ολίσθησης φάσης αποτελείται από έναν τελεστικό ενισχυτή για βαθμίδα ενίσχυσης και ένα δικτύωμα ανασύζευξης που

συγκροτείται από τρία στοιχεία RC σε σειρά. Το δικτύωμα ανασύζευξης παρέχει όλη την απαιτούμενη ανασύζευξη τάσης από την έξοδο προς την είσοδο του ενισχυτή.



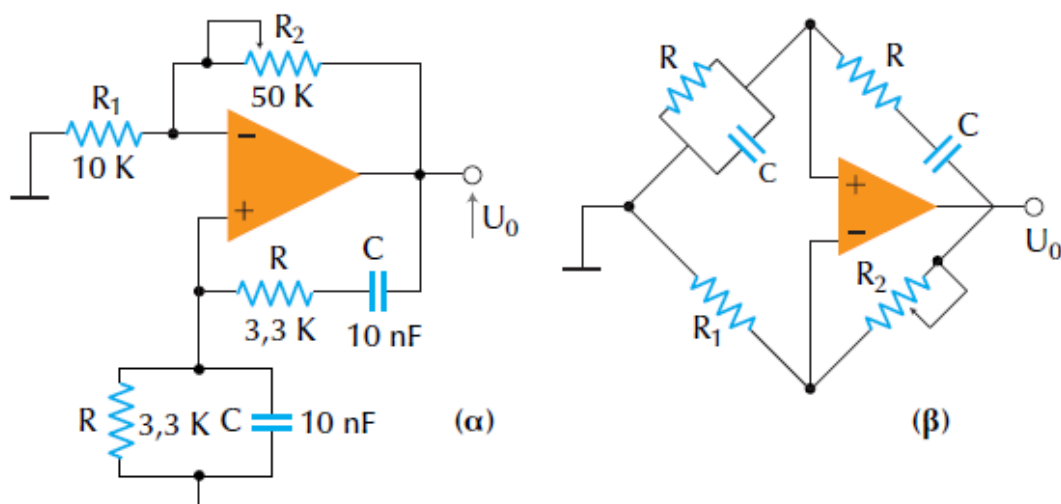
Σχήμα 18 Ταλαντωτής μετάθεσης φάσης με TE [9]

Ο τελεστικός ενισχυτής χρησιμοποιείται σε συνδεσμολογία με αναστρέφοντα ενισχυτή επομένως, στην έξοδο του το σήμα εισόδου του εμφανίζεται ενισχυμένο και με διαφορά φάσης 180° . Η επιπλέον διαφορά φάσης των 180° για να έχουμε ταλάντωση σύμφωνα με τον 2ο κανόνα Barkhausen, πρέπει να παρέχεται από το δικτύωμα ανάδρασης. Η ολική φάση βρόχου μόνο τότε θα

είναι 360° ή 0° . Το κύκλωμα θα ταλαντώνει σε μια καθορισμένη συχνότητα f_0 όπου η μεταβολή φάσης θα είναι 180° και η ενίσχυση του ενισχυτή A_v είναι αρκετά μεγάλη ώστε να ικανοποιεί το κριτήριο Barkhausen και το κύκλωμα να ταλαντώνεται.

Ταλαντωτής Γέφυρας Wien

Ο ταλαντωτής γέφυρας Wien είναι ένας από τους πιο συνηθέστερα χρησιμοποιημένους ταλαντωτές ακουστικών συχνοτήτων, λόγω της σταθερότητας του και της απλότητας του. Όπως φαίνεται και στο σχήμα το δικτύωμα ανασύζευξης του ταλαντωτή είναι φίλτρο ζώνης διέλευσης με R και C, όπου παρεμβάλλεται στον κλάδο της θετικής ανασύζευξης του τελεστικού ενισχυτή.

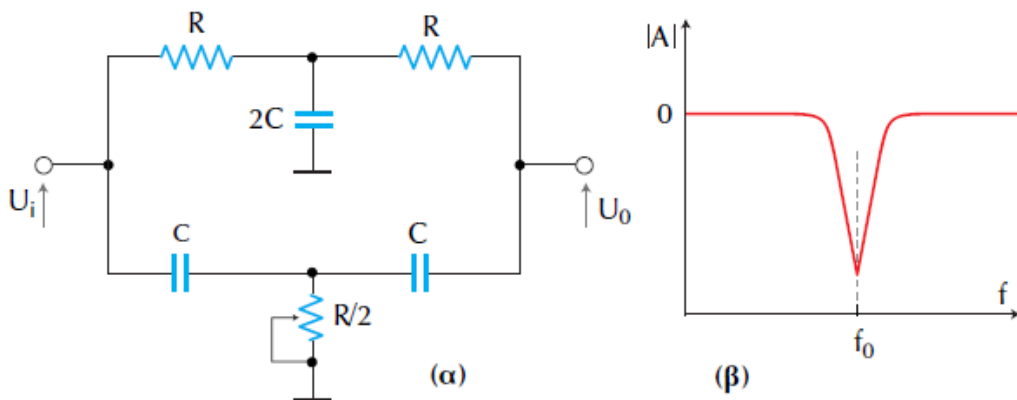


Σχήμα 19 α) Ταλαντωτής γέφυρας Wien β) Ισοδύναμο σχήμα όπου φαίνεται σχηματικά η γέφυρα Wien [9]

Ο δρόμος της αρνητικής ανασύζευξης δημιουργείται από τις δύο αντιστάσεις με τις οποίες ο τελεστικός ενισχυτής συνδέεται ως αναστρέφων ενισχυτής. Το δικτύωμα αυτού του ταλαντωτή συνδέεται μεταξύ των ακροδεκτών εισόδου και εξόδου του ενισχυτή, ενώ το 4ο άκρο της γέφυρας γειώνεται. Η γέφυρα Wien συγκροτείται από ένα δικτύωμα RC σειράς στον ένα κλάδο και ένα παράλληλο R//C στο δίπλα κλάδο της. Στους υπόλοιπους δύο κλάδους συνδέονται οι ωμικές αντιστάσεις R_1 , R_2 οι οποίες καθορίζουν την απολαβή τάσης A_v του αναστροφέα ενισχυτή.

