



ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΨΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (Θ)

Ενότητα 9: Μικροκυματικές Διατάξεις

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: Δρ. Στυλιανός Τσίτσος
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΕ



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ενότητα 9

Μικροκυματικές Διατάξεις

Δρ. Στυλιανός Τσίτσος

Περιεχόμενα ενότητας

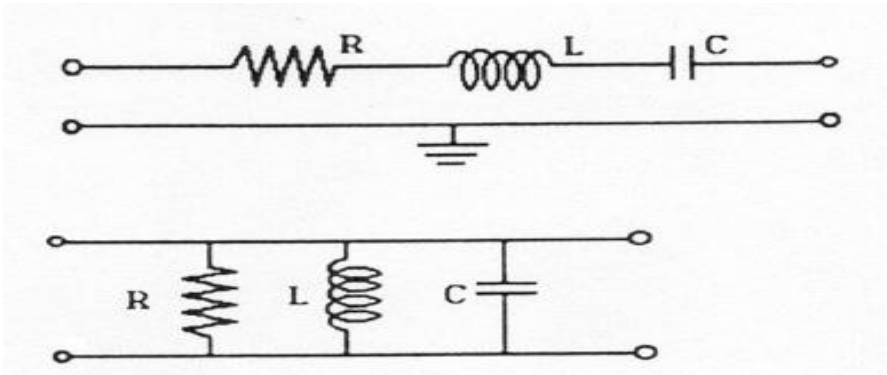
Σκοποί ενότητας

Μικροκυματικές Διατάξεις

ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΟΙ ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ

- Οι ταλαντωτές είναι συσκευές που παράγουν σήματα **υψηλής συχνότητας**. Οι διπολικοί και οι ταλαντωτές *FET* είναι ικανοί να λειτουργήσουν μέχρι 30 GHz , ενώ οι συσκευές δύο ακροδεκτών χρησιμοποιούνται σε ταλαντωτές που μπορούν να λειτουργήσουν μέχρι 300 GHz . Οι ταλαντωτές διαιρούνται σε τρεις κατηγορίες: **αναδράσεως**, **αρνητικής αντίστασης** και **φυσικού παλμού**.
- Κάθε ταλαντωτής πρέπει να έχει έναν **συντονιστή** που θα καθορίζει τη συχνότητα του ταλαντωτή και μία **ενεργό συσκευή** που θα παράγει την αστάθεια.

Συντονιστής με διακριτά στοιχεία



Σχήμα 1: Δύο απλά *RLC* συντονισμένα κυκλώματα – σε σειρά και παράλληλα.

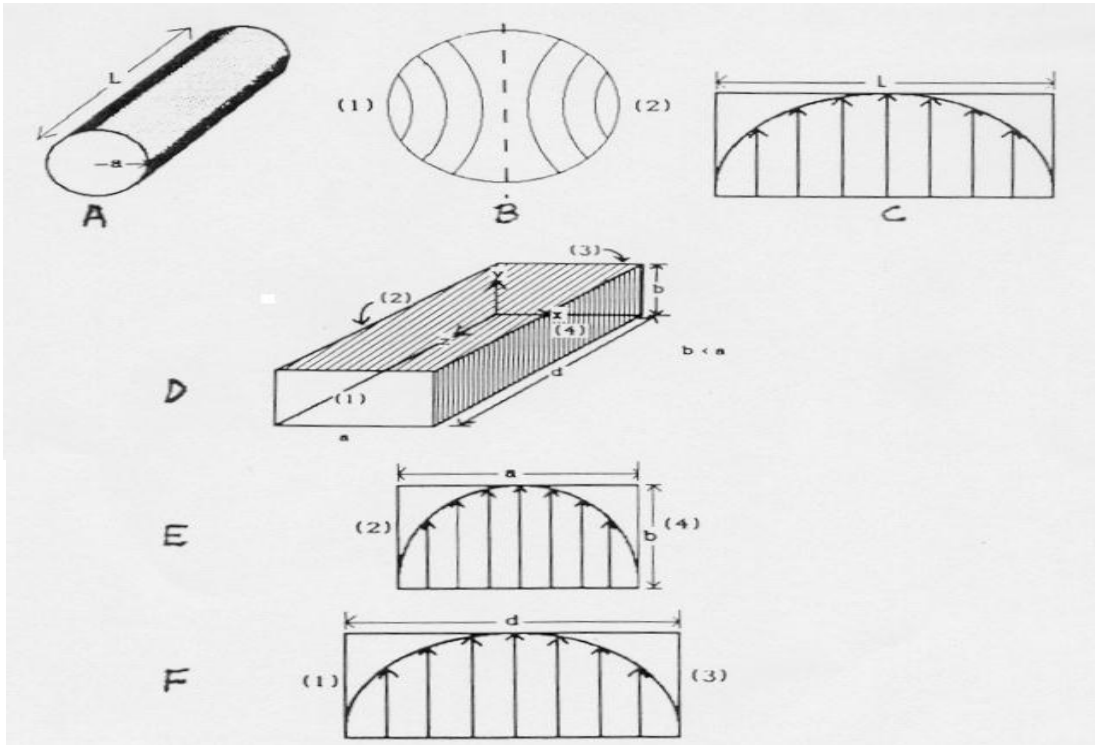
Συνθήκη συντονισμού: $X_C = X_L$ ή $1/(\omega C) = \omega L$
οπότε η **συχνότητα συντονισμού** είναι:

