



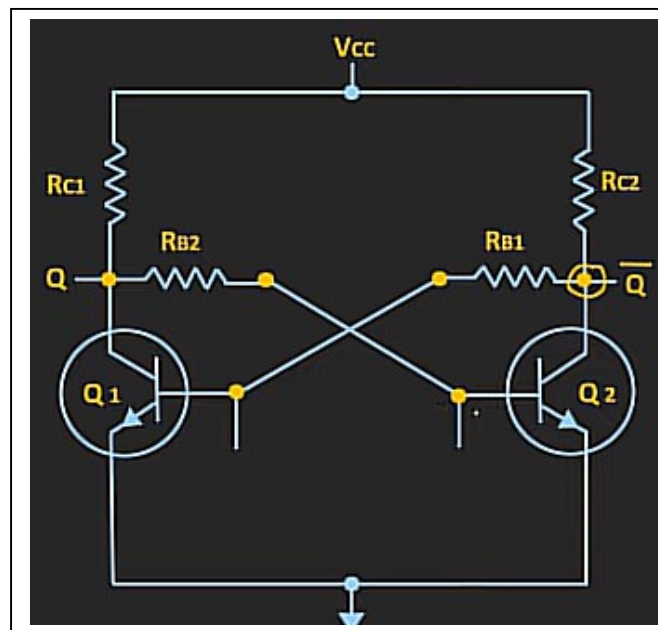
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πτυχιακή Εργασία

Μελέτη Λειτουργίας Πολυδονητών



Φοιτήτρια: Νεφέλη Πίσχου - Βαγιωνή

ΑΜ: 05999

Φοιτητής: Αθανάσιος Κουλούρης

ΑΜ: 05424

Επιβλέπων Καθηγητής

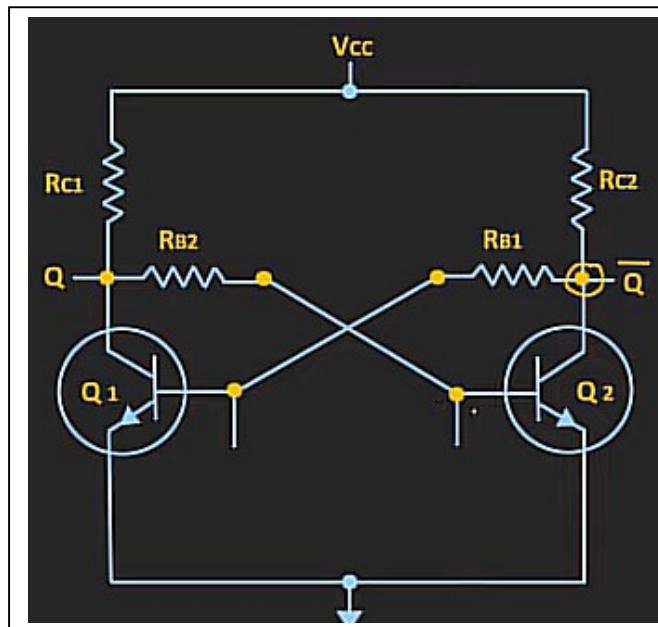
Ηλίας Σταύρακας

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, Ιούλιος 2024



Diploma Thesis

Operation of Multi-vibrators



Student: Nefeli Pischou - Vagioni

Registration Number: 05999

Student: Athanasios Koulouris

Registration Number: 05424

Supervisor

Elias Staurakas

Professor

ATHENS-EGALEO, July 2024

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ , Νεφέλη Πίσχου – Βαγιωνή και Αθανάσιος Κουλούρης, Ιούλιος 2024

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Νεφέλη Πίσχου του Ιωσήφ , με αριθμό μητρώου 05999 και ο κάτωθι υπογεγραμμένος Αθανάσιος Κουλούρης του Παναγιώτη , με αριθμό μητρώου 05424 φοιτητές του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος/ουσας καθηγητή/ήτριας.»

Ο/Η Δηλών/ούσα
Νεφέλη Πίσχου
Αθανάσιος Κουλούρης

(Υπογραφή φοιτητήτριας /ή)

N. Pischou Koulouris A

{Σελίδα αφιέρωσης (προαιρετικά)}

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Καθηγητή μας Κο. Ηλία Σταύρακα τόσο για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε αναθέτοντας μας την διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας, όσο και για την άριστη συνεργασία μας για την επιτυχημένη ολοκλήρωσή της.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας και τα κοντινά μας πρόσωπα, που με την αμέριστη υποστήριξη και εμπιστοσύνη που μας έδειξαν καθόλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μας συνέβαλαν αποφασιστικά στην επίτευξη αυτού του στόχου.

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται η λειτουργία και οι αρχές των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων των πολυδονητών. Οι πολυδονητές αποτελούν διατάξεις, οι οποίες κατατάσσονται με βάση τον τύπο των δύο καταστάσεων λειτουργίας τους (ευσταθείς και ημι-ευσταθείς). Έτσι, προκύπτουν τρεις κλάσεις πολυδονητών: οι μονοσταθείς, οι δισταθείς και οι ασταθείς. Ο χειρισμός της περιοδικής λειτουργίας όλων των κλάσεων πολυδονητών, βασίζεται στην επιλογή κατάλληλων ηλεκτρονικών στοιχείων, κυρίως αντιστάσεων και πυκνωτών που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της σταθεράς χρόνου των κυκλωμάτων για τις διαδικασίες μετάβασης που συντελούνται μεταξύ των καταστάσεων τους. Η επιλογή αυτή, ρυθμίζει και το χρόνο μετάβασης και κατά συνέπεια, την περίοδο/συχνότητα λειτουργίας τους. Οι μονοσταθείς και οι δισταθείς πολυδονητές απαιτούν για τη λειτουργία τους, επιπρόσθετα από το κύκλωμα τους, εξωτερικά σήματα σκανδαλισμού.

Οι εφαρμογές χρήσης των κυκλωμάτων των πολυδονητών, είναι πολλές και αφορούν σε ένα σημαντικό πλήθος κυκλωμάτων που τους χρησιμοποιούν ως δομικά στοιχεία. Οι πολυδονητές αποτελούν βασικά αναλογικά κυκλώματα που χρησιμοποιούνται όμως ως βασικές διατάξεις και για την παραγωγή ψηφιακών κυκλωμάτων (μανδαλωτές, flip-flops). Επομένως, οι πολυδονητές κατασκευάζουν τα βασικά δομικά στοιχεία της ψηφιακής λογικής, τα οποία επιτρέπουν την ανάπτυξη πολύπλοκων αλγοριθμικών μηχανών καταστάσεων (μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων).

Τα κυκλώματα των πολυδονητών μπορούν να υλοποιηθούν με τη χρήση ενεργών στοιχείων, όπως λογικές πύλες, transistors και ΤΕ. Ορισμένες κυκλωματικές υλοποιήσεις τους, χρησιμοποιούν επίσης, το κλασικό κύκλωμα χρονιστή 555. Τα κυκλώματα που παράγονται και η λειτουργία τους, είναι μη γραμμική. Επομένως, η ανάλυση της λειτουργίας των κυκλωμάτων τους, γίνεται κατά χρονικές περιόδους (φασεις), γνωρίζοντας την κατάσταση στην οποία έχουν περιέλθει τα ενεργά στοιχεία του κυκλώματος.

Η πτυχιακή εργασία οργανώνει την παρουσίαση των πολυδονητών, παρουσιάζοντας στην εισαγωγή της, την έννοια των καταστάσεων του πολυδονητή. Στη συνέχεια, προχωρά στην κατηγοριοποίηση των κλάσεων των πολυδονητών, με βάση τον χαρακτηρισμό της ευστάθειας των καταστάσεων τους. Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται οι αρχές λειτουργίας των μονοσταθών πολυδονητών, με τα αντίστοιχα κυκλώματα με χρήση διαφόρων τύπων ενεργών στοιχείων. Επιπλέον, αναλύονται οι κυματομορφές εξόδου τους και υπολογίζεται η συχνότητα λειτουργίας τους. Τα Κεφάλαια 2 και 3 παρουσιάζουν την αντίστοιχη πληροφορία για τους δισταθείς και ασταθείς πολυδονητές, αντίστοιχα. Κλείνοντας, στο Κεφάλαιο 4, παρουσιάζονται τα συγκριτικά συμπεράσματα από την παρουσίαση των κλάσεων των πολυδονητών και οι γενικότερες εφαρμογές των κυκλωμάτων τους. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις τεχνολογίες κατασκευής τους καθώς και στις εφαρμογές τους.

Λέξεις – κλειδιά

Πολυδονητές, μονοσταθείς,, δισταθείς, ασταθείς, σήματα σκανδαλισμού, πύλες, μανδαλωτές, flip-flops, transistors, τελεστικοί ενισχυτές, τεχνολογίες ολοκλήρωσης, χρονιστής 555, βρόχος υστέρησης, περιοχή λειτουργίας κόρου - αποκοπής, μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων, κυματομορφές εξόδου.

Abstract

In the current thesis the operation and principles of electronic circuits of multivibrators are presented. Multivibrators are circuits, which are classified based on the type of their two operating states (stable and quasi-stable). Thus, three classes of multivibrators arise; monostable, bistable and unstable multivibrators. The manipulation of the periodic operation of all classes is based on the selection of appropriate electronic components, mainly resistors and capacitors used to adjust the time constant of the circuits for the transition processes that take place between their states. This option also regulates the transition time and, consequently, the period/frequency of their operation. Monostable and bistable multivibrators require for their operation, in addition to their circuit, external triggering signals.

The applications of multivibrators are many and concern a significant number of circuits that use them as structural elements. Multivibrators are basic analog circuits that are also used as basic elements for the production of digital circuits (latches, flip-flops). Therefore, multivibrators construct the basic building blocks of digital logic, which enable the development of complex algorithmic state machines (finite state machines).

Multivibrator circuits designed using active elements such as logic gates, transistors and op-amps. Some circuit implementations also use the classic 555 IC timer circuit. The circuits produced and their operation are non-linear. Therefore, the analysis of the operation of their circuits is performed in time periods (phases), based on current state in which the active elements of the circuit have been entered.

Thesis organizes the presentation of multivibrators, presenting in its introduction, the concept of states of the multivibrator. It then proceeds to categorize the classes of multivibrators, based on the characterization of the stability of their states. Chapter 1 presents the operating principles of monostable multivibrators, with the corresponding circuits using various types of active elements. In addition, their output waveforms are analyzed and their operating frequency is calculated. Chapters 2 and 3 present the corresponding information for bistable and astable multivibrators, respectively. Finally, in Chapter 4, the comparative conclusions from the presentation of the classes of multivibrators and the more general applications of their circuits are presented. Particular emphasis is placed on their manufacturing technologies as well as their applications.

Keywords

Multivibrators, monostable, bistable, astable, triggering signals, gates, latches, flip-flops, transistors, operational amplifiers, integration technologies, 555 timer circuit, hysteresis loop, saturation-cutoff regions of operation, finite state machines, output waveforms.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων.....	11
Κατάλογος Σχημάτων	11
Αλφαβητικό Ευρετήριο.....	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	16
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....	17
Σκοπός και στόχοι	18
Μεθοδολογία.....	18
Καινοτομία	18
Δομή	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Μονσταθείς Πολυδονητές.....	20
1.1 Αρχή Λειτουργίας Μονοσταθής Πολυδονητή	20
1.2 Τυπικά Κυκλώματα Μονοσταθής Πολυδονητή.....	20
1.2.1 Κατασκευή με πύλες.....	20
1.2.1.1 Κύκλωμα με πύλες τύπου NAND	20
1.2.1.2 Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος με πύλες τύπου NAND	22
1.2.1.3 Κύκλωμα με πύλες τύπου NOT	22
1.2.1.4 Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος με πύλες τύπου NOT	23
1.2.1.5 Κύκλωμα με πύλες τύπου NOR.....	23
1.2.1.6 Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος με πύλες τύπου NOR.....	24
1.2.2 Κατασκευή με transistors	25
1.2.2.1 Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος με transistors.....	27
1.2.3 Κατασκευή με TE (OP-AMPS).....	29
1.2.3.1 Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος με TE (op-amps).....	29
1.2.4 Εναλλακτική κατασκευή με TE (OP-AMPS).....	30
1.2.4.1 Κυματομορφή εξόδου εναλλακτικού κυκλώματος με TE (op-amps)	31
1.2.5 Άλλα κυκλώματα μονοσταθών πολυδονητών	31
1.3 Υπολογισμός συχνότητας ταλάντωσης μονοσταθής πολυδονητή	33
1.4 Εφαρμογές χρήσης μονοσταθών πολυδονητών	34
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Δισταθείς Πολυδονητές.....	35
2.1 Αρχή Λειτουργίας Δισταθής Πολυδονητή	35
2.2 Τυπικά Κυκλώματα Δισταθής Πολυδονητή	36
2.2.1 Κατασκευή με πύλες.....	36
2.2.1.1 Κύκλωμα με πύλες τύπου NAND	36
2.2.1.2 Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος με πύλες τύπου NAND	37
2.2.1.3 Κύκλωμα μανδαλωτή SR με πύλες τύπου NOR	37
2.2.2 Κατασκευή με transistors	38
2.2.2.1 Κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών σταθερής πόλωσης	38
2.2.2.2 Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος transistors συζευγμένων συλλεκτών με σταθερή πόλωση	39
2.2.2.3 Κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών σταθερής πόλωσης με χρήση διόδων πρόσδεσης	40
2.2.2.4 Κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών αυτοπόλωσης.....	41

<i>Μελέτη Λειτουργίας Πολυδονητών</i>	
2.2.2.5	Κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών αυτοπόλωσης με πυκνωτές επιτάχυνσης.....42
2.2.3	Κατασκευή με OP-AMPs43
2.2.3.1	Κύκλωμα με TE (op-amp)44
2.2.3.2	Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος TE (op-amp)45
2.2.4	Άλλα κυκλώματα46
2.3	Υπολογισμός συχνότητας ταλάντωσης Δισταθή πολυδονητή48
2.4	Εφαρμογές χρήσης δισταθών πολυδονητών.....48
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Ασταθείς Πολυδονητές 50
3.1	Αρχή Λειτουργίας Ασταθή Πολυδονητή50
3.2	Τυπικά Κυκλώματα Ασταθή Πολυδονητή51
3.2.1	Κατασκευή με πύλες.....51
3.2.1.1	Κύκλωμα με πύλες τύπου NOT51
3.2.1.2	Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος με πύλες τύπου NOT52
3.2.1.3	Υπολογισμός Συχνότητας ταλάντωσης κυκλώματος με πύλες τύπου NOT.....52
3.2.2	Κατασκευή με transistors53
3.2.2.1	Κύκλωμα συζευγμένων εκπομπών54
3.2.2.2	Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος με BJT.....55
3.2.2.3	Υπολογισμός Συχνότητας ταλάντωσης κυκλώματος με BJT56
3.2.3	Κατασκευή με OP-AMPs56
3.2.3.1	Κύκλωμα με TE (op-amp)56
3.2.3.2	Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος TE (op-amp)57
3.2.3.3	Υπολογισμός Συχνότητας ταλάντωσης κυκλώματος με TE (op-amp).....58
3.2.4	Άλλα κυκλώματα59
3.3	Εφαρμογές χρήσης ασταθών πολυδονητών61
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Σύγκριση Πολυδονητών - Συμπεράσματα 62
4.1	Σύγκριση των διαφορετικών κλάσεων πολυδονητών.....62
4.2	Εφαρμογές64
4.3	Γενικά Συμπεράσματα.....65
5	Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές 67
Παράρτημα Α - Καθορισμός συχνότητας ασταθούς πολυδονητή..... 69	
Παράρτημα Β - Ολοκληρωμένα Κυκλώματα μονοσταθών πολυδονητών 69	

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Πίνακας καθορισμού των αντιστάσεων - χωρητικότητων του ασταθούς πολυδονητή για την παραγωγή καθορισμένης συχνότητας ταλάντωσης

Πίνακας 2: Μονοσταθείς πολυδονητές διαθέσιμοι σε ολοκληρωμένα κυκλώματα

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Κύκλωμα μονοσταθούς πολυδονητή με χρήση πυλών τύπου NAND