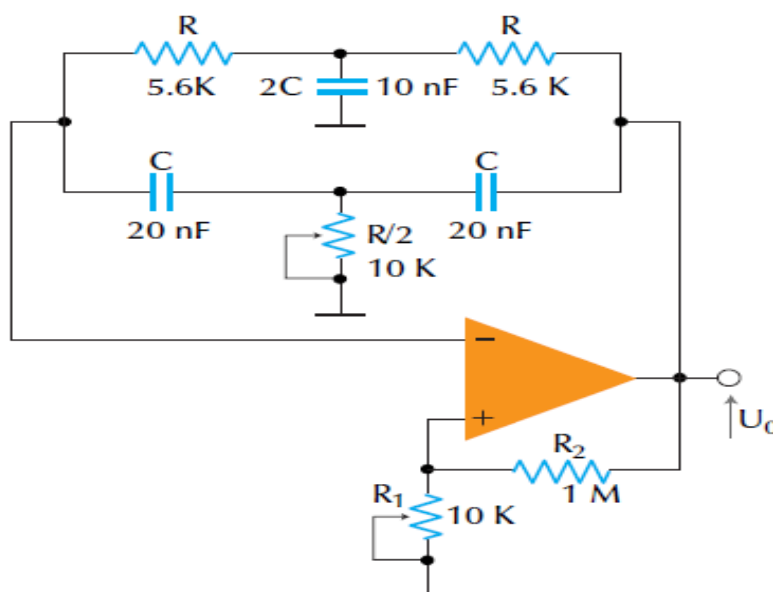
Ταλαντωτής με διπλό T

Όπως είδαμε παραπάνω, ο ταλαντωτής γέφυρας Wien χρησιμοποιεί φίλτρο ζώνης διέλευσης στο δρόμο της θετικής ανασύζευξης του τελεστικού ενισχυτή. Έτσι μπορούμε να δημιουργήσουμε έναν ταλαντωτή ακουστικών συχνοτήτων με τελεστικό ενισχυτή θέτοντας ένα κατάλληλο παθητικό φίλτρο στο δρόμο αρνητικής ανασύζευξης του τελεστικού ενισχυτή. Ένα τέτοιο φίλτρο είναι το δικτύωμα διπλού T, όπως δείχνει το σχήμα παρακάτω.



Σχήμα 20 Δικτύωμα διπλού T και καμπύλη απόκρισής του [9]

Το δικτύωμα διπλού T αποτελεί ένα φίλτρο στενής ζώνης ανακοπής και είναι συνδυασμός ενός φίλτρου χαμηλών συχνοτήτων και ενός φίλτρου υψηλών συχνοτήτων. Ο υποβιβασμός του φίλτρου μπορεί να είναι και κάτω από 60dB. Έτσι ο ταλαντωτής διπλού T με το παραπάνω δικτύωμα απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



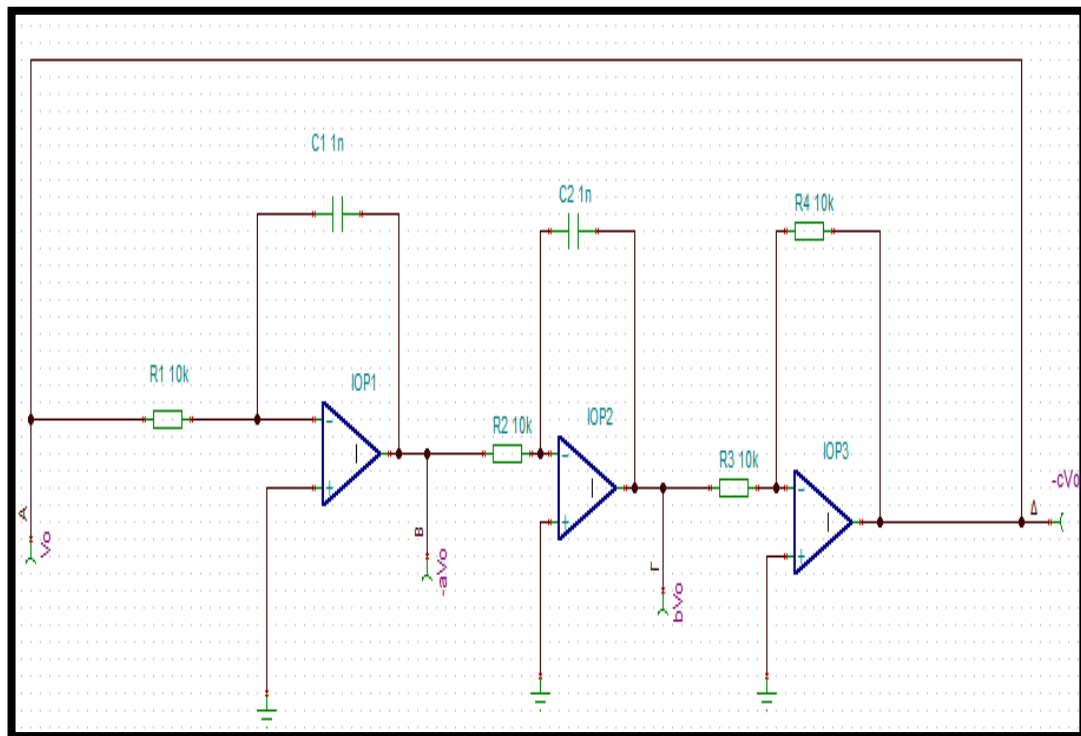
Σχήμα 21 Ταλαντωτής διπλού T με TE [9]



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ
ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ
ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ
ΤΑΛΑΝΤΩΤΩΝ**