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Μικροκυματικές Διατάξεις

Συντονιστής κοιλότητας (Cavity resonator)

• Οι συντονιστές κοιλότητας μπορούν να υποστηρίξουν ένα κύμα ή σήμα κάποιας καθορισμένης συχνότητας και εξασθενούν κύματα ή σήματα άλλων συχνοτήτων. Είναι συνήθως μεταλλικές κατασκευές γεμάτες με αέρα και η γεωμετρία τους καθορίζει την οριακή συνθήκη του κύματος που υποστηρίζεται.



• Συχνότητα συντονισμού για κυλινδρική κοιλότητα που λειτουργεί στον TE_{101} ρυθμό:

$$f_{res} = \frac{c\sqrt{[1+(2L/3,41a)^2]}}{2L}$$

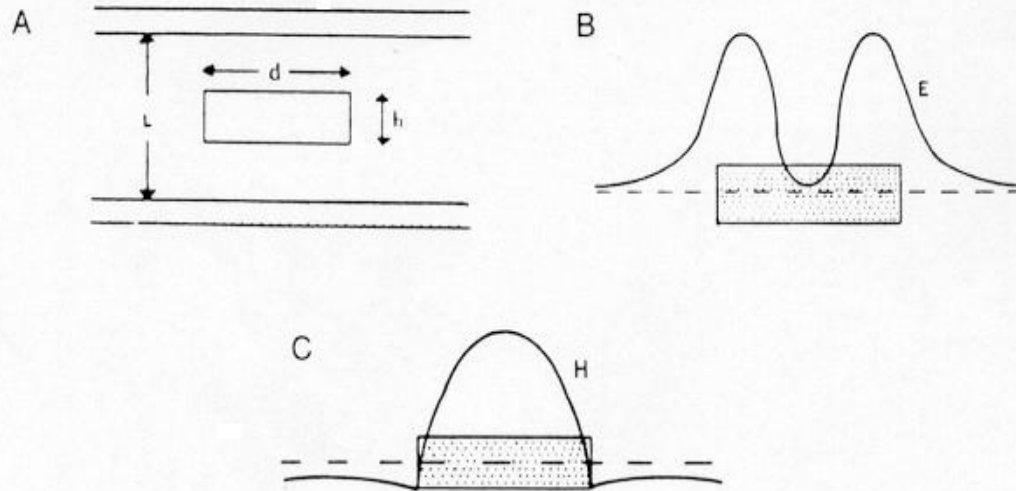
• Συχνότητα συντονισμού για κοιλότητα τετραγωνικού κυματοδηγού που λειτουργεί στον TE_{101} ρυθμό:

$$f_{res} = \frac{c\sqrt{a^2 + d^2}}{2ad}$$

Σχήμα 2: Κατανομή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου μέσα σε έναν κυλινδρικό και σε έναν τετραγωνικό κυματοδηγό.

Μικροκυματικές Διατάξεις

Διηλεκτρικός συντονιστής (Dielectric Resonator – DR)



Σχήμα 3:

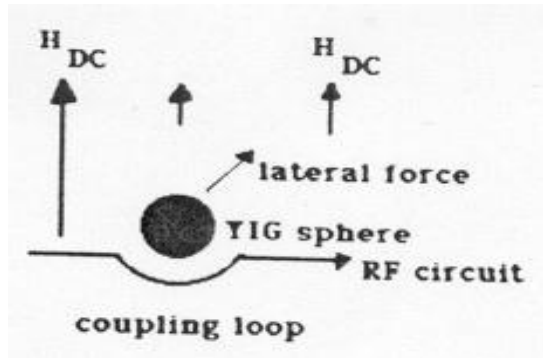
- (Α) Κατασκευή ενός διηλεκτρικού συντονιστή.
(Β) Κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου.
(Γ) Κατανομή του μαγνητικού πεδίου.