Σχήμα 2: Κυματομορφή κυκλώματος μονοσταθής πολυδονητή με πύλες τύπου NAND

Σχήμα 3: Κύκλωμα μονοσταθούς πολυδονητή με χρήση πυλών τύπου NOT

Σχήμα 4: Κύκλωμα μονοσταθούς πολυδονητή με χρήση πυλών τύπου NOR

Σχήμα 5: Κυματομορφή κυκλώματος μονοσταθής πολυδονητή με πύλες τύπου NOR

Σχήμα 6: Κύκλωμα μονοσταθούς πολυδονητή με χρήση BJT transistors

Σχήμα 7: Μεταβολή της τάσης στην βάση του Q2

Σχήμα 8: Κυματομορφές συλλέκτη και βάσης για τα Q1 και Q2 στον μονοσταθής πολυδονητή

Σχήμα 9: Κύκλωμα μονοσταθής πολυδονητή με TE (op-amps)

Σχήμα 10: Κυματομορφές κυκλώματος μονοσταθής πολυδονητή με TE

Σχήμα 11: Εναλλακτικό κύκλωμα μονοσταθής πολυδονητή με τελεστικούς ενισχυτές TE (op-amps)

Σχήμα 12: Κυματομορφές εναλλακτικού κυκλώματος μονοσταθής πολυδονητή με TE

Σχήμα 13: Κύκλωμα μονοσταθής πολυδονητή με BJT σε απευθείας ζεύξη εκπομπών

Σχήμα 15: Κύκλωμα μονοσταθής πολυδονητή με χρήση δύο TE και μεγάλο κύκλο χρονικής διάρκειας (long delay)

Σχήμα 16: Ολοκληρωμένο Κύκλωμα μονοσταθής πολυδονητή IC 74LS121 με χρήση εξωτερικού κυκλώματος αναφοράς

Σχήμα 17: Κατασκευή μονοσταθής πολυδονητή με χρήση του χρονιστή 555 και εξωτερικό κύκλωμα αναφοράς

Σχήμα 18: Μηχανικό ανάλογο σύστημα ενός δισταθούς πολυδονητή

Σχήμα 19: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με χρήση πυλών τύπου NAND

Σχήμα 20: Κυματομορφή κυκλώματος δισταθής πολυδονητή με πύλες τύπου NAND

Σχήμα 21: Μανδαλωτής SR (a) κύκλωμα με χρήση πυλών NOR (b) Πίνακας διέγερσης του μανδαλωτή

Σχήμα 22: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με BJT transistors σε κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών σταθερής πόλωσης

Σχήμα 23: Κυματομορφές συλλεκτών για τα Q1 και Q2 στον δισταθή πολυδονητή με BJT transistors συζευγμένων συλλεκτών με σταθερή πόλωση

Σχήμα 24: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με BJT transistors σε κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών σταθερής πόλωσης με διόδους πρόσδεσης

Σχήμα 25: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με BJT transistors σε κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών αυτοπόλωσης

Σχήμα 26: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με BJT transistors σε κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών αυτοπόλωσης με πυκνωτές επιτάχυνσης

Σχήμα 27: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με TE (op-amps) και χρήση του βασικού βρόχου υστέρησης

Σχήμα 28: Βρόχος υστέρησης στο κύκλωμα θετικής ανάδρασης του TE

Σχήμα 29: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με χρήση TE (op-amp)

Σχήμα 30: Κυματομορφές εξόδου του κυκλώματος δισταθούς πολυδονητή με TE (op-amps)

Σχήμα 31: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με πύλες τύπου NAND και εξωτερικό διακόπτη μεταλλαγής παλμού

Σχήμα 32: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με BJT transistors (non-saturating binary)

Σχήμα 33: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με BJT transistors (unsymmetrical triggering)

Σχήμα 34: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με BJT transistors απευθείας ζεύξης (direct connection binary)

Σχήμα 35: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή για SR Flip-Flop με σήμα ρολογιού φ

Σχήμα 36: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με χρήση του χρονιστή 555

Σχήμα 37: Block διάγραμμα κατασκευής ενός ασταθούς πολυδονητή με χρήση βρόχου υστέρησης και δικτύωμα RC

Σχήμα 38: Κύκλωμα ασταθούς πολυδονητή με χρήση πυλών τύπου NOT

Σχήμα 39: Κυματομορφή κυκλώματος ασταθής πολυδονητή με πύλες τύπου NOT

Σχήμα 40: Κύκλωμα ασταθής πολυδονητή συζευγμένων εκπομπών με χρήση BJT

Σχήμα 41: Κυματομορφές εξόδου του κυκλώματος ασταθούς πολυδονητή με BJT

Σχήμα 42: Κύκλωμα ασταθής πολυδονητή με χρήση TE (op-amps)

Σχήμα 43: Κυματομορφές εξόδου του κυκλώματος ασταθούς πολυδονητή με TE (op-amps)

Σχήμα 44: Κύκλωμα ασταθούς πολυδονητή με πύλες τύπου NAND

Σχήμα 45: Κύκλωμα ασταθούς πολυδονητή με πύλες τύπου NOR

Σχήμα 46: Κύκλωμα ασταθούς πολυδονητή με TE (op-amps) για μεταβλητή συχνότητα ταλάντωσης [X]

Σχήμα 47: Κύκλωμα ασταθούς πολυδονητή με χρήση του χρονιστή 555 [XI]

Σχήμα 48: Κύκλωμα ασταθούς πολυδονητή με χρήση του ολοκληρωμένου IC 74121

Αλφαβητικό Ευρετήριο

Όρος	Ενότητα
Ακολουθιακά κυκλώματα	2.4, 4.2
Αμοιβαία Αποκλειόμενες Καταστάσεις	4.1
Αναδιπλούμενος πολυδονητής	3
Ανακατασκευή παλμών	1.4
Απαγωγή θερμότητας	4.3
Ανάδραση	1.2.1.5, 3.2.2.1
Αρνητικός κόρος	3.2.3.1
Αρχή διατήρησης φορτίου	3.2.2.1
Ασταθείς πολυδονητές	3
Αυτοπόλωση	2.2.2, 2.2.2.4, 2.2.2.5
Βρόχος Ανάδρασης	2.2.3
Βρόχος υστέρησης	2.2.3, 3.1, 3.2.3, 3.2.3.1, 4.1
Γραμμές καθυστέρησης χρόνου	4.3
Διαίρεση συχνότητας	2.4
Διακόπτης δύο μεταβάσεων	2.2.1.1
Διακύμανση τάσης εξόδου	2.2.2.1, 2.2.2.3
Δίοδος	1.2.1.3, 1.2.3
Δισταθείς πολυδονητές	2
Δυναδικός Μετρητής	2.4, 4.2
Εκθετική εκφόρτιση	1.2.3, 3.1
Εκθετική φόρτιση	1.2.1.1, 1.2.2, 3.1, 3.2.1.3
Επικοινωνία Ραδιοσυχνοτήτων	3.3, 4.2
Ευαισθησία	4.3
Ευσταθείς καταστάσεις	2, 2.1, 2.2.2.4, 4.1
Ζεύγος πυλών Schmitt	2.2.1.1
Ημι-ευσταθείς καταστάσεις	1.1, 1.2.1.5, 1.2.2, 1.2.2.1, 1.2.3, 1.2.4, 1.3, 3, 3.1, 3.2, 3.2.1.1, 3.2.2.1, 3.2.2.2, 3.2.2.3, 3.2.3.3, 4.1
Θετική ανάδραση	1.2.1.1, 1.2.3, 2.2.3, 3.2.3
Θετικός κόρος	3.2.3.1

Μελέτη Λειτουργίας Πολυδονητών	
Κατανάλωση ισχύος	2.4, 4.1, 4.3
Κατώφλι ανίχνευσης λογικού σήματος	3.2.1.3, 4.1
Κύκλωμα αποθήκευσης	1.4, 2, 2.4, 4.2
Κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών	2.2.2.1, 2.2.2.2, 2.2.2.3, 2.2.2.4, 2.2.2.5
Κύκλωμα συζευγμένων εκπομπών	3.2.2, 3.2.2.1
κυκλώματα Eccles Jordon	2
Κώδικας Morse	3.3, 4.2
Λογικές Πύλες	1.2, 1.2.1, 1.2.1.1, 1.2.1.2, 1.2.1.3, 1.2.1.4, 1.2.1.5, 1.2.1.6, 2.2, 2.2.1, 2.2.1.1, 2.2.1.2, 2.2.1.3, 3.2, 3.2.1, 3.2.1.1, 3.2.1.2, 3.2.1.3, 4.1, 4.3
Μανδαλωτής	2.2.1, 2.2.1.1, 2.2.1.3, 2.4, 4.2, 4.3
Μεταβάσεις	1.1, 1.2.1.5, 1.2.2, 2.2.1.1, 2.2.2.4, 2.2.2.5, 2.2.3, 3, 3.2.1.3, 3.2.2.1, 3.2.2.2, 3.2.3.1, 4.1
Μετατροπéας συχνότητας	3
Μετατροπéας χρόνου	1
Μήκος Ενεργού Μετώπου	1.2.1.1, 3.2.2.3, 4.1
Μηχανικό ανάλογο	2
Μονοσταθείς πολυδονητές	1
Ολοκληρωμένο κύκλωμα	1.2.2, 1.2.5, 2.2.4, 4.1, 4.3
Περιοχή αποκοπής	1.2.2, 1.3, 2.2.2.1, 2.2.2.4, 2.3, 3.2.2.1, 4.1
Περιοχή κόρου	1.2.2, 1.3, 2.2.2.1, 2.2.2.3, 2.2.2.4, 2.2.2.5, 2.3, 3.2.2.1, 4.1
Πίνακας αληθείας	1.2.1, 2.2.1, 3.2.1
Προγραμματιζόμενες ψηφιακές δομές	4.3
Προσθετικός θόρυβος	4.1
Πυκνωτές επιτάχυνσης	2.2.2.5, 2.3
Πυκνωτής συσσώρευσης	1.2.2
Πύλες Schmitt NAND	2.2.1.1
Σήμα αρνητικής λογικής	1.2.1.1, 1.2.1.3, 1.2.1.6, 1.2.3, 2.1
Σήμα αρχικοποίησης	2.2.1.1, 2.2.1.3, 2.2.2.1
Σήμα θέσης	2.2.1.1, 2.2.1.3, 2.2.2.1
Σήμα θετικής λογικής	1.2.1.1, 1.2.1.5, 1.2.1.6, 1.2.2, 2.1, 2.2.1.3, 2.2.2.1
Σήμα ρολογιού	2.2.4, 2.4, 4.2
Σήμα σκανδαλισμού	1.1, 1.2.1.1, 1.2.1.3, 1.2.1.4, 1.2.1.5, 1.2.2, 1.2.4, 1.3, 2.1, 2.2.1.1, 2.2.2.1, 2.2.2.5, 2.2.3.1, 2.3, 3, 4.1
Σταθερά χρόνου	1.2.1.1, 1.2.2, 1.3, 3.1, 3.2.1.1, 3.2.1.3, 3.2.3.3
Σταθερή πόλωση	2.2.2.1, 2.2.2.2, 2.2.2.3
Συχνότητα ταλάντωσης	1.3, 2.3, 3.2.1.3, 3.2.2.3, 3.2.3.3
Τελεστικός Ενισχυτής	1.2.3, 1.2.3.1, 1.2.4, 1.2.4.1, 2.2.3, 2.2.3.1, 2.2.3.2, 3.2.3, 3.2.3.1, 3.2.3.2, 3.2.3.3

Μελέτη Λειτουργίας Πολυδονητών

Τεχνολογίες ολοκλήρωσης	4.1, 4.3
Τριγωνικές κυματομορφές	3.2.3.3
Τροφοδοτικά ισχύος	3.3, 4.2
Φαινόμενο Miller	4.1
Χρονιστής 555	1.2.5, 2.2.4, 3.2.4, 4.1, 4.3
Χρόνος ανόδου	2.2.2.5
Χρόνος αποκατάστασης	2.2.2.5
Χρόνος επίλυσης	2.2.2.5
Χρόνος μετάβασης	2.2.2.5
Bipolar Junction Transistors - BJTs	1.2.2, 2.2.2, 3.2.2
Field Effect Transistors - FETs	1.2.5
Flip-flops	2, 2.2.4, 2.4, 4.2
Output voltage swing	2.2.2.1
Pulse Width Modulation - PWM	1.4
Relays	2.4
Toggle switch	2.2.1.1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κυκλώματα των ταλαντωτών (oscillators) όπως και των πολυδονητών (multi-vibrators), ανήκουν στην κατηγορία κυκλωμάτων παραγωγής κυματομορφών (pulse - waveform generators). Τα κυκλώματα αυτά είναι βασικά - δομικά κυκλώματα για τη λειτουργία των μεγαλύτερης κλίμακας συστημάτων, είτε παράγοντας σήματα ειδικού τύπου - ελέγχου (παλμοί, τριγωνικές κυματομορφές - πριονωτές τάσεις, σήματα σκανδαλισμού - διεγέρσεως - αναφοράς ανίχνευσης συνθηκών, κ.λπ), είτε παράγοντας περιοδικά σήματα χρονισμού για τη λειτουργία ψηφιακών και άλλων συστημάτων (σήματα ρολογιού - clock signals) καθορισμένης συχνότητας και διάρκειας ενεργού μετώπου (duty cycle) [1].

Τα χαρακτηριστικά των παραγόμενων σημάτων, μπορούν με βάση τα παραπάνω κυκλώματα να ρυθμιστούν τόσο ως προς το επίπεδο του πλάτους (διακύμανση - offset) όσο και ως προς το πεδίο του χρόνου/συχνότητας, ρυθμίζοντας παραμέτρους όπως: η περίοδος (period), το μήκος ενεργού μετώπου, κ.λπ. Οι ρυθμίσεις των μεγεθών αυτών γίνονται με την κατάλληλη επιλογή τιμών για τις αντιστάσεις, πυκνωτές ή των άλλων στοιχείων που μετέχουν στη σύνθεση του κυκλώματος σε συνδυασμό με τα ενεργά στοιχεία, εφόσον αυτά υλοποιούνται με διακριτά στοιχεία, είτε με τη χρήση γραμμών καθυστέρησης χρόνου (delay lines). Στην περίπτωση των ολοκληρωμένων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων με βάση τις προσφερόμενες τεχνολογίες ολοκλήρωσης (CMOS, BiCMOS, GaAS, κ.λπ.), ο καθορισμός των παραμέτρων γίνεται με την κατάλληλη επιλογή των διαστάσεων των ολοκληρωμένων στοιχείων (καθολική ολοκλήρωση του κυκλώματος), ή με τη χρήση εξωτερικά συνδεδεμένων στοιχείων αναφοράς (reference resistors, capacitors).

Οι πολυδονητές (multi-vibrators), αποτελούν ηλεκτρονικά κυκλώματα, τα οποία βασίζονται στη λειτουργία τους στην εναλλαγή δύο καταστάσεων (states). Τα εν λόγω κυκλώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή ταλαντωτών χαλάρωσης (relaxation oscillators), χρονιστών (timers), μανδαλωτών (latches), ή flip-flops. Τα τελευταία, αποτελούν δομικά κυκλώματα για τη δημιουργία ακολουθιακών ψηφιακών κυκλωμάτων. Τα ακολουθιακά κυκλώματα, αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη πολύπλοκων μηχανών καταστάσεων (Finite State Machines - FSMs), οι οποίες με τη σειρά τους αποτελούν τη βάση για την επίτευξη αλγοριθμικών διεργασιών με χρήση υλικού (hardware) για τη δημιουργία πολύπλοκων και γρήγορων ηλεκτρονικών ψηφιακών κυκλωμάτων (digital logic) αυτοματοποιημένης λειτουργίας.

Ένα σημαντικό σύνολο από ενεργά κυκλώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση των καταστάσεων των πολυδονητών. Στην κλάση αυτών των ενεργών κυκλωμάτων περιλαμβάνονται τα transistors, οι τελεστικοί ενισχυτές (op-amps), οι οπτικοί ενισχυτές, οι δίοδοι, κ.α. Τα κυκλώματα των πολυδονητών, σε αντίθεση με τους ταλαντωτές, χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή μη ημιτονικών κυματομορφών. Οι παραγόμενες κυματομορφές στην έξοδο τους, ανάλογα με τον τύπο τους, μπορεί να είναι περιοδικές ή απεριοδικές ανάλογα με τα σήματα διέγερσης (triggering) που χρησιμοποιούνται για την πυροδότηση των κυκλωμάτων τους.

Οι πολυδονητές ορίζονται από δύο καταστάσεις (states), λειτουργώντας με αυτές κατά δύο τρόπους (modes) [2]. Οι τρόποι λειτουργίας πολλές φορές συγχέονται με τις καταστάσεις και καλούνται "καταστάσεις του πολυδονητή".