4.1 ΟΡΘΟΓΩΝΙΟΣ ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ



Σχεδιάγραμμα 1 Ορθογώνιος ταλαντωτής

Έστω ότι στο κύκλωμα που θα προσομοιώσουμε αποτελείται από δύο ολοκληρωτές και έναν αναστρέφοντα ενισχυτή. Το κύκλωμα υλοποιεί την εξίσωση που περιγράφει μια αμείωτη αρμονική ηλεκτρική ταλάντωση :

$$\ddot{\mathbf{V}}_0 + \omega_0^2 \mathbf{V}_0 = \mathbf{0} \quad (4.1)$$

όπου ω_0 η κυκλική συχνότητα που αντιστοιχεί στη συχνότητα f_0 της ταλάντωσης :

$$\omega_0 = 2\pi f_0 \quad (4.2)$$

Ας υποθέσουμε από το σχήμα πως στο σημείο Α το σήμα αντιστοιχεί στη δεύτερη χρονική παράγωγο του αρμονικού σήματος V_0 :

$$V_A = \ddot{V}_0 \quad (4.3)$$

Το σήμα V_B στο σημείο Β θα είναι ανάλογο του ολοκληρώματος του σήματος V_A , σύμφωνα με τη σχέση :

$$V_B = -\frac{1}{R_1 C_1} \int V_A dt = -\frac{1}{R_1 C_1} \int \ddot{V}_0 dt = -\frac{1}{R_1 C_1} \dot{V}_0 \quad (4.4)$$

Ομοίως, το σήμα V_Γ στο σημείο Γ θα είναι ανάλογο του ολοκληρώματος του σήματος V_B , σύμφωνα με τη σχέση :

$$V_\Gamma = -\frac{1}{R_2 C_2} \int V_B dt \quad (4.5)$$

Αντικαθιστώντας τη σχέση (4.4) στη (4.5) παίρνουμε ότι :

$$V_\Gamma = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \int V_0 dt = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} V_0 \quad (4.6)$$

Η τάση V_Δ προκύπτει από την αναστροφή της τάσης V_Γ :

$$V_\Delta = -\frac{R_4}{R_3} V_\Gamma \quad (4.7)$$

Αντικαθιστώντας τη σχέση (4.6) στη (4.7) έχουμε :

$$\mathbf{V}_\Delta = -\frac{R_4}{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2} \mathbf{V}_0 \quad (4.8)$$

Λόγω της ανατροφοδότησης, οι τάσεις στα σημεία A και Δ θα ταυτίζονται, οπότε ο συνδυασμός των σχέσεων (4.3) και (4.8) θα μας δίνει :

$$\ddot{\mathbf{V}}_0 = -\frac{R_4}{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2} \mathbf{V}_0 \quad (4.9)$$

Ή ισοδύναμα όπως :

$$\ddot{\mathbf{V}}_0 + \frac{R_4}{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2} \mathbf{V}_0 = \mathbf{0} \quad (4.10)$$

όπου είναι της μορφής της εξίσωσης (4.1), οπότε υποδηλώνει αρμονική ηλεκτρική ταλάντωση με κυκλική συχνότητα η οποία προκύπτει από τη σχέση :

$$\omega_0^2 = \frac{R_4}{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2} \quad (4.11)$$

και συχνότητα :

$$\mathbf{f}_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R_4}{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2}} \quad (4.12)$$

Η συχνότητα ταλάντωσης μπορεί να βρεθεί, ισοδύναμα, με την εφαρμογή του κριτηρίου του Barkhausen, το οποίο απαιτεί

μοναδιαία μιγαδική απολαβή για τον κλειστό βρόχο του ταλαντωτή έτσι ώστε να ισχύει η σχέση :

$$\mathbf{V}_A \equiv \mathbf{V}_\Delta \quad (4.13)$$

Στην επόμενη ανάλυση, οι ολοκληρωτές αντιμετωπίζονται ως αναστρέφοντες ενισχυτές με αντίσταση ανάδρασης ίση με τη σύνθετη αντίσταση των αντίστοιχων πυκνωτών. Μπορούμε έτσι για το σήμα V_B να γράψουμε ότι :

$$\mathbf{V}_B \equiv -\frac{\frac{1}{C_1 S}}{R_1} \mathbf{V}_A \equiv -\frac{1}{R_1 C_1 S} \mathbf{V}_A \quad (4.14)$$

όπου $s = j\omega$.

Ομοίως, για το σήμα V_Γ έχουμε :

$$\mathbf{V}_\Gamma \equiv -\frac{1}{R_2 C_2 S} \mathbf{V}_B \quad (4.15)$$

Ενώ για το σήμα V_Δ ισχύει ότι :

$$\mathbf{V}_\Delta \equiv -\frac{R_4}{R_3} \mathbf{V}_\Gamma \quad (4.16)$$

Αν συνδυάσουμε τις σχέσεις (4.14) και (4.16) προκύπτει :

$$\mathbf{V}_\Delta \equiv -\frac{R_4}{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2 S^2} \mathbf{V}_A \quad (4.17)$$

Όμως $s = j\omega$ οπότε η προηγούμενη σχέση γράφεται :

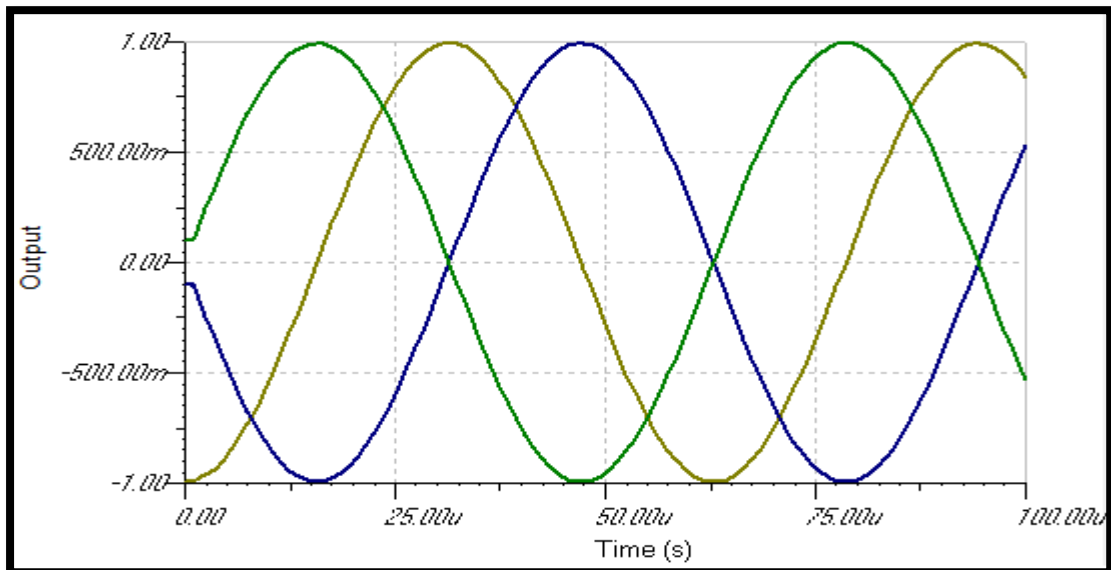
$$\mathbf{V}_\Delta \equiv - \frac{R_4}{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2 \omega^2} \mathbf{V}_A \quad (4.18)$$