- Το συντονισμένο στοιχείο σε ένα *DRO* είναι το διηλεκτρικό υλικό, το οποίο λειτουργεί παρόμοια με ένα συντονιστή κοιλότητας, εκτός του ότι όλα τα πεδία του δεν περιέχονται στο συντονιστή. Το διηλεκτρικό έχει διηλεκτρική σταθερά με τιμή περίπου 37. Το 20% των πεδίων εκτείνονται πέρα από το κεραμικό υλικό και είναι υπεύθυνα για το συντονισμό της συχνότητας.
- Ο συντονισμός γίνεται μεταβάλλοντας την απόσταση L των γειωμένων πλακών. Όταν οι πλάκες μετακινούνται πιο κοντά, η συχνότητα συντονισμού μειώνεται. Η ενέργεια από τον διηλεκτρικό συντονιστή δημιουργεί μαγνητική σύζευξη με το ενεργό κύκλωμα.

Μικροκυματικές Διατάξεις

Μαγνητικός συντονιστής (YIG)

▪ Χρησιμοποιεί ένα υλικό φερρίτη που ονομάζεται **YIG** (*Yttrium Iron Garnet*) και είναι μέρος του μαγνητικού κυκλώματος. Οι σφαίρες YIG κατασκευάζονται από ανάπτυξη κρυστάλλων παρόμοια με το πυρίτιο και στη συνέχεια γυαλίζονται σε πολύ μικρές σφαίρες.



Σχήμα 4: Η θεμελιώδης κατασκευή ενός συντονιστή YIG.

- Ένας μαγνητικός συντονιστής αποτελείται από τρία μέρη:
 - Μία **σφαίρα YIG**.
 - Έναν **βρόχο σύζευξης**.
 - Ένα **στατικό μαγνητικό πεδίο**.

▪ Η σφαίρα YIG μαγνητίζεται και ενεργεί όπως η βελόνα μιας πυξίδας. Συνδέεται στο άκρο μίας ράβδου και προσανατολίζεται προς το στατικό μαγνητικό πεδίο, έτσι ώστε να υπάρχει κάποια πλευρική δύναμη στη σφαίρα.. Στη συνέχεια η ράβδος στερεώνεται κάπου έτσι ώστε να μην περιστρέφεται

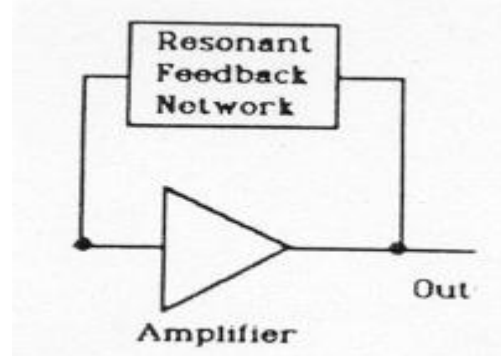
▪ Όταν ένα σήμα περνάει μέσα από τον βρόχο σύζευξης, θα συζεύξει - μαγνητικά - κάποια από την ενέργειά του στη σφαίρα YIG. Αν η συχνότητα του σήματος στο καλώδιο είναι ίδια με τη φυσική συχνότητα της σφαίρας, θα έχουμε μία ισχυρή αλληλεπίδραση. Σε όλες τις άλλες συχνότητες δεν θα έχουμε αλληλεπίδραση. Αυτός ο τύπος αλληλεπίδρασης ονομάζεται συντονισμός.

▪ Η συχνότητα συντονισμού του συντονιστή YIG μπορεί να μεταβληθεί μεταβάλλοντας τη φυσική συχνότητα της σφαίρας YIG. Αυτό επιτυγχάνεται μεταβάλλοντας τη δύναμη που ασκείται στα μαγνητικά της δίπολα.. Επομένως, μεταβάλλοντας το στατικό μαγνητικό πεδίο, η αλληλεπίδραση μεταξύ του μαγνητικού πεδίου του σήματος και της σφαίρας YIG μπορεί να μεταβληθεί. Αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο η συχνότητα συντονισμού ενός συντονιστή YIG μπορεί να ρυθμιστεί ηλεκτρονικά.