Οι καταστάσεις των πολυδονητών μπορούν να χαρακτηρισθούν με βάση την ικανότητα παραμονής του κυκλώματος σε αυτές (σταθερά) στο χρόνο, χωρίς να εκτελεσθεί μετάβαση (transition). Για την κατανόηση της λειτουργίας των πολυδονητών είναι απαραίτητοι οι ακόλουθοι ορισμοί:

Κατάσταση (State)

Ένας πολυδονητής βρίσκεται στην ON-OFF κατάσταση ή στην OFF-ON κατάσταση. Ο ορισμός των καταστάσεων αφορά στην παρουσία δύο ενεργών στοιχείων (π.χ. transistors), όπου το ένα ενεργό στοιχείο είναι σε κατάσταση λειτουργίας κόρου (ON) ενώ το άλλο σε κατάσταση αποκοπής (OFF) και αντίστροφα, κατά τη διαδικασία μετάβασης.

Ευσταθής Κατάσταση (Stable State)

Εάν ένας πολυδονητής μπορεί να μείνει σε μία κατάσταση για απεριόριστο χρονικό διάστημα μέχρι την ανάπτυξη σήματος σκανδαλισμού (triggering signal) στην είσοδο του για να κάνει μετάβαση από αυτήν την κατάσταση, τότε η κατάσταση χαρακτηρίζεται ως **ευσταθής** (stable state).

Ημι-ευσταθής κατάσταση (Quasi-Stable State)

Εάν ο πολυδονητής μπορεί να παραμείνει σε μία κατάσταση για μία προκαθορισμένη χρονική διάρκεια και στη συνέχεια εκτελεί μετάβαση από αυτήν την κατάσταση χωρίς την ανάπτυξη σήματος σκανδαλισμού (triggering signal) στην είσοδο του, τότε η κατάσταση χαρακτηρίζεται ως **ημι-ευσταθής** (quasi-stable state).

Κατηγορίες Πολυδονητών

Οι πολυδονητές με βάση τον χαρακτηρισμό των καταστάσεων που τους συνθέτουν, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Μονοσταθείς Πολυδονητές (Monostable Multi-vibrators)**
- **Δισταθείς Πολυδονητές (Bistable Multi-vibrators)**
- **Ασταθείς Πολυδονητές (Astable Multi-vibrators)**

Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί η προσέγγιση και η δομή της πτυχιακής εργασίας που στοχεύει στην όσο το δυνατόν πληρέστερη παρουσίαση της λειτουργίας των πολυδονητών για τις ανωτέρω κατηγορίες.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η παρουσίαση των αρχών λειτουργίας των πολυδονητών, με βάση την κατηγοριοποίησή τους στις κλάσεις των μονοσταθών, δισταθών και ασταθών πολυδονητών. Επιπλέον, η εργασία στοχεύει στην παρουσίαση της λειτουργίας κάθε κατηγορίας πολυδονητή και των εναλλακτικών κυκλωμάτων που χρησιμοποιούνται για την υλοποίησή τους, κάνοντας χρήση διαφορετικών ενεργών στοιχείων για την υλοποίηση των καταστάσεων (modes) λειτουργίας τους.

Σκοπός και στόχοι

Επιπρόσθετα, η εργασία στοχεύει στην παρουσίαση των εφαρμογών χρήσης των πολυδονητών καθώς και στις δυνατότητες λειτουργίας των αντίστοιχων κυκλωμάτων. Η σύνθεση των κυκλωμάτων, όπως θα παρουσιαστεί και στη συνέχεια των ενοτήτων της εργασίας, μπορεί να αφορά είτε σε διακριτές αλλά είτε και σε υλοποιήσεις ολοκληρωμένης κλίμακας με χρήση των σύγχρονων ηλεκτρονικών τεχνολογιών κατασκευής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.

Μεθοδολογία

Η εργασία παρουσιάζει, με κλιμακούμενο τρόπο, την λειτουργία των πολυδονητών, εκκινώντας από τον ορισμό της έννοιας των καταστάσεων λειτουργίας. Στη συνέχεια, και με βάση την κατηγοριοποίηση τους (μονοσταθείς, δισταθείς, ασταθείς), παρουσιάζει τα κυκλώματα σύνθεσης κάθε τύπου. Αναλύει τη λειτουργία τους με βάση τις συνθήκες που φέρουν τα ενεργά στοιχεία τους σε κατάσταση ON/OFF. Η πληθώρα των κυκλωμάτων που παρατίθενται για κάθε τύπο πολυδονητή βασίζεται στην δυνατότητα χρήσης διαφορετικών ενεργών στοιχείων (active components) για κάθε υλοποίηση της κατάστασης του πολυδονητή. Καταδεικνύεται ότι η χρήση διαφορετικών ενεργών στοιχείων δεν διαταράσσει τις αρχές λειτουργίας κάθε τύπου πολυδονητή, δίνοντας με τον τρόπο αυτό υλοποιήσεις που μπορεί να στοχεύουν σε διαφορετικές εφαρμογές (αναλογικού ή ψηφιακού τύπου).

Καινοτομία

Η καινοτομία της πτυχιακής εργασίας αφορά σε μία συνολική παρουσίαση των αρχών λειτουργίας και των τεχνολογιών υλοποίησης των κυκλωμάτων των πολυδονητών. Η βιβλιογραφία των αναλογικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων πολλές φορές δεν διαχωρίζει σαφώς τους πολυδονητές από τα κυκλώματα ταλαντωτών, δημιουργώντας έτσι την σύγχυση (ασάφεια) ότι τα κυκλώματα των πολυδονητών ταυτίζονται με τα κυκλώματα των ταλαντωτών. Η λειτουργία των πολυδονητών, όπως καταδεικνύεται στα πλαίσια της εργασίας, είναι ευρύτερη και μπορεί να αφορά σε ηλεκτρονικές εφαρμογές αναλογικού ή ψηφιακού τύπου, για την σύνθεση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων ή δομικών υποσυστημάτων. Επιπρόσθετα, οι ταλαντωτές και η λειτουργία τους είναι συνυφασμένη με την παραγωγή ημιτονικών σημάτων καθορισμένης συχνότητας, ενώ των πολυδονητών διαφέρει, δεδομένου ότι οι έξοδοι τους μπορεί να παράγουν και μη ημιτονικά σήματα (ακολουθίες παλμών με καθορισμένα περιοδικά ή μη περιοδικά χαρακτηριστικά αρνητικής ή θετικής λογικής).

Με την παρουσίαση των διαφορετικών τεχνολογιών για την υλοποίηση των ενεργών στοιχείων ενός πολυδονητή, όπως παρουσιάζονται στην εργασία, προκύπτει μία μεγάλη κατηγορία κυκλωμάτων για κάθε τύπο. Οι κατηγορίες κυκλωμάτων μπορεί να μην είναι εύκολα ταυτιζόμενες με τις βασικές κλάσεις (μονοσταθής, δισταθής, ασταθής πολυδονητή) διότι φαινομενικά τα κυκλώματα μπορεί να διαφέρουν. Η εργασία φιλοδοξεί, με την ανάδειξη των αρχών λειτουργίας, να κατανείμει ακόμη και φαινομενικά διαφορετικά κυκλώματα στην κοινή κλάση που ενδεχόμενα ανήκουν (π.χ. υλοποίηση μονοσταθών πολυδονητών με πύλες, transistors, τελεστικών ενισχυτών - op-amps, κ.λπ.).

Δομή

Η εργασία για την παρουσίαση των πολυδομητών, αρχικά στην εισαγωγή της, δίνει βασικές έννοιες για τη μελέτη της λειτουργίας τους. Οι βασικές έννοιες αφορούν στον ορισμό της έννοιας της κατάστασης (state) ενός πολυδομητή, καθώς και στην κατάταξη τους σε ευσταθείς και ημι-ευσταθείς καταστάσεις. Στην συνέχεια, στα πλαίσια της εισαγωγής παρουσιάζονται οι βασικές κατηγορίες κυκλωμάτων πολυδομητών.

Στο κεφάλαιο 1 μελετάται η λειτουργία των μονοσταθών πολυδομητών. Επίσης παρουσιάζονται βασικά κυκλώματα με εναλλακτικές τεχνολογίες για την υλοποίησή τους (πύλες, transistors, op-amps). Παρουσιάζεται επίσης, ο καθορισμός των παραγόμενων χαρακτηριστικών λειτουργίας τους (χρόνος - συχνότητα), με βάση τα απαιτούμενα σήματα διέγερσης τους. Για το λόγο αυτό παρουσιάζονται οι κυματομορφές των σημάτων διέγερσης και εξόδου τους. Ενδεικτικά παρουσιάζονται οι παραγόμενες κυματομορφές από τη λειτουργία των πολυδομητών για κάθε κύκλωμα της συγκεκριμένης κατηγορίας.

Τα Κεφάλαια 2 και 3 της εργασίας παρουσιάζουν, με ανάλογη προσέγγιση όπως στο κεφάλαιο 1, την αντίστοιχη πληροφορία για τους δισταθείς και ασταθείς πολυδομητές αντίστοιχα.

Η εργασία ολοκληρώνεται με το Κεφάλαιο 4, στο οποίο παρουσιάζονται τα συνολικά συμπεράσματα από τη μελέτη των κυκλωμάτων των πολυδομητών. Στο υλικό του κεφαλαίου γίνεται σύγκριση των διαφορετικών κλάσεων και τεχνολογιών των πολυδομητών, και παρουσιάζονται γενικές εφαρμογές χρήσης των κυκλωμάτων τους. Το κεφάλαιο και η εργασία ολοκληρώνεται, με την παρουσίαση των γενικών συμπερασμάτων από τη συνολική μελέτη των κυκλωμάτων και των αρχών λειτουργίας των πολυδομητών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Μονοσταθείς Πολυδομητές

Οι μονοσταθείς πολυδομητές πολλές φορές ονομάζονται one short, single shot, ή ενός κύκλου κύκλωμα καθυστέρησης (single cycle delay circuit), δομή παλμού (pulse structure), κύκλωμα πολυδομητή πύλης (multi-vibrator gate circuit), ή απλής διακύμανσης (single swing). Οι μονοσταθείς πολυδομητές χρησιμοποιούνται ως διεγέρσεις σε μετατροπείς χρόνου (time converters).

1.1 Αρχή Λειτουργίας Μονοσταθή Πολυδομητή

Ο μονοσταθής πολυδομητής διαθέτει μία ευσταθή και μία ημι-ευσταθή κατάσταση. Η ημι-ευσταθής κατάσταση διατηρείται για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Όταν στο κύκλωμα του εφαρμόζεται ένα εξωτερικό σήμα σκανδαλισμού (triggering), ο πολυδομητής μεταβαίνει από την ευσταθή στην ημι-ευσταθή κατάσταση του. Μετά το προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, ο πολυδομητής αυτόματα "επιστρέφει" στην ευσταθή του κατάσταση. Ο χρόνος για την επιστροφή συνήθως καθορίζεται από χρονικές σταθερές φόρτισης/εκφόρτισης επιλεγμένων δικτυωμάτων RC του κυκλώματος. Προφανώς ο παραπάνω κύκλος επαναλαμβάνεται με τη χρήση του εξωτερικού σήματος σκανδαλισμού, έτσι ώστε να προκύπτει η εκτέλεση του κύκλου μεταβάσεων από την αρχή.

1.2 Τυπικά Κυκλώματα Μονοσταθή Πολυδομητή

Ένας μονοσταθής πολυδομητής μπορεί να υλοποιηθεί με χρήση διαφορετικού τύπου ενεργών στοιχείων για την υλοποίηση των καταστάσεων του. Στη συνέχεια παρατίθενται τα κυκλώματα που προκύπτουν με χρήση:

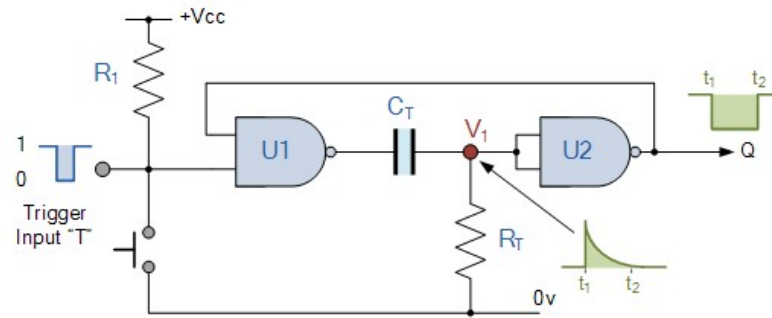
- Πυλών (gates)
- Transistors
- Τελεστικών Ενισχυτών - TE (op-amps)

1.2.1 Κατασκευή με πύλες

Για την κατασκευή των μονοσταθών πολυδομητών με πύλες, το κύκλωμα εκμεταλλεύεται τη χρονική καθυστέρηση που εισάγουν κατά την διάδοση/παραγωγή ενός σήματος στην έξοδο τους με βάση τις λογικές συνθήκες διέγερσης τους (πίνακας αληθείας).

1.2.1.1 Κύκλωμα με πύλες τύπου NAND

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός μονοσταθή πολυδομητή με χρήση πυλών τύπου NAND [5], [C], [I]:



Σχήμα 1: Κύκλωμα μονοσταθούς πολυδονητή με χρήση πυλών τύπου NAND

Για την ανάλυση της λειτουργίας του παραπάνω κυκλώματος, υποθέτουμε ότι η είσοδος σκανδαλισμού (trigger), είναι σε επίπεδο λογικού '1' (ανενεργή διότι είναι αρνητικής λογικής). Εξαιτίας της αντίστασης R_1 που λειτουργεί ως pull-up, η έξοδος της πύλης NAND (U1) είναι σε λογικό '0' (επειδή και οι δύο είσοδοι της U1 είναι σε λογικό '1', θεωρώντας ότι και το σήμα που προέρχεται από την έξοδο της U2 είναι σε λογικό '1'). Η αντίσταση R_T είναι συνδεδεμένη σε λογικό '0' και αυτό θα αναγκάσει τον πυκνωτή C_T να εκφορτίσει πλήρως. Για τον λόγο αυτό, η έξοδος της U1 παραμένει σε τιμή λογικού '0'. Καθώς ο πυκνωτής C_T έχει εκφορτιστεί πλήρως, ο κόμβος V_1 επίσης θα βρίσκεται σε λογικό '0', βγάζοντας μέσω της δεύτερης πύλης NAND (U2), η οποία είναι συνδεδεμένη ως NOT πύλη, λογικό '1' στην έξοδο της.

Η έξοδος από τη δεύτερη πύλη NAND (U2) ανατροφοδοτείται ως είσοδος στην πύλη NAND (U1) παρέχοντας θετική ανάδραση στο κύκλωμα. Καθώς ο κόμβος V_1 και η έξοδος της U1 είναι και οι δύο σε λογικό '0', καθόλου ρεύμα δεν διέρχεται από τον πυκνωτή C_T . Αυτό καταλήγει ώστε το κύκλωμα να είναι σταθερό, και θα παραμείνει σε αυτήν την σταθερή κατάσταση μέχρι την εφαρμογή ενός παλμού διέγερσης (trigger) στην είσοδο T.

Εάν ένας παλμός σκανδαλισμού (triggering αρνητικής λογικής) εφαρμοστεί στην πύλη NAND (U1), τότε η έξοδος της U1 θα τεθεί σε λογικό '1'. Η τάση στον πυκνωτή C_T δεν μπορεί να ανέλθει ακαριαία, και κατά τη διαδικασία της φόρτισης του, η τάση στον κόμβο V_1 που αποτελεί την είσοδο της U2, θα φορτιστεί εκθετικά σε τιμή λογικού '1'. Αυτό με τη σειρά του, θα αναγκάσει την πύλη NAND (U2) να αλλάξει κατάσταση εξόδου, η οποία τώρα θα γίνει λογικό '0'. Το κύκλωμα θα παραμείνει σε αυτήν την κατάσταση ακόμη και αν ο παλμός trigger T απενεργοποιηθεί (δηλαδή τεθεί σε τιμή λογικού '1'). Αυτό είναι γνωστό ως κατάσταση μεταστάθειας (meta-stability).

Η τάση στον πυκνωτή C_T θα αυξηθεί καθώς αυτός φορτίζει εξαιτίας του λογικού '1' της εξόδου της U1, με χρονική σταθερά η οποία εξαρτάται από το συνδυασμό της αντίστασης και του πυκνωτή. Η διαδικασία φόρτισης θα συνεχιστεί μέχρις ότου, το ρεύμα φόρτισης δεν είναι ικανό να συγκρατήσει την είσοδο της U2 και κατά συνέπεια τον κόμβο V_1 σε λογικό '1'.