Η συχνότητα ταλάντωσης αντιστοιχεί στη τιμή της κυκλικής συχνότητας ω όπου και επαληθεύεται η σχέση (4.13), άρα :

$$\omega_0^2 = \frac{R_4}{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2} \quad (4.19)$$

η οποία ταυτίζεται με την σχέση (4.11). Έτσι με την κατάλληλη επιλογή των παθητικών στοιχείων μπορούμε να πετύχουμε την επιθυμητή τιμή συχνότητας ταλάντωσης. Το πλεονέκτημα των ορθογωνίων ταλαντωτών είναι ότι μπορούν να δώσουν ορθογώνιες αρμονικές εξόδους. Για παράδειγμα στο σημείο Γ του κυκλώματος η τάση είναι ημιτονική ενώ στο σημείο Β είναι συνημιτονική. Οπότε τα σήματα τα οποία μπορούν να προκύψουν ως έξοδοι του κυκλώματος είναι ορθογώνια και έτσι εξηγήτε και η ονομασία του ταλαντωτή.

Στη συνέχεια του διαγράμματός μας θα του βάλουμε μια τιμή χρόνου ίση με **100.00** $\mu\text{/sec}$ και θα τρέξουμε την προσομοίωση του εμφανίζοντας στην έξοδό του την παρακάτω ταλάντωση :



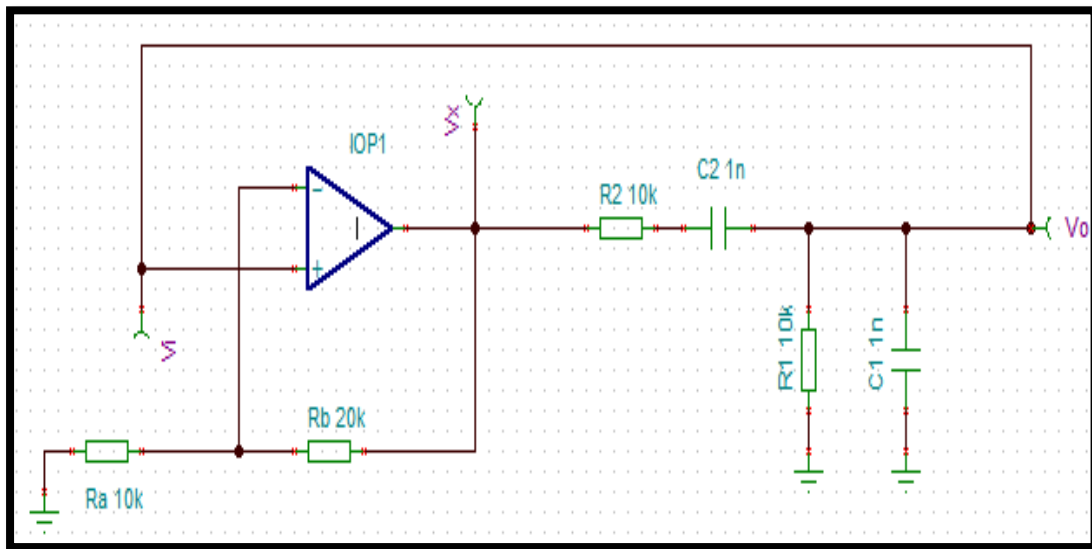
Σχεδιάγραμμα 2 Έξοδος ορθογωνίου ταλαντωτή

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι η περίοδος T ισούτε με **62,5μ/sec**, αυτό προκύπτει από το $T = 77,5 \mu/\text{sec} - 15 \mu/\text{sec}$.

Οπότε για να βρούμε την συχνότητα πέρνουμε τον τύπο : $f = \frac{1}{T}$

Οπότε η συχνότητα f ισούτε με **16kHz**. Επίσης για να προσδιορίσουμε το πλάτος της ταλάντωσης βρίσκουμε τη διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής τάσης. Στο διάγραμμα φαίνεται ότι η μέγιστη είναι το **1V** και η ελάχιστη το **-1V**. Από την διαφορά τους βρίσκουμε ότι το εύρος τους ισούτε με $1 - (-1)$, δηλαδή **2V**. Αυτό είναι το πλάτος από κορυφή σε κορυφή. Οπότε το πλάτος που θέλουμε είναι το μισό της προηγούμενης τιμής, δηλαδή **2/2** οπότε ισούτε με **1V**.