Μικροκυματικές Διατάξεις

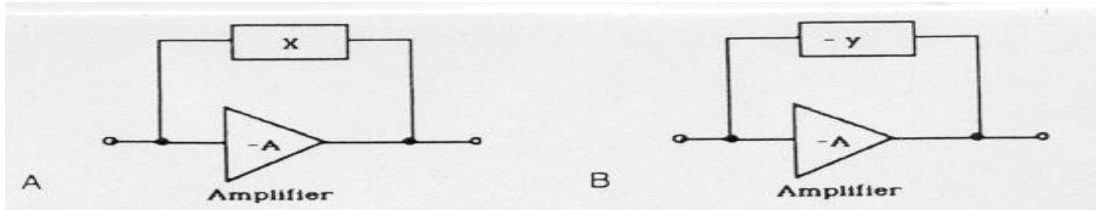
Ταλαντωτές ανάδρασης

▪ Στους ταλαντωτές ανάδρασης, ένα συντονιζόμενο δίκτυο συνδέεται από την έξοδο προς την είσοδο ενός ενισχυτή. Οι ενισχυτές μπορεί να είναι είτε διπολικά είτε *FET* τρανζίστορ. Το συντονιζόμενο δίκτυο συνήθως συντίθεται από διακριτά στοιχεία. Οι ταλαντωτές αναδράσεως χρησιμοποιούν θετική ανάδραση για να παράγουν μία ασταθή κατάσταση.



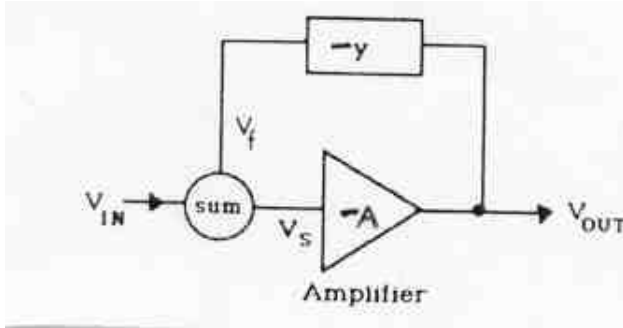
Σχήμα 5: Η γενική αρχή ενός ταλαντωτή αναδράσεως.

▪ **Θετική ανάδραση** συμβαίνει όταν η έξοδος του ενισχυτή συνδέεται στην είσοδό του με μία διαφορά φάσεως 180° . **Αρνητική ανάδραση** συμβαίνει όταν η έξοδος του ενισχυτή συνδέεται στην είσοδό του χωρίς πρόσθετη διαφορά φάσεως.



Σχήμα 6: (A) Σύστημα αρνητικής αναδράσεως (B) Σύστημα θετικής αναδράσεως.

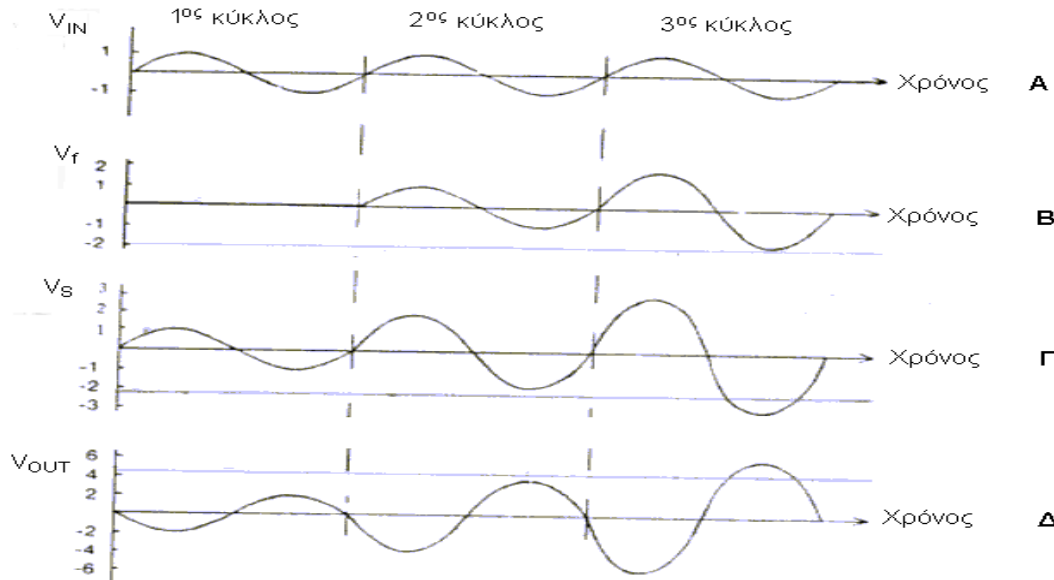
Μικροκυματικές Διατάξεις



Σχήμα 7: Ενισχυτής με θετική ανάδραση.