Όταν αυτό συμβεί, η έξοδος της U2 μεταπίπτει σε λογικό '1', το οποίο με τη σειρά του αναγκάζει την έξοδο της U1 να πέσει σε λογικό '0', και τον πυκνωτή στην έξοδο της U1 να εκφορτιστεί υπό τη δράση της αντίστασης R_T . Σε αυτήν την φάση το κύκλωμα έχει περιέλθει στην αρχική κατάσταση από την οποία ξεκίνησε η ανάλυση.

Επομένως, συνεχίζοντας τη λειτουργία, για κάθε αρνητικό παλμό σκανδαλισμού, το κύκλωμα του μονοσταθούς πολυδονητή παράγει ένα παλμό λογικού '0' στην έξοδο του. Η χρονική διάρκεια της παραμονής της εξόδου σε λογικό '0' καθορίζεται από το συνδυασμό πυκνωτή και αντίστασης (δίκτυο RC), που χαρακτηρίζει τη σταθερά χρόνου του κυκλώματος, οπότε:

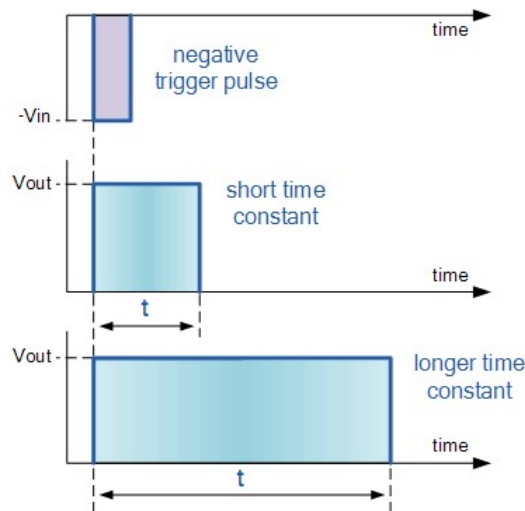
$$T=0.69RC \quad (1.1)$$

Δεδομένου ότι η αντίσταση εισόδου μίας NAND πύλης είναι πολύ υψηλή, μπορεί να επιτευχθούν μεγάλες χρονικές περίοδοι λειτουργίας.

Στην περίπτωση όπου θέλουμε η λειτουργία του μονοσταθούς πολυδονητή να βασιστεί σε έναν παλμό σκανδαλισμού θετικής ακμής, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθούν αντί για πύλες NAND, πύλες NOR σε ένα ισοδύναμο κύκλωμα, το οποίο θα παρουσιαστεί στη συνέχεια.

1.2.1.2 Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος με πύλες τύπου NAND

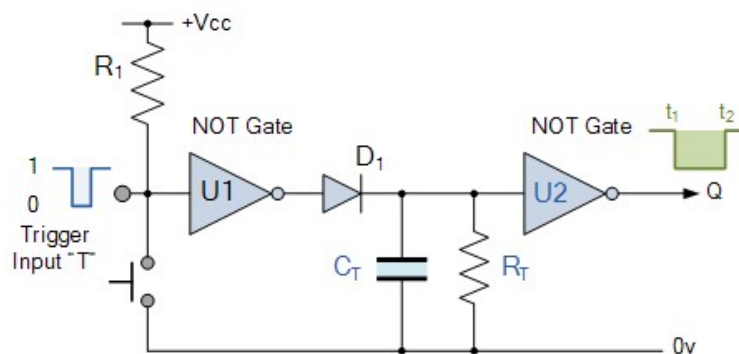
Η κυματομορφή από τη λειτουργία του μονοσταθού πολυδονητή για το κύκλωμα με πύλες τύπου NAND παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα [5]:



Σχήμα 2: Κυματομορφή κυκλώματος μονοσταθού πολυδονητή με πύλες τύπου NAND

1.2.1.3 Κύκλωμα με πύλες τύπου NOT

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός μονοσταθού πολυδονητή με χρήση πυλών τύπου NOT [1]:



Σχήμα 3: Κύκλωμα μονοσταθού πολυδονητή με χρήση πυλών τύπου NOT

Όπως και για το κύκλωμα του μονοσταθούς πολυδονητή που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενοτητα με τη χρήση πυλών τύπου NAND, αρχικά το σήμα σκανδαλισμού (triggering) είναι σε τιμή λογικού '1' (δηλαδή ανενεργό εφόσον πρόκειται για σήμα αρνητικής λογικής), έτσι ώστε η έξοδος της πρώτης πύλης NOT (U1) να βρίσκεται σε τιμή λογικού '0'. Το χρονοκύκλωμα που ελέγχει τη συμπεριφορά του μονοσταθούς πολυδονητή, αποτελείται από την αντίσταση R_T και τον πυκνωτή C_T που είναι συνδεδεμένα παράλληλα, με την είσοδο της δεύτερης πύλης NOT (U2). Εφόσον η είσοδος της δεύτερης πύλης είναι σε λογικό '0', η έξοδος της είναι σε κατάσταση λογικού '1'.

Όταν ένας παλμός αρνητικής λογικής διεγείρει το σήμα T σε τιμή λογικού '0', στην είσοδο της πρώτης πύλης NOT, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παράγει στην έξοδο της τιμή λογικού '1'. Μέσω της διόδου D_1 άγεται η τιμή του λογικού '1' στο RC χρονοκύκλωμα. Λόγω της παράλληλης σύνδεσης του πυκνωτή, το δυναμικό του ανέρχεται άμεσα σε τιμή λογικού '1', ενώ αυτός αποτελεί είσοδο για την επόμενη πύλη NOT. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στην έξοδο Q του πολυδονητή, να παράγεται τιμή λογικού '0', και το κύκλωμα να παραμένει σε αυτήν την κατάσταση μεταστάθειας (meta-stability), όσον το σήμα διεγέρσεως T παραμένει σε τιμή λογικού '0'.

Όταν το σήμα διεγέρσεως T επανέρχεται σε τιμή λογικού '1' (απενεργοποιείται), η έξοδος από την πρώτη πύλη NOT επιστρέφει σε τιμή λογικού '0'. Ο πυκνωτής που είναι παράλληλα συνδεδεμένος στην έξοδο της αρχίζει να εκφορτίζει μέσω της παράλληλης αντίστασης. Όταν η τάση στον πυκνωτή μειωθεί στη χαμηλότερη τιμή κατωφλίου (threshold) για τα επίπεδα του σήματος που αναγνωρίζει η δεύτερη πύλη NOT, η έξοδος της αλλάζει κατάσταση σε τιμή για το Q λογικού '1'. Η διάοδος D_1 διακόπτει την εκφόρτιση του πυκνωτή μέσω της εξόδου της πρώτης πύλης NOT.

Η τιμή της περιόδου για το κύκλωμα του μονοσταθού πολυδονητή με πύλες NOT είναι:

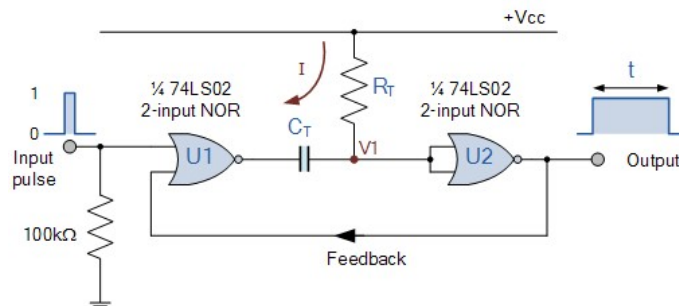
$$T=0.8RC + (\text{Trigger}). \quad (1.2)$$

1.2.1.4 Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος με πύλες τύπου NOT

Η κυματομορφή από τη λειτουργία του μονοσταθού πολυδονητή για το κύκλωμα με πύλες τύπου NOT είναι ίδια με τις πύλες NAND ως προς το σήμα σκανδαλισμού και εξόδου.

1.2.1.5 Κύκλωμα με πύλες τύπου NOR

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός μονοσταθού πολυδονητή με χρήση πυλών τύπου NOR [II]:



Σχήμα 4: Κύκλωμα μονοσταθούς πολυδονητή με χρήση πυλών τύπου NOR

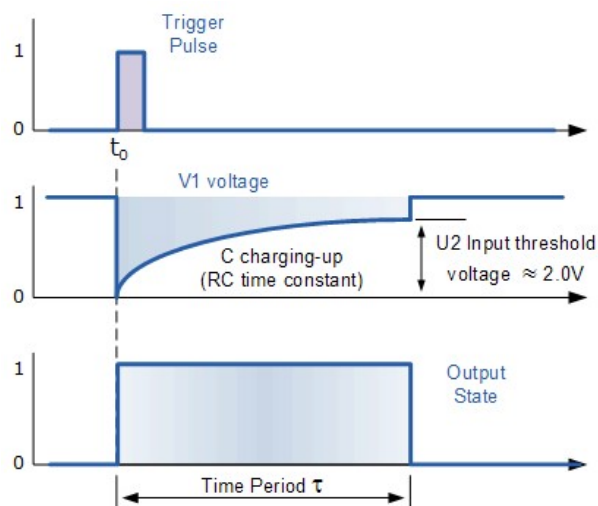
Για την ανάλυση της λειτουργίας του κυκλώματος, αρχικά υποθέτουμε ότι το σήμα σκανδαλισμού (triggering) T , είναι σε κατάσταση λογικού '0' (δηλαδή είναι απενεργοποιημένο εφόσον πρόκειται για σήμα θετικής λογικής). Οπότε, η έξοδος από την πρώτη πύλη NOR είναι σε επίπεδο λογικού '1'. Η αντίσταση R_T είναι προσδεδεμένη σε υψηλό δυναμικό (λογικό '1'), οπότε ο πυκνωτής C_T βρίσκεται συνδεδεμένος με τα δύο του άκρα σε λογικό '1'. Ο κόμβος V_1 βρίσκεται επίσης σε λογικό '1', οπότε η έξοδος της δεύτερης NOR (U_2) βρίσκεται σε λογικό '0'. Αυτό σημαίνει ότι το κύκλωμα του μονοσταθί πολυδονητή βρίσκεται στην σταθερή του κατάσταση, η οποία είναι το λογικό '0' της εξόδου.

Όταν ένας θετικής λογικής παλμός εφαρμοστεί στο σήμα T τη χρονική στιγμή t_0 , η έξοδος της πρώτης NOR (U_1) καταλήγει σε λογικό '0'. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο πυκνωτής C_T από την πλευρά της εξόδου της U_1 στο ένα άκρο να βρίσκεται σε λογικό '0', ενώ από την πλευρά εισόδου προς την πύλη U_2 να βρίσκεται σε λογικό '1', οπότε εκφορτίζεται. Καθώς ο πυκνωτής εκφορτίζεται σε λογικό '0' και από τις 2 πλευρές του, αυτό αποτελεί και το σήμα εισόδου της δεύτερης πύλης NOR (U_2), η οποία θα μεταβάλλει την έξοδο της σε λογικό '1'. Αυτή συνιστά την δεύτερη ημι-ευσταθή κατάσταση για τον μονοσταθί πολυδονητή.

Όταν ο παλμός θετικής λογικής αναιρεθεί, αυτή η κατάσταση θα διατηρηθεί μέχρις ότου ο πυκνωτής C_T να φορτίσει μέσω της R_T συναντώντας την τιμή κατωφλίου για το σήμα εισόδου της πύλης U_2 (ανάλογα με την τεχνολογία των πυλών για τα επίπεδα στάθμης των εισόδων τους - κατώφλι ανίχνευσης σήματος). Οπότε με την ολοκλήρωση σε αυτό το επίπεδο φόρτισης, η πύλη U_2 αντιλαμβάνεται τιμή για το σήμα εισόδου της σε λογικό '1'. Τότε η δεύτερη NOR μετατρέπει την έξοδο της σε λογικό '0', τιμή η οποία οδηγείται μέσω της ανάδρασης και στην πρώτη πύλη U_1 . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επαναφέρει τον μονοσταθί πολυδονητή στην αρχική του κατάσταση (ευσταθής κατάσταση), περιμένοντας την επόμενη ενεργοποίηση του σήματος T , για την επανεκκίνηση του προηγούμενου κύκλου μεταβάσεων.

1.2.1.6 Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος με πύλες τύπου NOR

Η κυματομορφή από τη λειτουργία του μονοσταθί πολυδονητή για το κύκλωμα με πύλες τύπου NOR παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα:

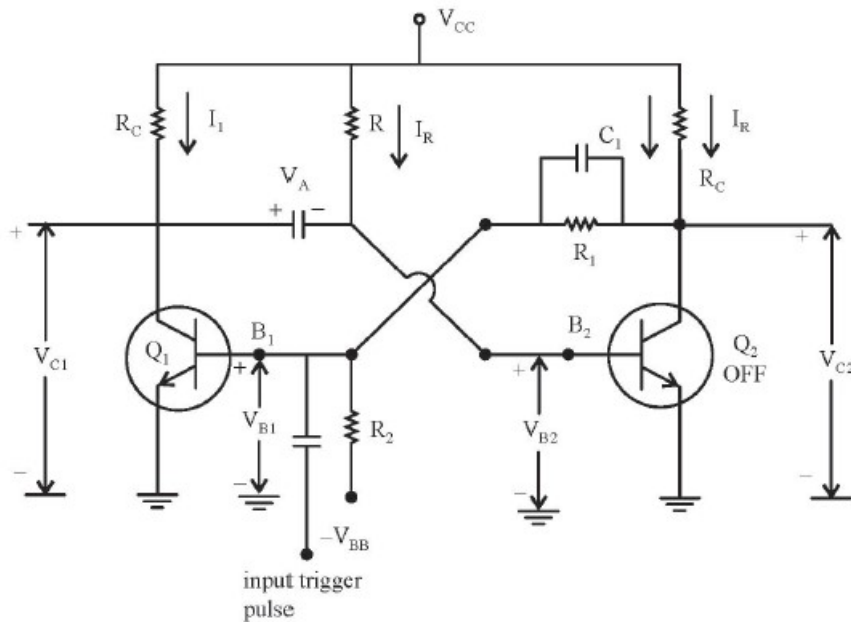


Σχήμα 5: Κυματομορφή κυκλώματος μονοσταθί πολυδονητή με πύλες τύπου NOR

Η διαφορά των κυματομορφών διεγέρσεως αλλά και εξόδου στην υλοποίηση με πύλες τύπου NOR, είναι ότι παράγονται σήματα θετικής λογικής (σε αντίθεση με τις υλοποιήσεις με πύλες NAND και NOT που παράγουν σήματα εξόδου αρνητικής λογικής).

1.2.2 Κατασκευή με transistors

Στο σχήμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός μονοσταθί πολυδονητή με χρήση δύο transistors διπολικής επαφής (Bipolar Junction Transistors - BJTs). Το κύκλωμα χρησιμοποιεί δύο transistors τύπου n-p-n. Το κύκλωμα αυτό καλείται και κύκλωμα ζεύξης συλλέκτη με βάση (collector to base coupled) [2], [4], [A], [B]:



Σχήμα 6: Κύκλωμα μονοσταθούς πολυδονητή με χρήση BJT transistors

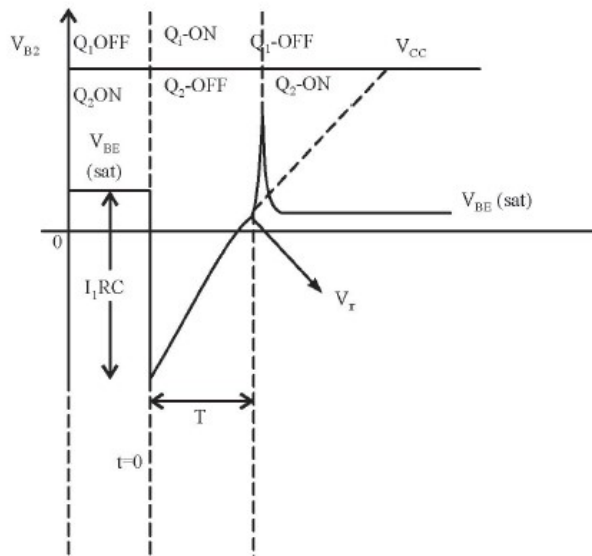
Για την ανάλυση της λειτουργίας του κυκλώματος, υποθέτουμε ότι το Q_1 είναι OFF και το Q_2 είναι ON. Όπως αναφέρθηκε στην παρουσίαση του κυκλώματος, τα transistors είναι τύπου n-p-n. Ο συλλέκτης του Q_2 είναι συζευγμένος με τη βάση του Q_1 με χρήση μίας αντίστασης R_1 (dc ζεύξη). Επίσης, ο συλλέκτης του Q_1 είναι συζευγμένος με τη βάση του Q_2 μέσω του πυκνωτή C (ac ζεύξη), ενώ ο C_1 είναι ένας πυκνωτής συσσωρεύσεως (cumulating capacitor), ο οποίος έχει εισαχθεί στο κύκλωμα για την αύξηση της ταχύτητας λειτουργίας του. Ο πυκνωτής μειώνει το χρόνο μετάβασης του transistor από κατάσταση OFF σε κατάσταση ON. Η βάση του Q_1 συνδέεται με την τάση πόλωσης $-V_{BB}$ με την αντίσταση R_2 για να διασφαλίσει ότι το Q_1 είναι σε αποκοπή (cut-off) σε κατάσταση ηρεμίας (απουσία παλμού διεγέρσης) για το κύκλωμα. Η βάση του Q_2 συνδέεται στην τάση πόλωσης V_{CC} μέσω της αντίστασης R για να διασφαλίσει ότι το Q_2 είναι σε κατάσταση αγωγής (ON).