4.2 ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ ΜΕ ΓΕΦΥΡΑ WIEN



Σχεδιάγραμμα 1 Ταλαντωτής γέφυρας Wien

Το κύκλωμα το οποίο θα προσομοιώσουμε στη συνέχεια είναι ο ταλαντωτής με γέφυρα Wien. Θα εφαρμόσουμε το κριτήριο Barkhausen και θα απαιτήσουμε στη συνέχεια η τάση V_0 να είναι ίση με την τάση V_i . Η τάση V_0 προκύπτει ως το κλάσμα της τάσης V_x μέσω του διαιρέτη τάσης που σχηματίζεται από τον παράλληλο συνδυασμό των R_1 , C_1 και την σε σειρά σύνδεση των R_2 , C_2 . Οπότε έχουμε την σχέση :

$$V_0 = \frac{R_1 \parallel Z_{C1}}{(R_1 \parallel Z_{C1}) + R_2 Z_{C2}} V_x \quad (4.20)$$

Επίσης η τάση V_x προκύπτει από την τάση V_i μέσω του τελεστικού ενισχυτή σε συνδεσμολογία με αναστρέφοντα ενισχυτή, οπότε έχουμε την σχέση :

$$\mathbf{V}_x = \left(\mathbf{1} + \frac{R_b}{R_a} \right) \mathbf{V}_i \quad (4.21)$$

Αν συνδυάσουμε τις σχέσεις (4.20) και (4.21) προκύπτει :

$$\mathbf{V}_0 = \frac{R_1 \parallel Z_{C1}}{(R_1 \parallel Z_{C1}) + R_2 Z_{C2}} \left(\mathbf{1} + \frac{R_b}{R_a} \right) \mathbf{V}_i \quad (4.22)$$

Η σχέση αυτή γράφεται και αλλιώς :

$$\mathbf{V}_0 = \frac{R_1 Z_{C1}}{R_1 Z_{C1} + (R_2 + Z_{C2})(R_1 + Z_{C1})} \left(\mathbf{1} + \frac{R_b}{R_a} \right) \mathbf{V}_i \quad (4.23)$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι το $Z_i = 1 / C_i s$ ($i = 1, 2$) η σχέση (4.23) γράφεται :

$$\mathbf{V}_0 = \left(\mathbf{1} + \frac{R_b}{R_a} \right) \frac{R_1 C_2}{R_1 R_2 C_1 C_2 S + (R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_2) + \frac{1}{S}} \mathbf{V}_i \quad (4.24)$$

Από το $V_0 = V_i$ έχουμε :

$$\left(\mathbf{1} + \frac{R_b}{R_a} \right) \frac{R_1 C_2}{R_1 R_2 C_1 C_2 S + (R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_2) + \frac{1}{S}} = \mathbf{1} \quad (4.25)$$

Το δεύτερο μέλος της σχέσης (4.25) είναι πραγματικός αριθμός, οπότε το ίδιο θα πρέπει να ισχύει και για το δεύτερο μέλος. Επίσης η σχέση (4.25) ικανοποιείται όταν το φανταστικό μέρος του παρονομαστή του κλάσματος του πρώτου μέλους μηδενίζεται, δηλαδή :

$$R_1 R_2 C_1 C_2 S + \frac{1}{S} = 0 \quad (4.26)$$

Αντικαθιστώντας το $j\omega$ στη θέση του s έχουμε :

$$R_1 R_2 C_1 C_2 \omega^2 = 1 \quad (4.27)$$

Η σχέση αυτή θα επαληθεύεται για την κυκλική συχνότητα ταλάντωσης ω_0 του κυκλώματος. Οπότε παίρνουμε την σχέση :

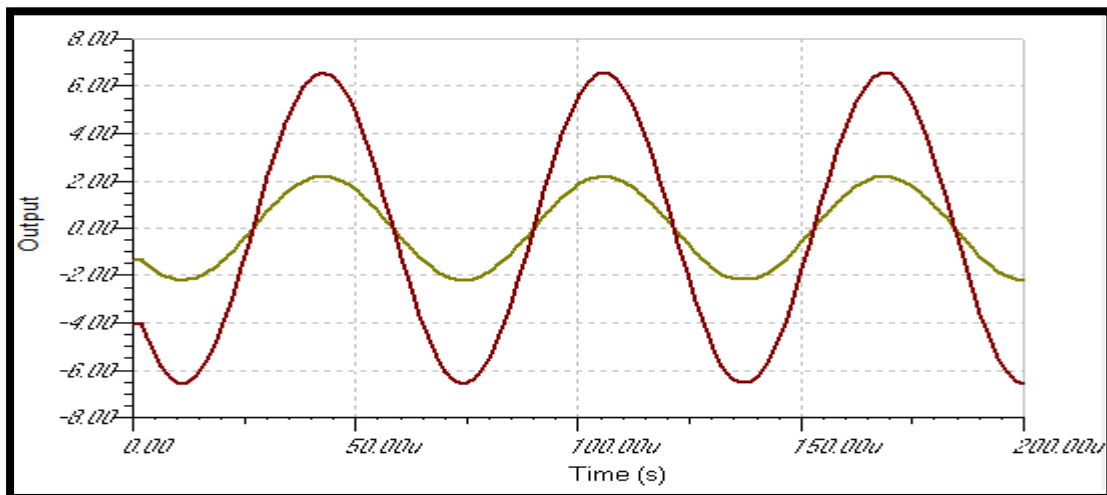
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (4.28)$$

Στη σχέση [4.25], μηδενίζουμε το φανταστικό μέρος του παρονομαστή του κλάσματος του πρώτου μέλους και μας δίνει τον τύπο :

$$\left(1 + \frac{R_b}{R_a}\right) \frac{R_1 C_2}{R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_2} = 1 \quad (4.29)$$

Όπως συμβαίνει σε όλους τους ταλαντωτές, η συχνότητα ταλάντωσης καθορίζεται από την επιλογή κατάλληλων τιμών για τα στοιχεία του κυκλώματος. Το κύκλωμα ταλαντωτή με γέφυρα Wien εφαρμόζεται στις γεννήτριες συναρτήσεων και με την χρήση αντιστάσεων και πυκνωτών δίνει αρμονικό σήμα ρυθμιζόμενης συχνότητας. Στη συνέχεια στο διάγραμμα προσομοίωσης θα εξετάσουμε την έξοδο του ταλαντωτή με γέφυρα Wien. Έτσι αν βάλουμε τιμή χρόνου ίση με **200 μ /sec**