$$\square V_f = -y V_{out}, \quad V_S = V_{in} + V_f, \quad V_{out} = -A V_S$$

▪ Η τάση αναδράσεως είναι ένα μέρος της τάσης εξόδου με 180° μετατόπιση φάσεως. Αυτή η τάση αναδράσεως είναι σε φάση με την τάση εισόδου έτσι ώστε η τάση του αθροίσματος που εισέρχεται στον ενισχυτή συνεχίζει να αυξάνεται. Αν η είσοδος στον ενισχυτή αυξηθεί, τότε και η έξοδος θα αυξηθεί. Η θετική ανάδραση παράγει μία ασταθή κατάσταση επιτρέποντας την έξοδο του ενισχυτή να συνεχίζει να αυξάνεται.

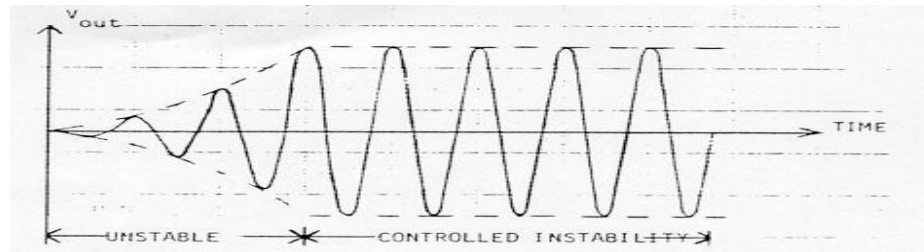


Σχήμα 8: Διαγράμματα χρονισμού που δείχνουν το πλάτος της εξόδου.

$$(A=2, y=0,5)$$

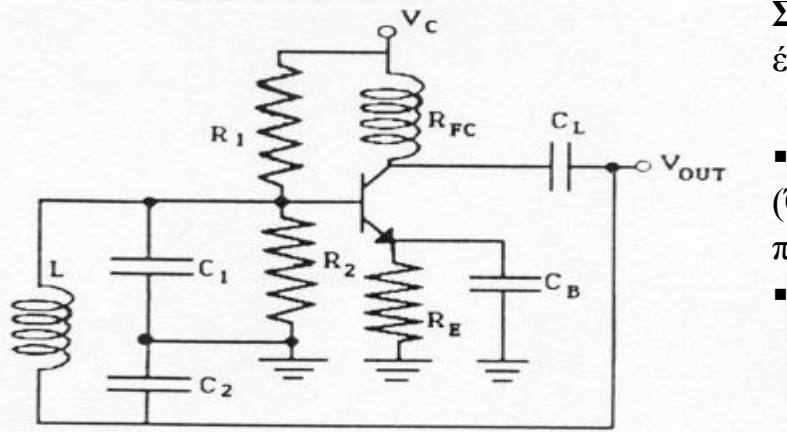
Μικροκυματικές Διατάξεις

- Υπάρχουν κάποια όρια που αποτρέπουν το ασταθές κύκλωμα να αυξάνεται χωρίς όρια. Γενικά, η τάση του τροφοδοτικού θα περιορίσει τις πολύ μεγάλες τάσεις του σήματος. Ο αυτο-κορεσμός του τρανζίστορ επίσης θα περιορίσει την τάση εξόδου.



Σχήμα 9: Η τάση εξόδου ενός ενισχυτή με θετική ανάδραση.