Η ευσταθής κατάσταση λειτουργίας του μονοσταθί πολυδονητή είναι με το Q_1 σε κατάσταση OFF και το Q_2 σε κατάσταση ON.

Μελέτη Λειτουργίας Πολυδονητών

Εάν εφαρμοστεί ένας θετικός παλμός σκανδαλισμού στην βάση του Q₁ (εφόσον έχει κατάλληλο πλάτος και διάρκεια), τότε το transistor Q₁ αρχίζει να άγει (ON) εξαιτίας της τάσης V_{C1} που αναπτύσσεται στον συλλέκτη του, η οποία μειώνεται. Αυτή η μείωση διέρχεται μέσω του πυκνωτή C στην βάση του Q₂ αλλά η μεταβολή της δεν μπορεί να είναι ακαριαία. Παρ'όλα αυτά, η μείωση της V_{C1} καταλήγει σε μείωση της τάσης στη βάση του Q₂. Μειώνοντας έτσι την τάση του Q₂, αυτό συνεπάγεται μείωση της βάσης του Q₁ μέσω της αντίστασης R₁. Αυτή η μεταβολή στην τάση της βάσης του Q₁ οδηγεί το transistor σε κορεσμό. Οπότε το Q₂ έρχεται σε κατάσταση αποκοπής (OFF). Μετά τη λήξη του παλμού έναυσης (αποφόρτιση του πυκνωτή στη βάση του Q₁), αυτό οδηγεί και πάλι το κύκλωμα στην αρχική ευσταθή του κατάσταση (Q₁=OFF και Q₂=ON)..

Η κατάσταση αγωγής του Q₁ (ON) εξαρτάται από τη χρονική διάρκεια του παλμού (triggering). Η διάρκεια στο χρόνο του παλμού T εισάγει το κύκλωμα στην ημι-ευσταθή κατάσταση του. Το χρονικό διάγραμμα που ακολουθεί δείχνει την μεταβολή της τάσης στην βάση του Q₂ κατά την είσοδο του κυκλώματος στην ημι-ευσταθή κατάσταση:



Σχήμα 7: Μεταβολή της τάσης στην βάση του Q₂ κατά την ημι-ευσταθή κατάσταση

Για $t < 0$ το transistor Q₂ είναι ON (σε κατάσταση κορεσμού) και $V_{B2} = V_{BE(sat)} = V_o$ η οποία είναι σε τιμή περίπου 0.8V για ολοκληρωμένα transistors σε πυρίτιο. Με την επίδραση του παλμού στην χρονική στιγμή $t=0$, τότε στη χρονική στιγμή $t=0^+$ καθώς το ρεύμα του πυκνωτή αυξάνει στιγμιαία, η τάση V_{B2} μειώνεται από τον παράγοντα πτώσης τάσης I_1R_C , το V_{B2} αυξάνει εκθετικά με τη φόρτιση του πυκνωτή, οπότε στην τελική χρονική στιγμή $t=\alpha$ γίνεται $V_{B2} = V_{CC}$. Το V_{B2} γίνεται ίσο με V_f και τότε το Q₂ ξεκινά να άγει φέρνοντας το Q₁ σε κατάσταση OFF με εκθετικό τρόπο. Ο πυκνωτής που δέχεται τον παλμό στην είσοδο του, εκκινεί για τη χρονική στιγμή $t=0^+$ με $V_i = V_o - I_1R_C$.

Οπότε προκύπτει το σύστημα των εξισώσεων:

$$\begin{aligned}
 t &= \alpha & V_f &= V_{CC} \\
 V_e &= V_f - (V_i - V_f) e^{-t/T} \\
 T &= R_c = \text{time constant} \\
 V_{B2} &= V_{CC} - (V_{CC} - V_o + I_1R_C) e^{-t/\tau} \\
 V_B &= V_\gamma
 \end{aligned}
 \tag{1.3}$$

Λύνοντας την εξίσωση της εκθετικής φόρτισης ως προς το χρόνο T προκύπτει:

$$T = T/n \left[\frac{V_{cc} + I_1 RC + V_{\sigma}}{V_{cc} - V_{\gamma}} \right]$$

$$V_{\sigma} = 0.3 V$$

$$= 0.8 V \quad (1.4)$$

Όταν το Q₁ βρίσκεται σε κατάσταση μη κόρου ισχύουν οι σχέσεις:

$$V_{C1} = V_{CE} (sat)$$

$$I_1 RC = V_{CC} - V_{CE}(sat) \quad (1.5)$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (1.3). για το χρόνο T προκύπτει:

$$T = \tau |n + T |n \left[\frac{[V_{cc} \frac{\{-V_{CE}(sat) - V_{BE}(sat)\}}{2}]}{V_{cc} - V_{\gamma}} \right] \quad (1.6)$$

$$V_{CE}(sat) + V_{BE}(sat) = 2V$$

οπότε με αντικατάσταση στην εξίσωση (1.6) προκύπτει:

$$T = T |n (2) + T |n (1)$$

$$T = T |n (2)$$

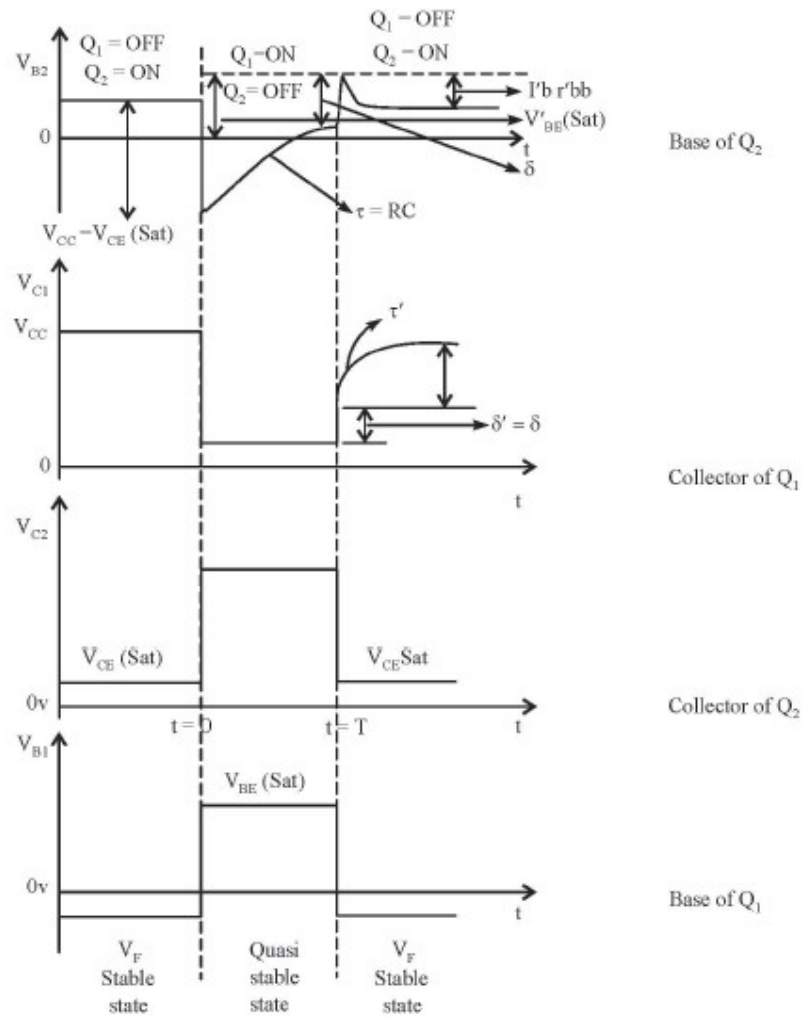
$$T = 0.69 RC \quad (1.7)$$

Οπότε η σταθερά χρόνου για τη λειτουργία των μεταβάσεων του μονοσταθή πολυδονητή του κυκλώματος είναι:

$$T = 0.69 RC \quad (1.8)$$

1.2.2.1 Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος με transistors

Το χρονικό διάστημα T του παλμού μειώνεται καθώς η θερμοκρασία λειτουργίας του κυκλώματος αυξάνεται. Οι κυματομορφές του συλλέκτη και της βάσης για τα Q₁ και Q₂ για τον μονοσταθή πολυδονητή παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 8: Κυματομορφές συλλέκτη και βάσης για τα Q₁ και Q₂ στον μονοσταθή πολυδονητή με BJT transistors

Στην ευσταθή κατάσταση ισχύει η σχέση:

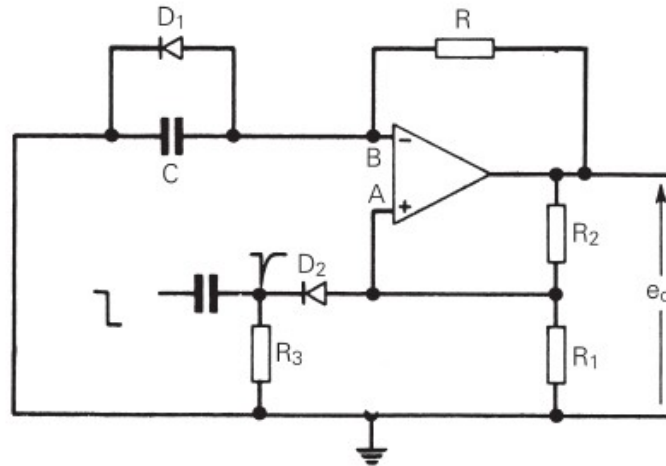
$$V_{B1} = -V_{BB} \frac{R_1}{R_1 + R_L} + V_{CE2 \text{ sat}} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.9)$$

Στην ημι-ευσταθή κατάσταση ισχύει η σχέση:

$$V_{C2} = V_{CC} \frac{R_1}{R_1 + RC} + V_{BE1 \text{ (sat)}} \frac{RC}{R_1 + RC} \quad (1.10)$$

1.2.3 Κατασκευή με TE (OP-AMPS)

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός μονοσταθί πολυδονητή με χρήση τελεστικών ενισχυτών TE (op-amps) [3]:



Σχήμα 9: Κύκλωμα μονοσταθί πολυδονητή με TE (op-amps)

Για το κύκλωμα του μονοσταθούς πολυδονητή στην ευσταθή κατάσταση, η έξοδος του TE είναι στον θετικό κόρο. Ο κόμβος B ψαλιδίζεται με χρήση της διόδου D_1 ενώ ο κόμβος A είναι σε θετικό δυναμικό ως προς τη γη:

$$V_A = \beta V_o^+ \text{sat} \quad (1.11)$$

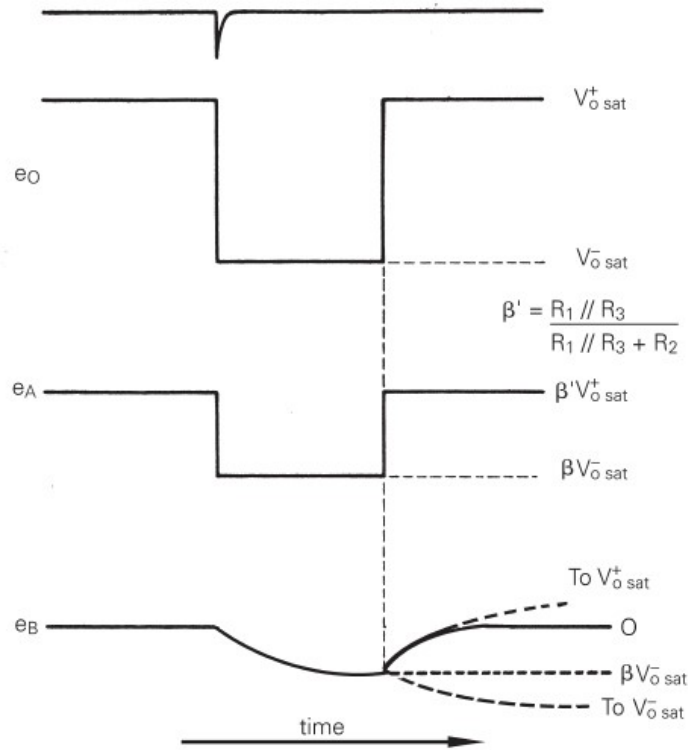
Υποθέτουμε ότι η αντίσταση R_3 είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με την R_1 , οπότε η πτώση τάσης σε αυτή μπορεί να αμεληθεί ενώ δημιουργείται ο παράγοντας $\beta = R_1 / (R_1 + R_2)$ (θετική ανάδραση). Εάν το δυναμικό στον κόμβο A μειωθεί σε τιμή μηδέν (γη), με την επιβολή ενός αρνητικού παλμού, το κύκλωμα μεταβαίνει στην ημι-ευσταθή του κατάσταση (στην οποία η έξοδος του TE είναι στον αρνητικό κόρο). Ο κόμβος A σε αυτήν την φάση είναι σε αρνητικό δυναμικό ως προς γη, οπότε:

$$V_A = \beta V_o^- \text{sat} \quad (1.12)$$

Το δυναμικό στον κόμβο B μειώνεται με εκθετικό τρόπο καθώς ο πυκνωτής εκφορτίζει μέσω της R , οπότε η διάοδος D_1 είναι ανάστροφα πολωμένη. Το κύκλωμα επιστρέφει έτσι στην ευσταθή κατάσταση του όταν το δυναμικό στον κόμβο B ισούται με αυτό του κόμβου A.

1.2.3.1 Κοματομορφή εξόδου κυκλώματος με TE (op-amps)

Οι παραγόμενες κυματομορφές της λειτουργίας για το κύκλωμα του μονοσταθούς πολυδονητή με χρήση TE (op-amps), παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί:



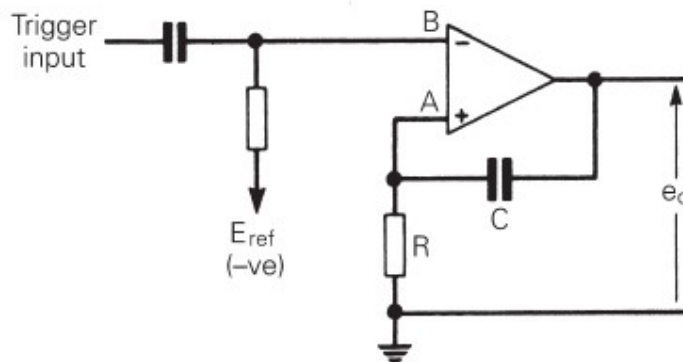
Σχήμα 10: Κυματομορφές κυκλώματος μονοσταθής πολυδονητή με TE (op-amps)

Η χρονική περίοδος του κυκλώματος δίνεται από τη σχέση:

$$T = CR \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (1.13)$$

1.2.4 Εναλλακτική κατασκευή με TE (OP-AMPS)

Το κύκλωμα που ακολουθεί αποτελεί μία εναλλακτική υλοποίηση μονοσταθής πολυδονητή με χρήση TE (op-amps):

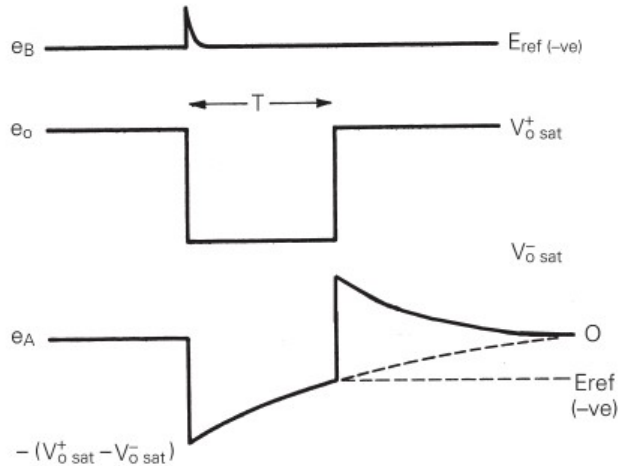


Σχήμα 11: Εναλλακτικό κύκλωμα μονοσταθής πολυδονητή με τελεστικούς ενισχυτές TE (op-amps)

Το κύκλωμα αυτό εμφανίζει μία κύρια ζεύξη θετικής ανάδρασης μέσω του συνδυασμού των στοιχείων C και R. Το κύκλωμα RC ρυθμίζει τον σκανδαλισμό του TE που λειτουργεί ως συγκριτής για την επίτευξη του κύκλου μετάβασης ευσταθούς και ημι-ευσταθούς κατάστασης.