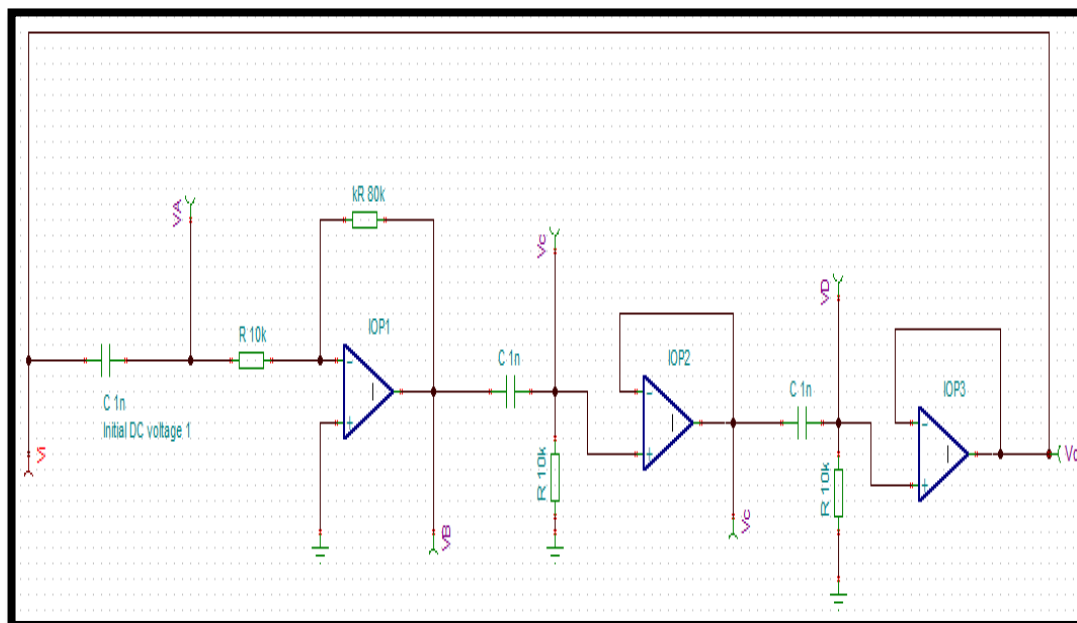
έχουμε την παρακάτω έξοδο :



Σχεδιάγραμμα 2 Έξοδος ταλαντωτή με γέφυρα Wien

Σύμφωνα με το διάγραμμα βρίσκουμε ότι η περίοδος T είναι ίση με **62,5 μ /sec**. Αυτό προκύπτει από τη διαφορά **$T=105 \mu$ /sec – 42,5 μ /sec**. Οπότε χρησιμοποιούμε το τύπο $f = \frac{1}{T}$ για να βρούμε τη συχνότητα. Έτσι προκύπτει ότι η συχνότητα ισούτε με **16kHz**. Στη συνέχεια για να βρούμε το πλάτος πρέπει να βρούμε πρώτα το πλάτος από κορυφή σε κορυφή το οποίο είναι η διαφορά της μέγιστης τιμής τάσης και της ελάχιστης τιμής τάσης. Βρίσκουμε ότι η διαφορά τους είναι ίση με **6,5-(-6,5)** οπότε είναι **13V**. Στη συνέχεια το πλάτος το βρίσκουμε αν διαιρέσουμε την προηγούμενη τιμή με το **2**, δηλαδή **13/2** ισούτε με **6,5V**.

4.3 ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΦΑΣΗΣ



Σχεδιάγραμμα 1 Ταλαντωτής ολίσθησης φάσης

Το κύκλωμα του ταλαντωτή ολίσθησης φάσης, όπως φαίνεται και στο σχήμα, χρησιμοποιεί τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία αναστρέφοντα ενισχυτή και φίλτρα διέλευσης υψηλών συχνοτήτων R – C πρώτης τάξης συνδεδεμένα σε σειρά. Η λειτουργία του ικανοποιεί το κριτήριο Barkhausen, έτσι ώστε το σήμα V_o που ανατροφοδοτεί την είσοδο της ενισχυτικής βαθμίδας να είναι ίσο με το V_i που το προκάλεσαι. Έτσι ο αναστρέφοντας ενισχυτής εισάγει διαφορά φάσης 180° , τα φίλτρα συμπληρώνουν την απαραίτητη φάση κατά 180° , ώστε τα σήματα V_o και V_i να είναι σε φάση και οι τελεστικοί ενισχυτές σε συνδεσμολογία απομονωτή εξασφαλίζουν την προσαρμογή τάσης μεταξύ των φίλτρων. Η τάση V_A αντιστοιχεί στη τάση

εξόδου του φίλτρου R – C με είσοδο το σήμα V_i . Αν η συνάρτηση μεταφοράς ενός φίλτρου HPF R – C πρώτης τάξης δίνεται από τον τύπο :

$$\mathbf{H(s)} = \frac{s}{s + \frac{1}{RC}} \quad (4.30)$$

η τάση V_A στην είσοδο της ενισχυτικής βαθμίδας θα έχει σχέση :

$$\mathbf{V_A} = \frac{s}{s + \frac{1}{RC}} \mathbf{V_i} \quad (4.31)$$

Η τάση V_B στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή θα προκύψει από την απολαβή της αναστρέφουσας συνδεσμολογίας :

$$\mathbf{V_B} = -\frac{kR}{R} \mathbf{V_A} = -k \mathbf{V_A} \quad (4.32)$$

Ομοίως με την τάση V_A , η τάση V_C αντιστοιχεί στη τάση εξόδου του φίλτρου R – C με είσοδο το σήμα V_B . Οπότε προκύπτει η σχέση :

$$\mathbf{V_C} = \frac{s}{s + \frac{1}{RC}} \mathbf{V_B} \quad (4.33)$$

Έτσι η τάση V_D θα γραφτεί :

$$\mathbf{V_D} = \frac{s}{s + \frac{1}{RC}} \mathbf{V_C} \quad (4.34)$$

η οποία σχέση ταυτίζεται με την τάση V_0 , οπότε γίνεται :

$$V_0 = \frac{s}{s + \frac{1}{RC}} V_C \quad (4.35)$$

Αν συνδυάσουμε τις σχέσεις (4.31) και (4.35) έχουμε :

$$V_0 = -k \frac{s^3}{\left(s + \frac{1}{RC}\right)^3} V_i \quad (4.36)$$

Από τη σχέση $V_0 = V_i$ προκύπτει ότι :

$$-k \frac{s^3}{\left(s + \frac{1}{RC}\right)^3} = 1 \quad (4.37)$$

Έτσι με τις κατάλληλες πράξεις προκύπτει ότι :

$$(k + 1)s^3 + \frac{3s^2}{RC} + \frac{3s}{R^2C^2} + \frac{1}{R^3C^3} = 0 \quad (4.38)$$