Ταλαντωτής Colpitts



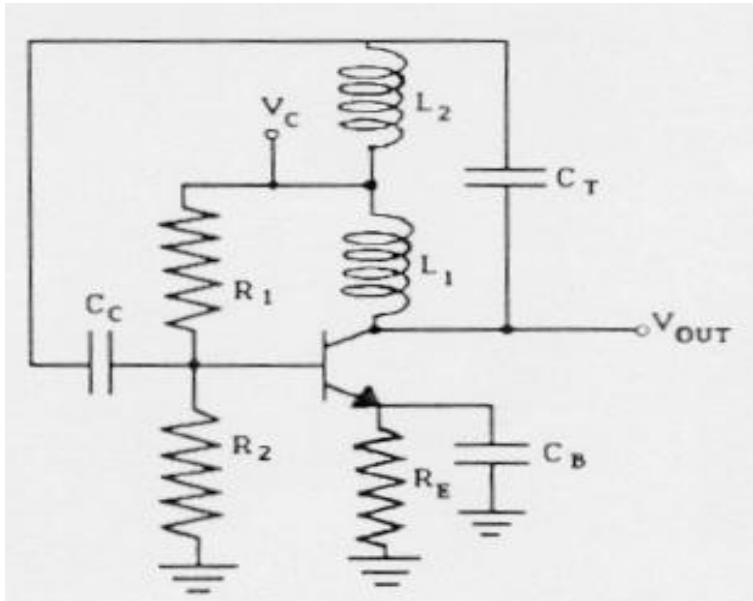
Σχήμα 10: Κύκλωμα ενός ταλαντωτή Colpitts χρησιμοποιώντας ένα npn τρανζίστορ.

- Το συντονισμένο κύκλωμα σχηματίζεται από τα C_1 , C_2 και L (Όλα τα υπόλοιπα στοιχεία του κυκλώματος χρειάζονται για την πόλωση του τρανζίστορ).
- Συχνότητα συντονισμού:

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(C_1 + C_2)}{LC_1C_2}}$$

Μικροκυματικές Διατάξεις

Ταλαντωτής Hartley



Σχήμα 11: Κύκλωμα ενός ταλαντωτή Hartley χρησιμοποιώντας ένα *npn* τρανζίστορ.

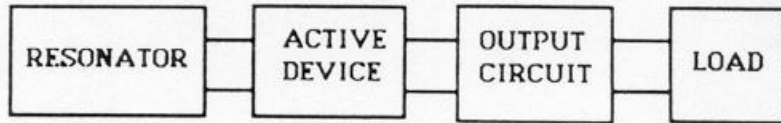
- Η διαδρομή αναδράσεως από τον συλλέκτη στη βάση γίνεται μέσα από τα στοιχεία C_T , L_1 και L_2 , τα οποία συνθέτουν το συντονισμένο δίκτυο (όλα τα υπόλοιπα στοιχεία του κυκλώματος χρειάζονται για την πόλωση του τρανζίστορ).

$$2\pi\sqrt{C_T(L_1 + L_2)}$$

- Συχνότητα συντονισμού:

Μικροκυματικές Διατάξεις

Ταλαντωτές αρνητικής αντίστασης



Σχήμα 12: Block διάγραμμα ενός ταλαντωτή αρνητικής αντίστασης.

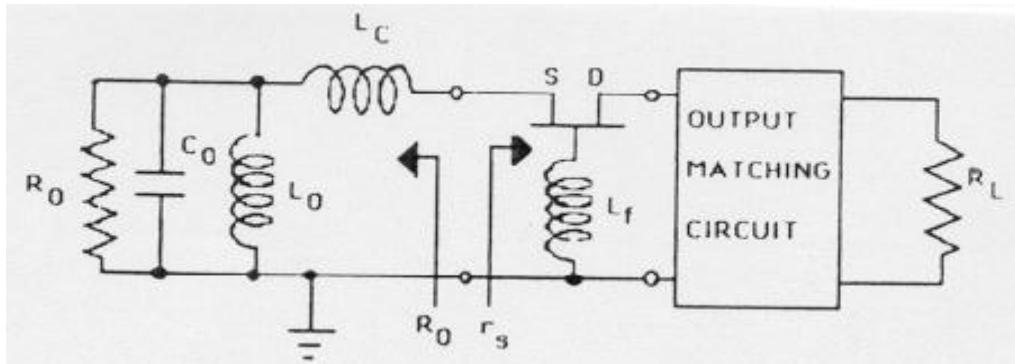
- Ο σκοπός της ενεργού συσκευής είναι να παράγει μία αρνητική αντίσταση που να είναι μεγαλύτερη από τη θετική αντίσταση του συντονιστή, δηλαδή:

$$R_{device} > R_{res}$$

Αυτή η συνθήκη παράγει την αστάθεια που είναι απαραίτητη για ταλάντωση.

- Ο σκοπός του κυκλώματος εξόδου είναι να συζεύξει RF ενέργεια στο φορτίο.