1.2.4.1 Κοματομορφή εξόδου εναλλακτικού κυκλώματος με TE (op-amps)

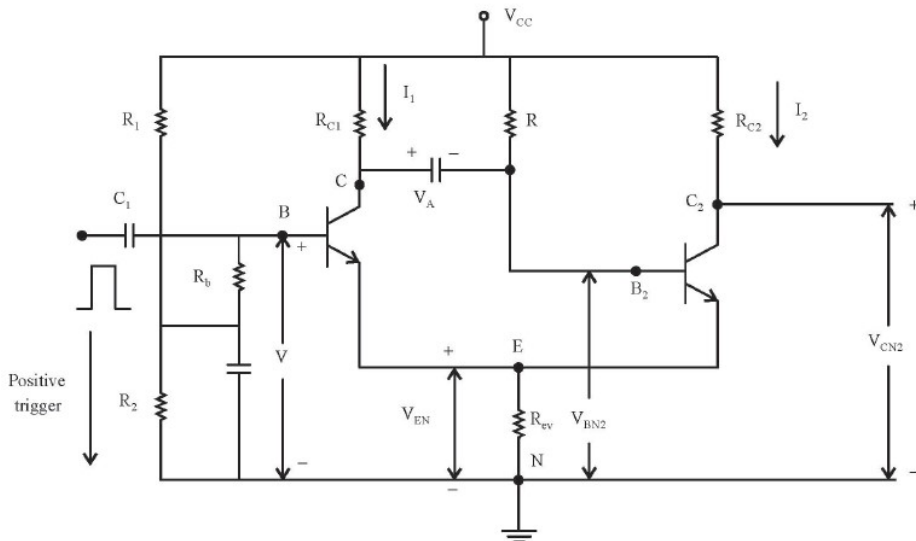
Οι παραγόμενες κυματομορφές της λειτουργίας για το εναλλακτικό κύκλωμα του μονοσταθούς πολυδονητή με χρήση TE (op-amps), παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί:



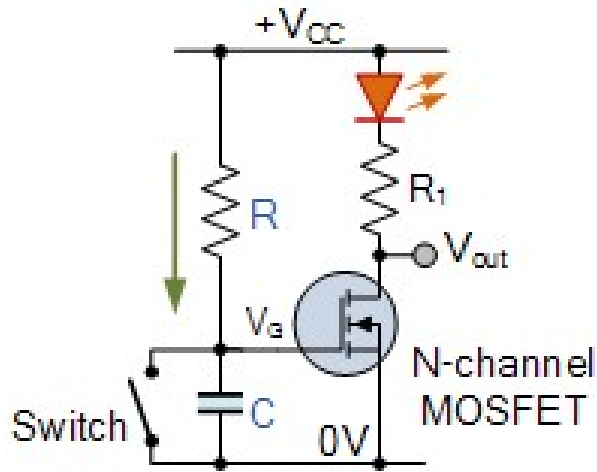
Σχήμα 12: Κυματομορφές εναλλακτικού κυκλώματος μονοσταθής πολυδονητή με TE (op-amps)

1.2.5 Άλλα κυκλώματα μονοσταθών πολυδονητών

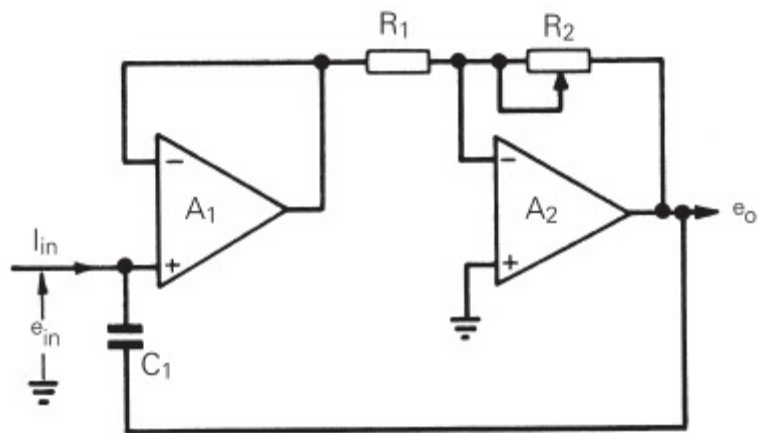
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται και άλλα εναλλακτικά κυκλώματα μονοσταθών πολυδονητών, τα οποία μπορούν να κατασκευαστούν είτε με χρήση διακριτών στοιχείων ή χρήση βασικών ολοκληρωμένων (ICs).



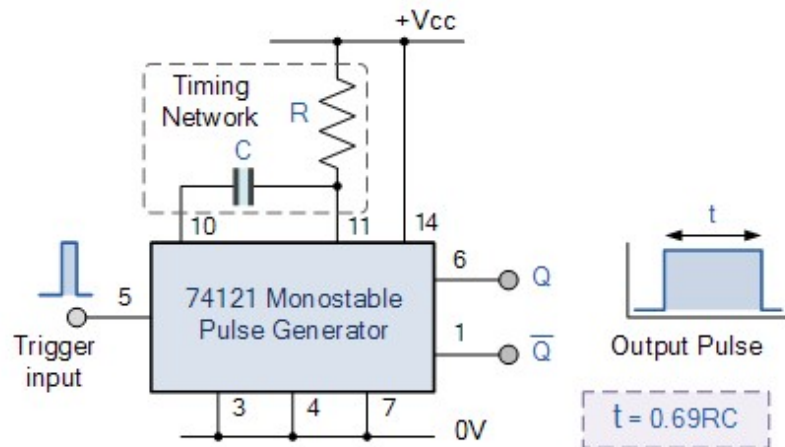
Σχήμα 13: Κύκλωμα μονοσταθής πολυδονητή με BJT σε απευθείας ζεύξη εκπομπών (direct emitter coupled)



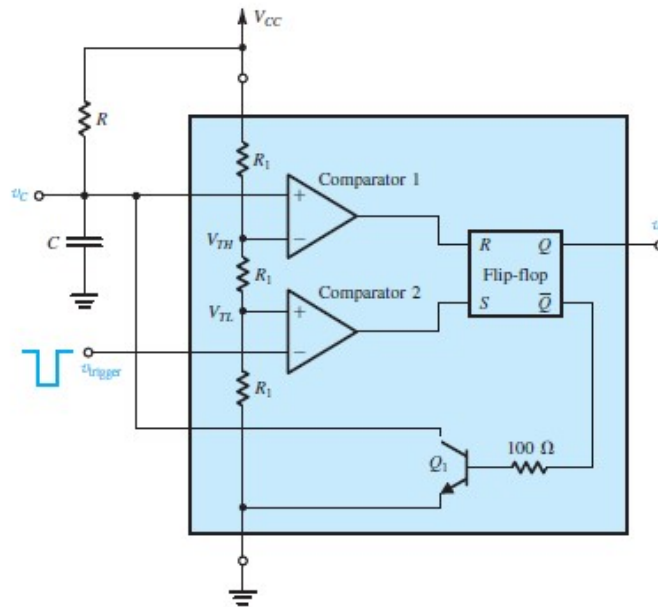
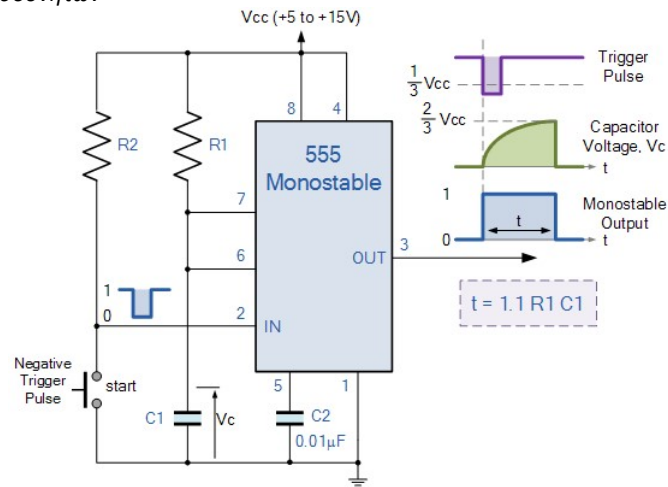
Σχήμα 14: Κύκλωμα μονοσταθή πολυδονητή με χρήση MOSFET



Σχήμα 15: Κύκλωμα μονοσταθή πολυδονητή με χρήση δύο TE και μεγάλο κύκλο χρονικής διάρκειας (long delay)



Σχήμα 16: Ολοκληρωμένο Κύκλωμα μονοσταθή πολυδονητή IC 74LS121 με χρήση εξωτερικού κυκλώματος αναφοράς



Σχήμα 17: Κατασκευή μονοσταθή πολυδονητή με χρήση του χρονιστή 555 και εξωτερικό κύκλωμα αναφοράς

1.3 Υπολογισμός συχνότητας ταλάντωσης μονοσταθή πολυδονητή

Ένα σημαντικό μειονέκτημα των μονοσταθών πολυδονητών είναι ότι το χρονικό διάστημα μεταξύ της εφαρμογής του επόμενου σήματος σκανδαλισμού T , πρέπει να είναι μεγαλύτερο της σταθεράς χρόνου του χρονοκυκλώματος RC έτσι ώστε να έχει ολοκληρωθεί η μετάβαση από την ημι-ευσταθή στην ευσταθή του κατάσταση. Η συχνότητα λειτουργίας για έναν μονοσταθή πολυδονητή μπορεί να προκύψει από τη σχέση:

$$f=1/T \tag{1.14}$$

όπου:

Τ ο χρόνος ελάχιστης διάρκειας του παλμού σκανδαλισμού για το κύκλωμα.

Στο χρόνο T (διάρκεια παλμού) ενδεχόμενα θα πρέπει να προστεθεί και ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται με βάση την τεχνολογία των ενεργών στοιχείων, για την πλήρη μετάβαση (switching) της εξόδου τους (μετάβαση από αποκοπή σε κόρο και αντίστροφα).

1.4 Εφαρμογές χρήσης μονοσταθών πολυδονητών

Τα κυκλώματα των μονοσταθών πολυδονητών μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τις παρακάτω εφαρμογές [III]:

- Λόγω της χρονικής ικανότητας καθυστέρησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα χρονισμού (αναφοράς χρόνου)
- Ως κυκλώματα αποθήκευσης - μέτρησης
- Ως κυκλώματα διεγέρσεως σε κυκλώματα γεννητριών παλμών
- Ανακατασκευή παλμών με διαταραγμένη μορφή (regeneration of malformed pulses)
- Διαιρέτες συχνότητας (frequency dividers)
- Παλμική Διαμόρφωση Μεταβλητής Χρονικής Διάρκειας (Pulse Width Modulation - PWM)
- Ανιχνευτής μη εμφάνισης παλμών (Missing Pulse Detector)

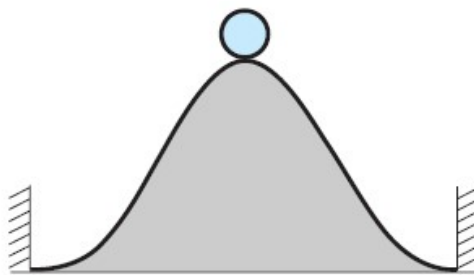
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Δισταθείς Πολυδονητές

Οι δισταθείς πολυδονητές αποτελούν ένα από τα πιο χρήσιμα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται στα αναλογικά και ψηφιακά συστήματα. Χρησιμοποιούνται για τους εξής λόγους:

- Μέτρηση (counting)
- Αποθήκευση (storing)
- Μετατροπή/παραγωγή κυματομορφών

Ο δισταθής πολυδονητής χρησιμοποιεί δύο ευσταθείς καταστάσεις στις οποίες μπορεί να παραμείνει για όσο χρόνο είναι επιθυμητός και εφόσον δεν συντρέχουν συνθήκες πυροδότησης (triggering) για μετάβαση (transition). Για την λειτουργία του χρησιμοποιείται ένα εξωτερικό κύκλωμα διέγερσης παλμών, για την εναλλαγή μετάβασης από την μία κατάσταση στην άλλη. Τα κυκλώματα των δισταθών πολυδονητών πολλές φορές καλούνται και κυκλώματα Eccles Jordon, κυκλώματα στόχου (target circuits), κλιμακούμενο κύκλωμα εναλλαγής δύο καταστάσεων (scale of-2-toggle circuit), flip-flop και δυαδικό κύκλωμα (binary).

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα μηχανικό ανάλογο της αρχής λειτουργίας ενός δισταθούς πολυδονητή:



Σχήμα 18: Μηχανικό ανάλογο σύστημα ενός δισταθούς πολυδονητή

Παρατηρούμε ότι το μηχανικό ανάλογο παρουσιάζει δύο ευσταθείς καταστάσεις (άκρα του διαστήματος μεταβολής), στα οποία το μηχανικό σύστημα μπορεί να παραμείνει εφόσον δεν του αποδοθεί ενέργεια για να πυροδοτήσει μετάβαση.

2.1 Αρχή Λειτουργίας Δισταθής Πολυδονητή

Ο δισταθής πολυδονητής, σε αντίθεση με τον μονοσταθής, διαθέτει δύο ευσταθείς καταστάσεις (εξαιτίας των οποίων χαρακτηρίζεται με το πρόθεμα Bi-). Ο δισταθής πολυδονητής μπορεί να παραμείνει για απεριόριστο χρονικό διάστημα σε οποιαδήποτε εξ'αυτών, εφόσον δεν επιδράσει σήμα διέγερσης (σκανδαλισμού), έτσι ώστε να αναγκαστεί να εκτελέσει κύκλο μετάβασης [IV]. Η μετάβαση γίνεται με χρήση του εξωτερικού σήματος σκανδαλισμού (παλμός αρνητικής/θετικής λογικής) και για την μετάβαση του από την αρχική κατάσταση από την οποία εκκίνησε, απαιτείται ακολουθία δύο διαδοχικών παλμών σκανδαλισμού.

Ο δισταθής πολυδονητής χρησιμοποιεί δύο ενεργά στοιχεία, θέτοντας αυτά σε κατάσταση ON-OFF ή OFF-ON αντίστοιχα (δηλαδή διατηρώντας μόνο το ένα από τα ενεργά στοιχεία του σε κατάσταση ON).

2.2 Τυπικά Κυκλώματα Δισταθή Πολυδονητή

Ένας δισταθής πολυδονητής μπορεί να υλοποιηθεί με χρήση διαφορετικού τύπου ενεργών στοιχείων για την υλοποίηση των καταστάσεων του. Στη συνέχεια παρατίθενται τα κυκλώματα που προκύπτουν με χρήση:

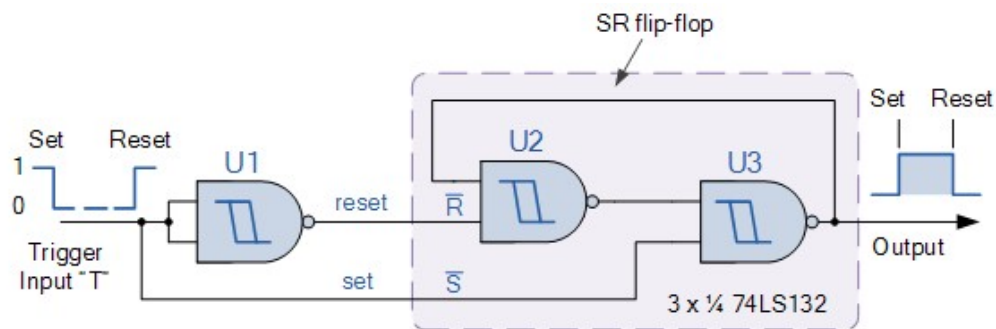
- Πυλών (gates)
- Transistors
- Τελεστικών Ενισχυτών - TE (op-amps)

2.2.1 Κατασκευή με πύλες

Για την κατασκευή των δισταθών πολυδονητών με πύλες, το κύκλωμα εκμεταλλεύεται την παραγωγή εξόδου τους με βάση τις λογικές συνθήκες διέγερσης τους (πίνακας αληθείας). Οι δισταθείς πολυδονητές κατασκευάζουν όλα τα κυκλώματα μανδαλωτών (latches). Στη συνέχεια παρατίθεται ένα ενδεικτικό κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με χρήση πυλών τύπου NAND και τα αντίστοιχα κυκλώματα των μανδαλωτών.