Στη συνέχεια αντικαθιστώντας όπου s το $j\omega$ η σχέση [9] γίνεται :

$$\frac{1}{R^3C^3} - \frac{3\omega^2}{RC} - \left[(k + 1)\omega^3 - \frac{3\omega}{R^2C^2} \right] j = 0 \quad (4.39)$$

Η παραπάνω σχέση μας εξηγεί πως πως τόσο το πραγματικό όσο και το φανταστικό μέρος του μιγαδικού αριθμού του πρώτου μέλους θα πρέπει να μηδενίζονται. Οπότε έχουμε :

$$\frac{1}{R^3C^3} - \frac{3\omega^2}{RC} = 0 \quad (4.40)$$

Και

$$(\mathbf{k} + 1)\omega^3 - \frac{3\omega^2}{R^2C^2} = \mathbf{0} \quad (4.41)$$

Από την σχέση (4.40) μπορούμε να βρούμε την έκφραση για τη συχνότητα ταλάντωσης :

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{3RC}} \quad (4.42)$$

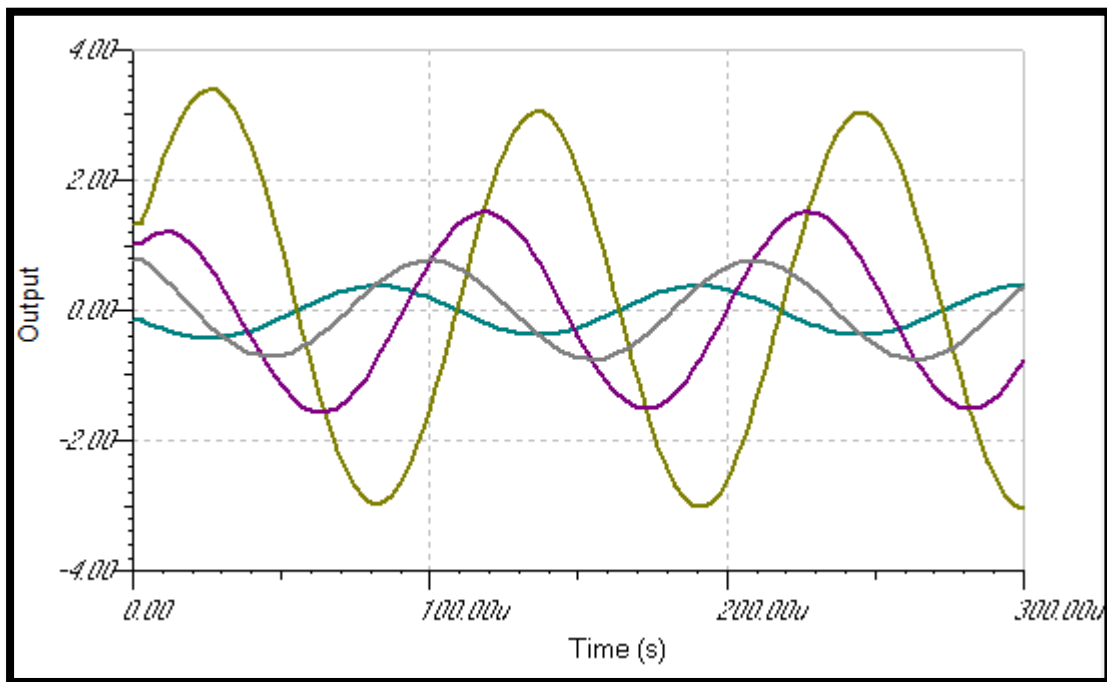
Η σχέση (4.41) δίνει με αντικατάσταση της συχνότητας ταλάντωσης της σχέσης (4.42) :

$$\frac{\mathbf{k}+1}{3} - \mathbf{3} = \mathbf{0} \quad (4.43)$$

Άρα από τη σχέση αυτή βρίσκουμε :

$$\mathbf{k} = \mathbf{8}$$

Η σταθερά k ταυτίζεται όμως με το μέτρο της απολαβής τάσης της αναστρέφουσας βαθμίδας ενίσχυσης, οπότε για να λειτουργήσει το κύκλωμα του συγκεκριμένου ταλαντωτή θα πρέπει η απολαβή να είναι ίση με 8. Γυρνώντας στο σχεδιάγραμμα προσομοίωσης θα βάλουμε τιμή χρόνου ίση με 300 μ /sec και θα τρέξουμε την προσομοίωση παρατηρώντας την παρακάτω αρμονική ταλάντωση :



Σχεδιάγραμμα 2 Έξοδος ταλαντωτή ολίσθησης φάσης

Στο διάγραμμα φαίνεται ότι η περίοδος T είναι ίση με $110\mu/\text{sec}$, όπου προκύπτει από τη διαφορά $T = 245\mu/\text{sec} - 135\mu/\text{sec}$.

Οπότε με τον τύπο $f = \frac{1}{T}$ βρίσκουμε ότι η συχνότητα είναι

ίση με 9kHz . Για το πλάτος θα βρούμε πρώτα το πλάτος από κορυφή σε κορυφή βρίσκοντας την διαφορά της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής τάσης. Έτσι προκύπτει ότι η διαφορά ισούται με $3 - (-3)$ οπότε με 6V . Στη συνέχεια το διαιρούμε με το 2 και βρίσκουμε ότι το πλάτος ισούται με 3V .