Ταλαντωτής αρνητικής αντίστασης με συντονιστή YIG



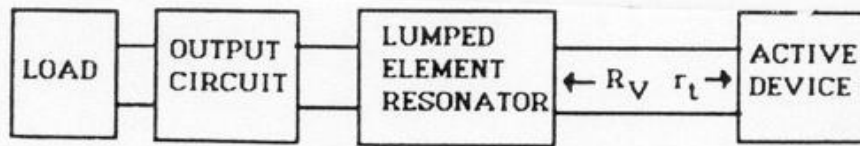
Σχήμα 13: Σχηματική αναπαράσταση ενός ταλαντωτή, ρυθμιζόμενος από το συντονιστή YIG.

- Η ενεργός συσκευή είναι ένα FET το οποίο παράγει μία αρνητική RF αντίσταση, χρησιμοποιώντας μία μικρή επαγωγή από την πύλη στη γείωση. Για να συμβούν ταλαντώσεις, θα πρέπει το μέτρο της αρνητικής αντίστασης από το FET r_s , να είναι μεγαλύτερο από τη θετική αντίσταση του συντονιστή YIG, R_o .

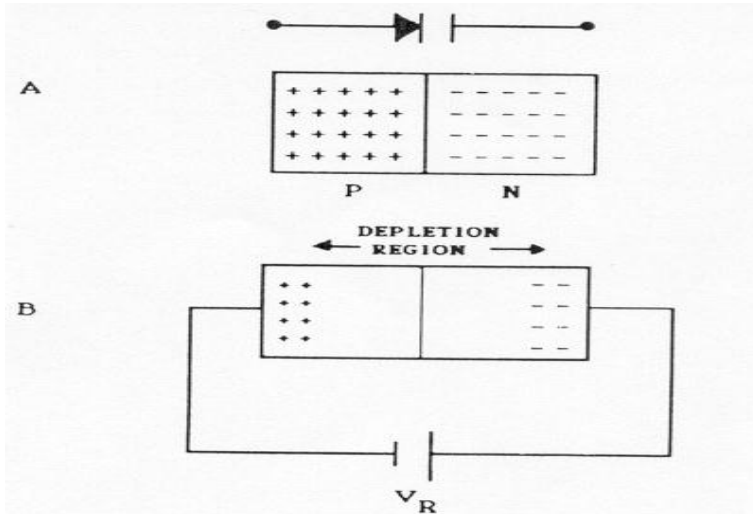
Μικροκυματικές Διατάξεις

Ταλαντωτής αρνητικής αντίστασης ρυθμιζόμενος από δίοδο varactor (VCO)

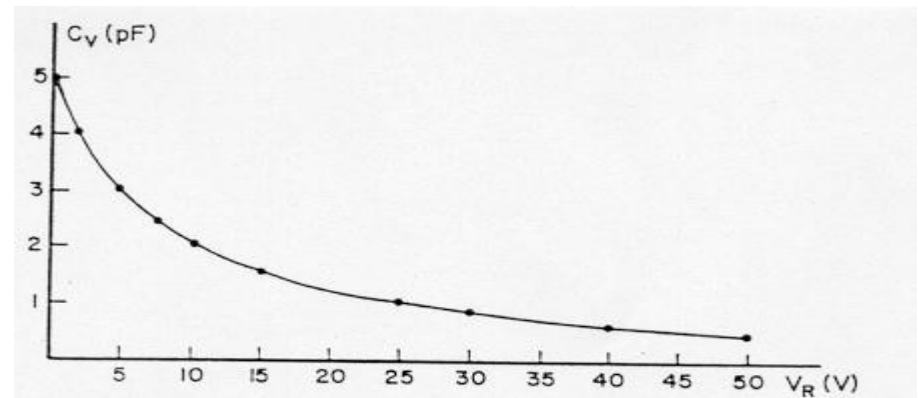
- Οι ταλαντωτές αρνητικής αντίστασης ρυθμιζόμενοι από δίοδο varactor, ονομάζονται **ταλαντωτές ελεγχόμενοι από τάση (Voltage-Controlled Oscillators-VCO)** στη βιομηχανία, επειδή η συχνότητα συντονισμού του συντονιστή μπορεί να μεταβληθεί μεταβάλλοντας την τάση στα άκρα μίας διόδου varactor.



Σχήμα 14: Ένα block διάγραμμα ενός ταλαντωτή ελεγχόμενου από τάση (VCO).