2.2.1.1 Κύκλωμα με πύλες τύπου NAND

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός δισταθή πολυδονητή με χρήση πυλών τύπου NAND [1]:



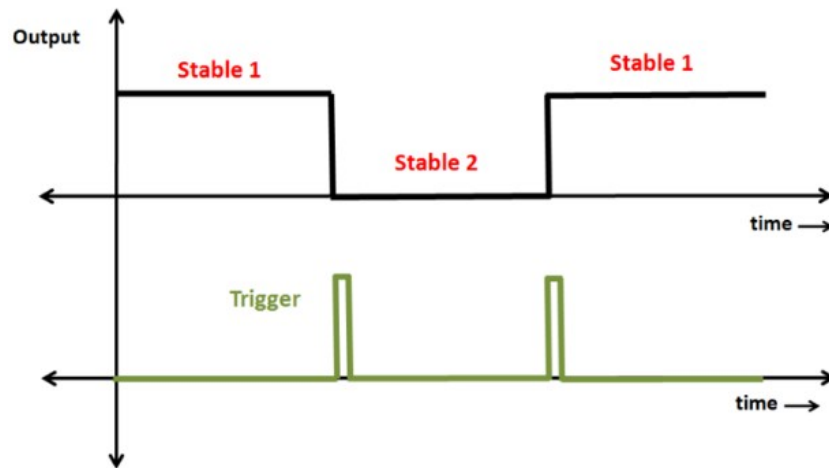
Σχήμα 19: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με χρήση πυλών τύπου NAND

Ο απλούστερος τρόπος για την κατασκευή ενός δισταθή μανδαλωτή (latch) είναι να συνδεθούν μαζί ένα ζεύγος από πύλες Schmitt NAND για τον σχηματισμό ενός SR μανδαλωτή, όπως παρουσιάζεται και στο παραπάνω σχήμα. Οι δύο πύλες NAND (U2) και (U3) σχηματίζουν το δισταθή πολυδονητή, ο οποίος διεγείρεται από την πύλη NAND (U1). Η πύλη είναι συνδεδεμένη με βραχυκυκλωμένες τις εισόδους της, λειτουργώντας ως πύλη NOT. Η πύλη θα μπορούσε να αντικατασταθεί στο κύκλωμα, με χρήση ενός διακόπτη δύο μεταβάσεων (toggle switch).

Όταν ο παλμός σκανδαλισμού (trigger) είναι σε λογικό '0', τότε οδηγείται από την έξοδο της πύλης U1 σήμα εισόδου SET για τον SR μανδαλωτή, θέτοντας την έξοδο του σε λογικό '1'. Η τοποθέτηση του σήματος σκανδαλισμού σε τιμή λογικού '1' ενεργοποιεί σήμα εισόδου RESET για τον SR μανδαλωτή, ο οποίος έτσι θέτει την έξοδο του σε λογικό '0'. Το κύκλωμα θα παραμείνει σε αυτήν την κατάσταση μέχρι την επίδραση ενός νέου παλμού σκανδαλισμού στην είσοδο του.

2.2.1.2 Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος με πύλες τύπου NAND

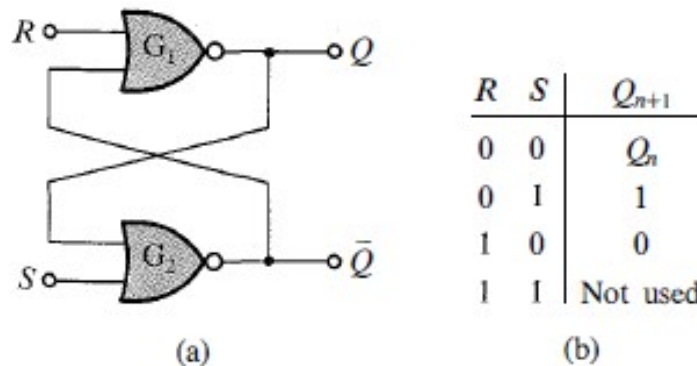
Η κυματομορφή από τη λειτουργία του δισταθί πολυδονητή για το κύκλωμα με πύλες τύπου NAND παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 20: Κυματομορφή κυκλώματος δισταθί πολυδονητή με πύλες τύπου NAND

2.2.1.3 Κύκλωμα μανδαλωτή SR με πύλες τύπου NOR

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το κύκλωμα μανδαλωτή SR με χρήση πυλών τύπου NOR [1]:



Σχήμα 21: Μανδαλωτής SR (a) κύκλωμα με χρήση πυλών NOR (b) Πίνακας διέγερσης του μανδαλωτή

Ο μανδαλωτής SR διαθέτει δύο εξόδους Q και Q'. Για την ορθή λειτουργία του μανδαλωτή, οι εξόδοι του θα πρέπει να βρίσκονται πάντοτε σε συμπληρωματικές καταστάσεις (δηλαδή όταν Q='0' τότε Q'='1' και αντίστροφα). Ο μανδαλωτής διεγείρεται από σήματα παλμών στις εισόδους του S (SET) και R (RESET). Θετικός παλμός στο σήμα S θέτει τον μανδαλωτή σε κατάσταση εξόδου Q='1' και Q'='0'. Ο μανδαλωτής θα παραμείνει σε αυτήν την κατάσταση (θέσης) ακόμη και μετά την απόσυρση του παλμού θετικής λογικής. Από τον πίνακα διέγερσης παρατηρούμε ότι ταυτόχρονη ενεργοποίηση των σημάτων θετικής λογικής S και R δεν είναι επιτρεπτή, διότι καθιστά το κύκλωμα του μανδαλωτή σε απροσδιόριστη κατάσταση (not used).

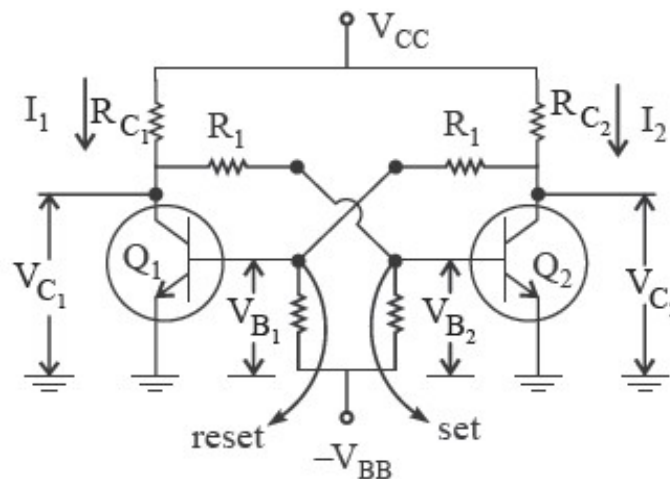
2.2.2 Κατασκευή με transistors

Για την κατασκευή ενός δισταθί πολυδονητή με κυκλώματα transistors μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο βασικά κυκλώματα:

- Κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών (collector coupled)
 - Σταθερής πόλωσης (fixed bias)
 - Αυτοπόλωσης (self bias)
- Κύκλωμα συζευγμένων εκπομπών (emitter coupled)

2.2.2.1 Κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών σταθερής πόλωσης

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός δισταθί πολυδονητή με χρήση κυκλώματος transistors σε κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών σταθερής πόλωσης [2], [4], [B]:



Σχήμα 22: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με BJT transistors σε κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών σταθερής πόλωσης

Το κύκλωμα υλοποιείται με χρήση δύο BJT, Q₁ και Q₂ τύπου n-p-n. Ο συλλέκτης του Q₂ είναι συζευγμένος με την βάση του Q₁ μέσω της αντίστασης R₁, ενώ ο συλλέκτης του Q₁ είναι

συζευγμένος με τη βάση του Q_2 μέσω άλλης αντίστασης R_1 . Σε μία εκ των δύο σταθερών καταστάσεων του κυκλώματος, το transistor Q_1 είναι ON σε κατάσταση κόρου, ενώ το Q_2 είναι OFF σε κατάσταση αποκοπής. Στην άλλη σταθερή κατάσταση η συνθήκη λειτουργίας των δύο transistors είναι αντίστροφη, δηλαδή το Q_1 είναι OFF και το Q_2 είναι ON. Αυτό ισχύει παρ'όλο που το κύκλωμα είναι συμμετρικό.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το παραπάνω κύκλωμα δεν βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση όταν και τα δύο transistors είναι ON ταυτόχρονα σε συνθήκες ίσου ρεύματος πόλωσης. Υποθέτοντας λόγω της συμμετρίας του κυκλώματος ότι τα transistors είναι πολωμένα με τις ίδιες συνθήκες και χρησιμοποιούν ίσα ρεύματα πόλωσης I_1 και I_2 , εάν υπάρξει μία μικρή διακύμανση στο ρεύμα I_1 (εξαιτίας μίας μικρής αύξησης του ρεύματος σε σχέση με την τιμή ηρεμίας του), τότε η τάση V_{C1} στο συλλέκτη του Q_1 μειώνεται. Αυτό οδηγεί σε μείωση της τάσης V_{B2} στο Q_2 , οπότε αυτό θα βρεθεί σε αποκοπή οδηγώντας σε μείωση του ρεύματος I_2 , αυξάνοντας την τάση V_{C2} του συλλέκτη του Q_2 . Αυτό καταλήγει σε αύξηση της τάσης V_{B1} της βάσης του Q_1 . Αυτή η συνθήκη θα ενισχύσει την προηγούμενη αύξηση του ρεύματος I_1 οδηγώντας σε μείωση του I_2 , μέχρις ότου το Q_1 να βρεθεί στην περιοχή του κόρου (ON) και το Q_2 στην περιοχή αποκοπής (OFF). Αυτή συνιστά μία σταθερή κατάσταση για τη λειτουργία του δισταθούς πολυδονητή.

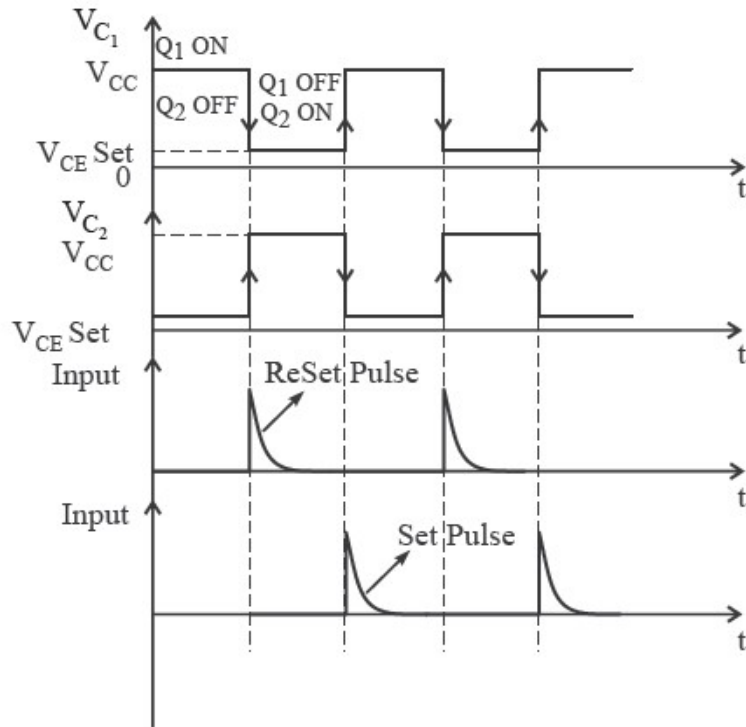
Το κύκλωμα θα παραμείνει σε αυτήν την κατάσταση μέχρι να επιδράσει ένας παλμός σκανδαλισμού στους ακροδέκτες SET ή RESET του κυκλώματος. Εάν ένας παλμός θετικής λογικής επιδράσει στον ακροδέκτη SET ή RESET θα οδηγήσει το Q_1 σε αποκοπή (OFF) και το Q_2 σε κορεσμό (ON). Αυτή αποτελεί τη δεύτερη σταθερή κατάσταση του πολυδονητή. Το ρεύμα λειτουργίας των transistors θα παραμείνει σε αυτήν την κατάσταση ακόμη και όταν ο παλμός σκανδαλισμού απενεργοποιηθεί.

Οι τιμές των R_1 , R_2 και της τάσεως V_{BB} θα πρέπει να επιλεγούν έτσι ώστε σε μία ευσταθή κατάσταση το ρεύμα βάσης να είναι αρκετά ισχυρό για να οδηγήσει το αντίστοιχο transistor σε κόρο. Ενώ, όταν το κύκλωμα βρίσκεται στην άλλη ευσταθή κατάσταση, οι τιμές αυτές θα πρέπει να διασφαλίζουν ότι οι εκπομποί είναι σε δυναμικό μικρότερο της αποκοπής. Η αλλαγή της τάσης στους συλλέκτες καταλήγει στον κορεσμό για το ένα transistor και στην αποκοπή για το άλλο. Αυτή η διαφορά δυναμικού μεταξύ των συλλεκτών του κυκλώματος καλείται διακύμανση της τάσης εξόδου V_{ω} του κυκλώματος (output voltage swing). Η R_1 δεν επιδρά σε αυτήν την διακύμανση.

$$V_{\omega} = V_{C1} - V_{C2} \quad (2.1)$$

2.2.2.2 *Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος transistors συζευγμένων συλλεκτών με σταθερή πόλωση*

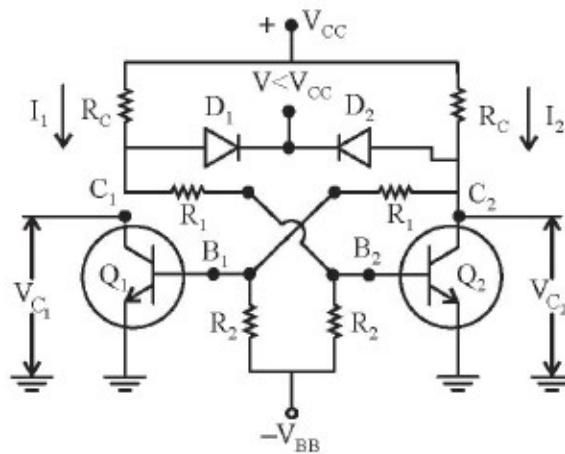
Οι κυματομορφές των συλλεκτών για τα Q_1 και Q_2 για τον δισταθί πολυδονητή συζευγμένων συλλεκτών με σταθερή πόλωση, παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 23: Κυματομορφές συλλεκτών για τα Q_1 και Q_2 στον διασταθί πολυδονητή με BJT transistors συζευγμένων συλλεκτών με σταθερή πόλωση

2.2.2.3 Κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών σταθερής πόλωσης με χρήση διόδων πρόσδεσης

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός διασταθί πολυδονητή με χρήση κυκλώματος transistors σε κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών σταθερής πόλωσης με διόδους πρόσδεσης [2]:



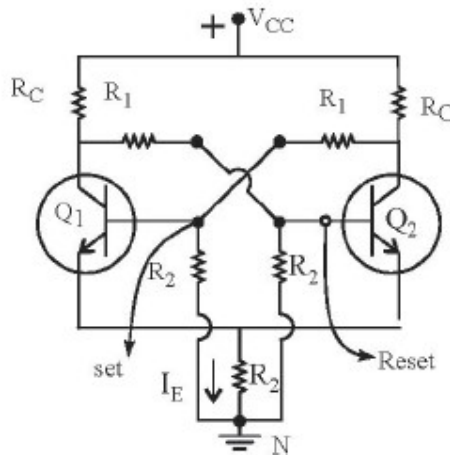
Σχήμα 24: Κύκλωμα διασταθούς πολυδονητή με BJT transistors σε κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών σταθερής πόλωσης με διόδους πρόσδεσης

Το κύκλωμα εξόδου του δισταθούς πολυδονητή συνήθως προορίζεται να οδηγήσει ένα επόμενο κύκλωμα. Σε αυτήν την περίπτωση, το φορτίο που εισάγει το επόμενο κύκλωμα στον δισταθή πολυδονητή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για να μην διαταράξει τη λειτουργία του πολυδονητή. Η επίδραση του φορτίου στην έξοδο, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διακύμανσης της τάσεως εξόδου εξαιτίας της μείωσης της τάσης των συλλεκτών του κυκλώματος από την τροφοδότηση του συνδεδεμένου φορτίου στην έξοδο του κυκλώματος.