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1 : Κίνηση ηλεκτρονίων σε τυχαίες κατευθύνσης10

ΣΧΗΜΑ 2 : Κίνηση ηλεκτρονίων προς την ίδια κατεύθυνση.....10

ΣΧΗΜΑ 3 : Συνεχές ρεύμα.....11

ΣΧΗΜΑ 4 : Εναλλασσόμενο ρεύμα.....12

ΣΧΗΜΑ 5 : Απλό κύκλωμα.....16

ΕΙΚΟΝΑ 1 : Συμβολισμοί ηλεκτρικών στοιχείων ενός κυκλώματος... 17

ΣΧΗΜΑ 6 : Συσκευές συνδεδεμένες σε σειρά στο κύκλωμα.....19

ΣΧΗΜΑ 7 : Συσκευές συνδεδεμένες παράλληλα στο κύκλωμα.....19

ΣΧΗΜΑ 8 : Σύμβολο ηλεκτρονικού ενισχυτή τροφοδοσίας V_{cc} εισόδου e^+ e^- και εξόδου s20

ΣΧΗΜΑ 9 : Ο σχηματικός συμβολισμός του τελεστικού ενισχυτή μαζί με ένα παράδειγμα της χαρακτηριστικής εισόδου-εξόδου του.....21

ΣΧΗΜΑ 10 : Διάγραμμα αρμονικού ταλαντωτή.....26

ΣΧΗΜΑ 11 : Διάγραμμα ταλαντωτή χαλάρωσης ή ανατροπής.....26

ΣΧΗΜΑ 12α : Δομικό διάγραμμα ενισχυτή με ανασύζευξη.....28

ΣΧΗΜΑ 12β : Δομικό διάγραμμα ενός αρμονικού ταλαντωτή.....28

ΣΧΗΜΑ 13 : Βασική μορφή ενός αρμονικού ταλαντωτή.....31

ΣΧΗΜΑ 14 : Βασική δομή συντονιζόμενου αρμονικού ταλαντωτή...33

<u>ΣΧΗΜΑ 15</u> : Ταλαντωτής Colpitts με ΤΕ.....	36
<u>ΣΧΗΜΑ 16</u> : Ταλαντωτής Clapp με ΤΕ.....	37
<u>ΣΧΗΜΑ 17</u> : Ταλαντωτής Hartley με ΤΕ.....	38
<u>ΣΧΗΜΑ 18</u> : Ταλαντωτής μετάθεσης φάσης με ΤΕ.....	39
<u>ΣΧΗΜΑ 19</u> : α) Ταλαντωτής γέφυρας Wien β) Ισοδύναμο σχήμα όπου φαίνεται σχηματικά η γέφυρα Wien.....	40
<u>ΣΧΗΜΑ 20</u> : Δικτύωμα διπλού Τ και καμπύλη αποκρίσης του.....	42
<u>ΣΧΗΜΑ 21</u> : Ταλαντωτής διπλού Τ με ΤΕ.....	42

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Διαπέρδος Ι., 2015. "**Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική**", [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών
2. A. P. Malvino, "**Βασική Ηλεκτρονική**", 4η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 1990.
3. Κ. Καρούμπαλος, Γ. Φιλοκύπρου, "**Μαθήματα Ηλεκτρονικής**", Εκδόσεις Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα.
4. Γ. Τόμπρας, "**Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική**", 2η έκδοση, Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα, 2006.
5. G. González "**Foundations of oscillator circuit design**", Artech House, 2006.
6. G.B. Clayton και S. Winder "**Operational Amplifiers**", Elsevier Science, 2003.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- [1] Noesis Thessaloniki Science Center & Technology Museum, "**Τι είναι το ηλεκτρικό ρεύμα**", <http://www.noesis.edu.gr>
- [2] Diogo Oliveira, "**Electroelectrical Aplicada**" (Εφαρμογή Ηλεκτρονικών), <http://slideplayer.com.br/slide/7228863/>

[3] Στέργιος Πέλλης, "Εναλασσόμενο Ρεύμα", Physic Lessons,
<http://physiclessons.blogspot.gr>

[4] Εγκύκλιος Παιδεία, "Ένα απλό κύκλωμα", 10 Ιανουαρίου
 2009, <http://egpaid.blogspot.com>

[E1] Βικιπαιδεία, " Ηλεκτρικό κύκλωμα ", Ηλεκτρικά στοιχεία,
<https://el.wikipedia.org>

[5] Βικιπαιδεία, " Ηλεκτρικό κύκλωμα ", Μελέτη κυκλώματος,
<https://www.wikipedia.gr>

[6] Βικιπαιδεία, " Ενισχυτής ", <https://el.wikipedia.org>

[7] Γιώργος Δημητρακόπουλος, " Εισαγωγή στους τελεστικούς
 ενισχυτές ", <http://www.csd.uoc.gr>

[8] Λιαπέρδος Ι., 2015, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική",
 [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών
 Βιβλιοθηκών, <https://repository.kallipos.gr>

[9] Αναλογικά Ηλεκτρονικά, " Αρμονικοί Ταλαντωτές ",
<http://edume.myds.me>

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

[1] Αναλογικά Ηλεκτρονικά, " Αρμονικοί Ταλαντωτές ",
<http://edume.myds.me>

- [2] Λιαπέρδος Ι., 2015, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική", [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, <https://repository.kallipos.gr>
- [3] Γιώργος Δημητρακόπουλος, " Εισαγωγή στους τελεστικούς ενισχυτές ", <http://www.csd.uoc.gr>
- [4] Βικιπαιδεία, "Ηλεκτρικό κύκλωμα", <https://el.wikipedia.org>
- [5] Στέργιος Πέλλης, "Εναλασσόμενο Ρεύμα", Physic Lessons, <http://physiclessons.blogspot.gr>
- [6] Noesis Thessaloniki Science Center & Technology Museum, "Τι είναι το ηλεκτρικό ρεύμα", <http://www.noesis.edu.gr>
- [7] Διαδραστικά σχολικά βιβλία, " Ταλαντωτής ", <http://ebooks.edu.gr>
- [8] " Ταλαντωτές ", <http://rangoussi.teipir.gr>
- [9] Βικιπαιδεία, " Ηλεκτρικό ρεύμα", <https://el.wikipedia.org>
- [10] Control Systems Laboratory, " Ταλαντωτές ", <http://courseware.mech.ntua.gr>
- [11] " Τελεστικοί Ενισχυτές ", <http://www.physics.ntua.gr>
- [12] Βικιπαιδεία, " Ενισχυτής " <https://el.wikipedia.org>