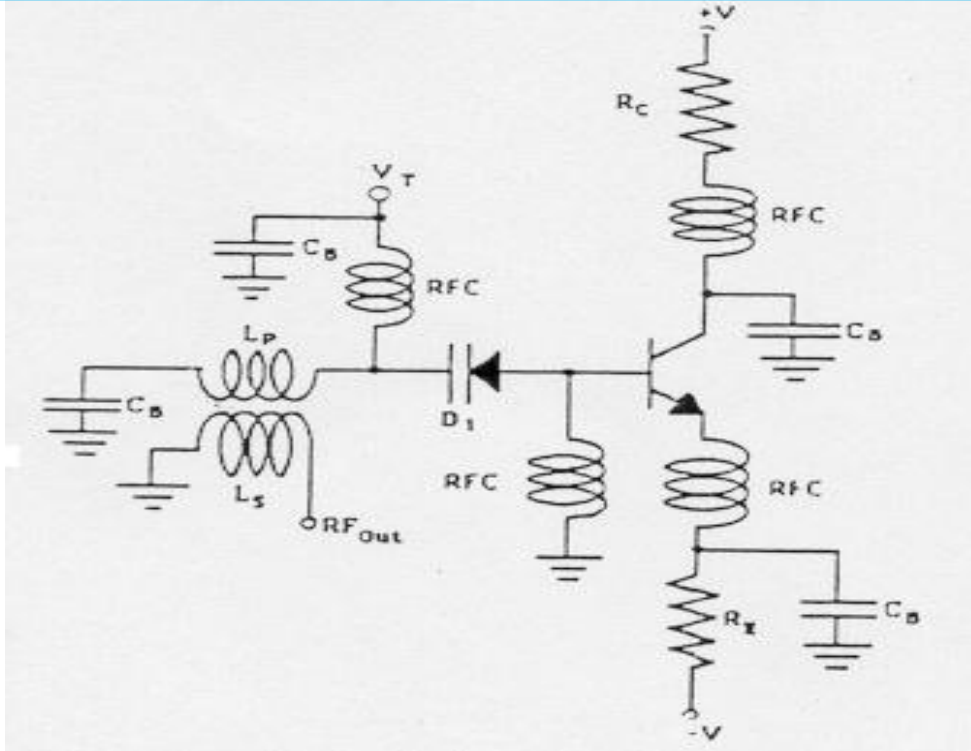


Σχήμα 15: Μία δίοδος varactor πολωμένη με ανάστροφη πόλωση.

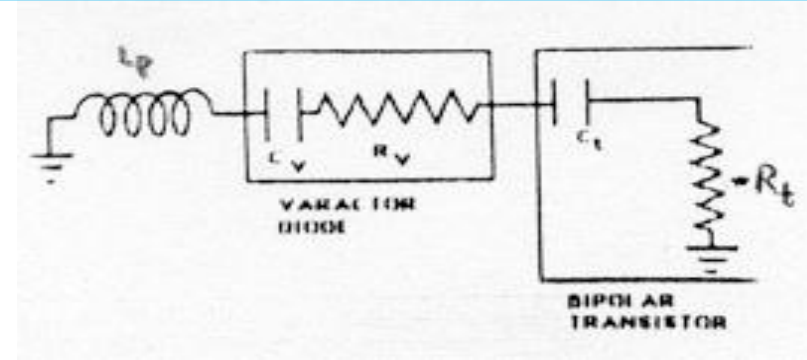


Σχήμα 16: Χωρητικότητα της διόδου varactor σε σχέση με την εφαρμοζόμενη τάση.

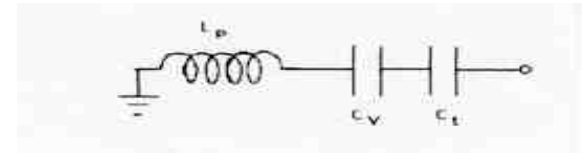
Μικροκυματικές Διατάξεις



Σχήμα 17: Το κυκλωματικό διάγραμμα ενός ταλαντωτή ελεγχόμενου από τάση χρησιμοποιώντας μία δίοδο varactor.



Σχήμα 18: Το RF ισοδύναμο κύκλωμα του συντονιζόμενου από τάση ταλαντωτή.



Σχήμα 19: Η σύνδεση των L_p , C_v και C_t σε σειρά, έχει ως αποτέλεσμα ένα συντονισμένο κύκλωμα.

- Συχνότητα συντονισμού: $f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_p C_{eq}}}$
- Ισοδύναμη χωρητικότητα: $C_{eq} = \frac{C_v C_t}{C_v + C_t}$

Τέλος Ενότητας