Όταν το φορτίο μεταβάλλεται καθώς ο δισταθής πολυδονητής λειτουργεί, η μείωση της τάσης διακύμανσης στην έξοδο του πολυδονητή, θα οδηγήσει σε μείωση του ρεύματος βάσεων που επιτυγχάνει για το ένα transistor τον κόρο. Για τη διατήρηση του ρεύματος που απαιτείται για την λειτουργία του δισταθούς πολυδονητή, χρησιμοποιούνται οι δίοδοι του σχήματος. Οι δίοδοι συγκρατούν την τάση των συλλεκτών καθώς η βοηθητική τάση πόλωσης V των διόδων είναι μικρότερη της τάσης πόλωσης V_{CC} .

2.2.2.4 Κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών αυτοπόλωσης

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός δισταθής πολυδονητή με χρήση κυκλώματος transistors σε κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών αυτοπόλωσης [2]:



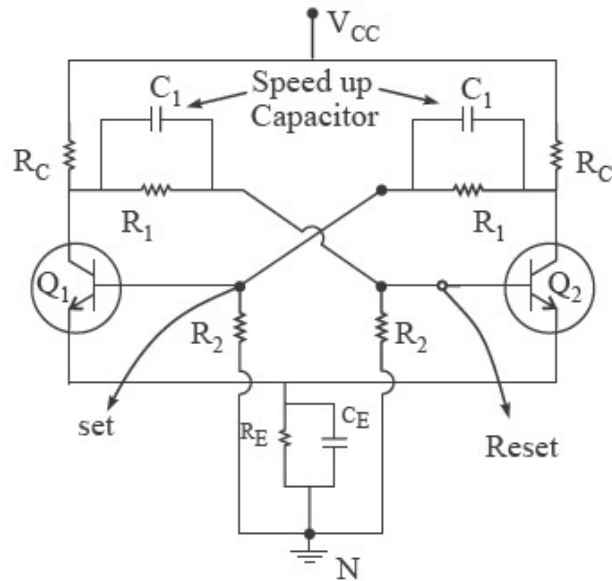
Σχήμα 25: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με BJT transistors σε κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών αυτοπόλωσης

Όπως παρατηρούμε, το κύκλωμα χρησιμοποιεί μόνο μία πηγή πόλωσης V_{CC} αντί για χρήση και δεύτερης πηγής πόλωσης $-V_{BB}$. Η παροχή της δεύτερης τάσης πόλωσης προκύπτει από την πτώση τάσης στην αντίσταση R_2 . Για το λόγο αυτό, το παραπάνω κύκλωμα καλείται και κύκλωμα αυτοπόλωσης. Το κύκλωμα διαθέτει δύο ευσταθείς καταστάσεις όπως και το προηγούμενο. Αυτό μπορεί να διασφαλιστεί εφόσον η αντίσταση R_2 συνεχίζει να διασφαλίζει πτώση τάσης για να αφήνει τα ρεύματα των βάσεων κατά τρόπο που οδηγούν το ένα transistor στην αποκοπή και το άλλο στον κόρο. Κατά τη διαδικασία των μεταβάσεων, το ρεύμα I_E εμφανίζει μεταβολή της τάξης ΔI_E . Η μεταβολή αυτή δεν θα πρέπει να προκαλεί μεταβολή των ρευμάτων ηρεμίας των βάσεων - συλλεκτών του συστήματος, για να μην προκαλεί μετάβαση από μία κατάσταση σε άλλη για τον δισταθή πολυδονητή.

Το πλεονέκτημα του κυκλώματος σε σχέση με το αρχικό, είναι η χρήση μονού τροφοδοτικού πόλωσης για τη λειτουργία του.

2.2.2.5 Κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών αυτοπόλωσης με πυκνωτές επιτάχυνσης

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός δισταθής πολυδονητή με χρήση κυκλώματος transistors σε κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών αυτοπόλωσης με πυκνωτές επιτάχυνσης [2]:



Σχήμα 26: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με BJT transistors σε κύκλωμα συζευγμένων συλλεκτών αυτοπόλωσης με πυκνωτές επιτάχυνσης

Το κύκλωμα παραμένει πανομοιότυπο με το προηγούμενο κύκλωμα αυτοπόλωσης, με την προσθήκη των πυκνωτών παράλληλα προς τις υπάρχουσες αντιστάσεις πόλωσης R_1 . Με την εφαρμογή του παλμού σκανδαλισμού, το κύκλωμα θα κάνει μετάβαση κατάστασης. Ο χρόνος μετάβασης (transistor time) είναι ο χρόνος που απαιτεί το transistor έτσι ώστε να μεταβεί από την κατάσταση ON σε OFF ή και αντίστροφα. Ο χρόνος μετάβασης είναι επιθυμητό να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος για την ταχύτερη λειτουργία του κυκλώματος. Στα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές, ο χρόνος αυτός μπορεί να μειωθεί σημαντικά, αφήνοντας "μονοπάτι διέλευσης των υψηλών συχνοτήτων" του παλμού σκανδαλισμού. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται οι πυκνωτές μικρής χωρητικότητας σε παράλληλη ζεύξη με τις αντιστάσεις R_1 . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο χρόνος μετάβασης του transistor να βελτιωθεί σημαντικά, χωρίς όμως αυτό να επιδρά στην σταθερότητα της λειτουργίας του κυκλώματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η παράλληλη λειτουργία της αντίστασης με τον πυκνωτή, λειτουργεί ως φίλτρο με καθορισμένο χρόνο ανόδου (rise time). Ο χρόνος αυτός δίνεται από τη σχέση:

$$t_r = \left[\frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2} \right] C_1 \quad (2.2)$$

Οπότε, δεδομένου ότι οι πυκνωτές επιτυγχάνουν την μείωση του χρόνου μετάβασης των transistors, για αυτόν τον λόγο καλούνται και πυκνωτές επιτάχυνσης (speed up capacitors), πυκνωτές μετάθεσης (transpose), ή πυκνωτές μετακίνησης (commutating). Η επίδραση των πυκνωτών στο κύκλωμα, έχει ως αποτέλεσμα τη γρήγορη μετακίνηση των φορτίων που αποθηκεύονται στη βάση του transistor που είναι σε κατάσταση ON (κόρο) λόγω έλλειψης θετικών φορέων (οπών) στο πυρίτιο του ημιαγωγού.

Το μικρότερο χρονικό διάστημα στο οποίο επιτρέπεται διαδοχική δράση παλμών για συνεχή επιβολή μεταβάσεων στον δισταθή πολυδονητή, καλείται χρόνος επίλυσης (resolving time). Με τη χρήση του, οι μεταβάσεις καταστάσεων γίνονται πιο άμεσα συμβάλλοντας στην αξιόπιστη λειτουργία του πολυδονητή. Ο ελάχιστος αυτός χρόνος προφανώς ρυθμίζει τη μέγιστη συχνότητα εφαρμογής παλμών στο κύκλωμα. Η συχνότητα προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$f_{\max} = \frac{1}{\text{resolving time}}$$
$$f_{\max} = \frac{1}{2C_1(R_1 \parallel R_L)} = \frac{(R_1 + R_L)}{2C_1R_1R_L} \quad (2.3)$$

Η τάση στον πυκνωτή δεν θα πρέπει να αλλάζει κατά τη διάρκεια των μεταβάσεων. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας μετάβασης, οι πυκνωτές επιτρέπεται να αλλάξουν τα φορτία τους και κατά συνέπεια τις τάσεις τους. Ο επιπλέον χρόνος που απαιτείται για την επαναφόρτιση αυτών των πυκνωτών, καλείται χρόνος αποκατάστασης (setting time). Ο συνολικός χρόνος μετάβασης του transistor και του χρόνου αποκατάστασης των πυκνωτών καλείται χρόνος επίλυσης του πολυδονητή (resolution time). Ο χρόνος αποκατάστασης για σχετικά μικρής χωρητικότητας πυκνωτές είναι επίσης μικρός.

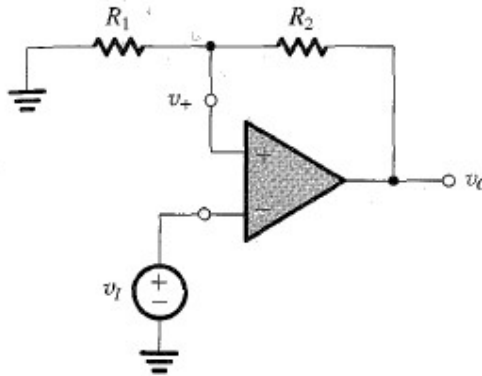
Βελτίωση του χρόνου επίλυσης μπορεί να επιτευχθεί υπό την επίδραση των παρακάτω συνθηκών:

- Μείωση των τιμών των αντιστάσεων R_1 , R_2 και R_C
- Μείωση της χωρητικότητας του κυκλώματος (stay capacitance)
- Μη επιτρέποντας στο transistor να εισέλθει "βαθιά" στον κόρο

Ειδικότερα με την εφαρμογή της τρίτης συνθήκης, ο χρόνος μετάβασης θα μειωθεί σημαντικά, ειδικότερα στις μεταβάσεις από κατάσταση ON σε OFF.

2.2.3 Κατασκευή με OP-AMPs

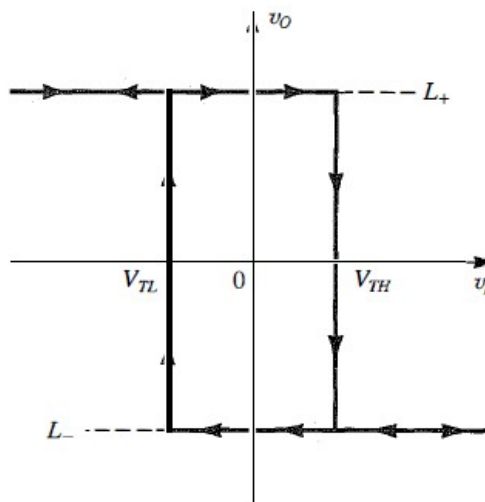
Η βασική δομή ενός δισταθή πολυδονητή με TE, αξιοποιεί την θετική ανάδραση σε κύκλωμα ενός TE. Ο θετικός βρόχος ανάδρασης (feedback loop), σε συνδυασμό με το σήμα εισόδου στον άλλο ακροδέκτη (-) του TE, αναγκάζει το σύστημα να εκτελεί μετάβαση μεταξύ του θετικού και αρνητικού κόρου τροφοδοσίας του TE. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο βασικός βρόχος με χρήση θετικής ανάδρασης για ένα κύκλωμα TE [1], [4]:



Σχήμα 27: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με TE (op-amps) και χρήση του βασικού βρόχου υστέρησης

Θεωρούμε την επίδραση μίας τάσης εισόδου U_i στον αρνητικό ακροδέκτη του TE. Για τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής λειτουργίας του κυκλώματος (διάγραμμα $U_i - U_o$), υποθέτουμε ότι η έξοδος είναι σε μία εκ των δύο ευσταθών καταστάσεων L^+ οπότε το σήμα στον θετικό ακροδέκτη εισόδου του TE είναι σε τιμή $V^+ = -\beta L^+$ όπου $\beta = R_1 / (R_1 + R_2)$. Καθώς η τάση U_i αυξάνει από τιμή μηδέν μέχρι οριακά την τιμή του V^+ δεν συμβαίνει καμμία μεταβολή στην έξοδο του κυκλώματος. Μόλις η U_i υπερβεί οριακά την τιμή του V^+ το κύκλωμα του TE που λειτουργεί ως συγκριτής, μετβάλλει την έξοδο του ερχόμενο στον αρνητικό κόρο τροφοδοσίας L^- οπότε $U_o = L^-$ και $V^+ = \beta L^-$. Περαιτέρω αύξηση της U_i δεν έχει καμμία επίδραση στη λειτουργία μετάβασης του κυκλώματος.

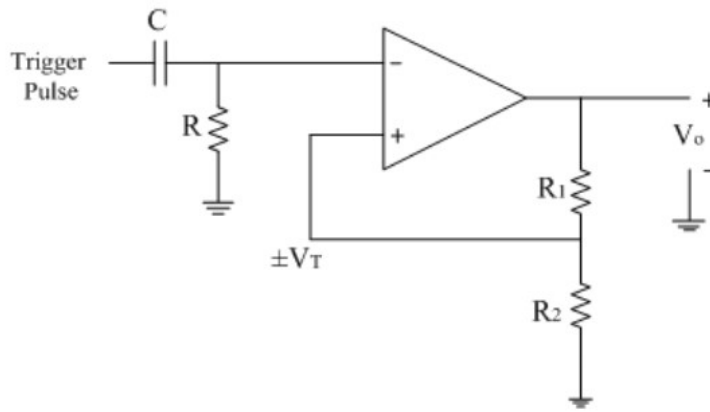
Κατά την αντίστροφη διαδικασία, θεωρώντας ότι η έξοδος του συστήματος είναι στον αρνητικό κόρο $U_o = L^-$ η μείωση της τάσης U_i που συνδέεται στον ακροδέκτη (-) του TE κάτω από το επίπεδο βL^- θα οδηγήσει και πάλι τον TE που λειτουργεί ως συγκριτής, να μεταβεί από τον αρνητικό στον θετικό του κόρο δηλαδή $U_o = L^+$. Και οι δύο αυτές μεταβάσεις συνοψίζονται στο διάγραμμα του ακόλουθου σχήματος:



Σχήμα 28: Βρόχος υστέρησης στο κύκλωμα θετικής ανάδρασης του TE

2.2.3.1 Κόκλωμα με TE (op-amp)

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός δισταθού πολυδονητή με χρήση TE [V]:

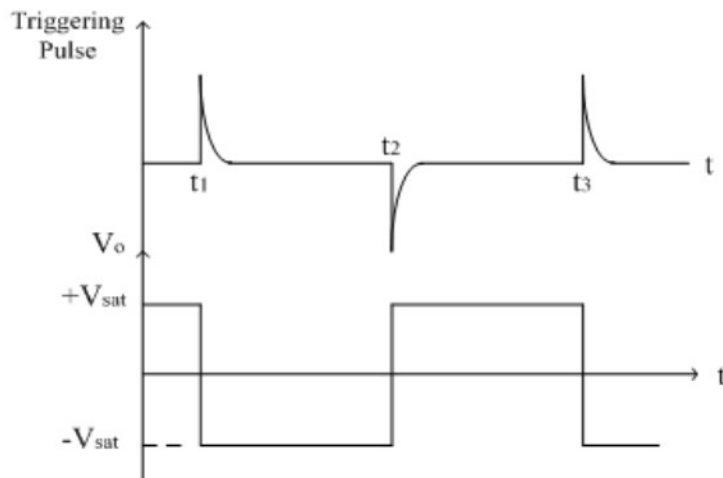


Σχήμα 29: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με χρήση TE (op-amp)

Από το κύκλωμα παρατηρούμε ότι ο δισταθής πολυδονητής συνίσταται από τον TE με χρήση θετικής ανάδρασης (αντιστάσεις R_1 και R_2 του κυκλώματος) και ένα δικτύωμα RC (C και R στοιχεία του κυκλώματος). Η επίδραση ενός παλμού σκανδαλισμού έχει ως αποτέλεσμα την φόρτιση του πυκνωτή, ο οποίος διεγείρει τον αρνητικό ακροδέκτη (-) του TE, με αποτέλεσμα όταν η φόρτιση του πυκνωτή ξεπεράσει την τιμή του (+) ακροδέκτη να οδηγήσει το κύκλωμα σε μεταβολή της κατάστασης εξόδου στον αρνητικό κόρο. Με την αναίρεση του παλμού σκανδαλισμού και την εκφόρτιση του δικτυώματος RC, όταν η τάση μειωθεί χαμηλότερα από την τιμή του (+) ακροδέκτη με αρνητική πολικότητα, ο TE αφήνει την έξοδο του σταθερή στον αρνητικό κόρο. Στην εφαρμογή επόμενου παλμού με αρνητική πολικότητα και μετά την επαναφόρτιση του πυκνωτή ο ακροδέκτης (+) βρίσκεται σε τιμή V_L^- οπότε ο TE μεταπίπτει στον θετικό κόρο V_L^+ .

2.2.3.2 Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος TE (op-amp)

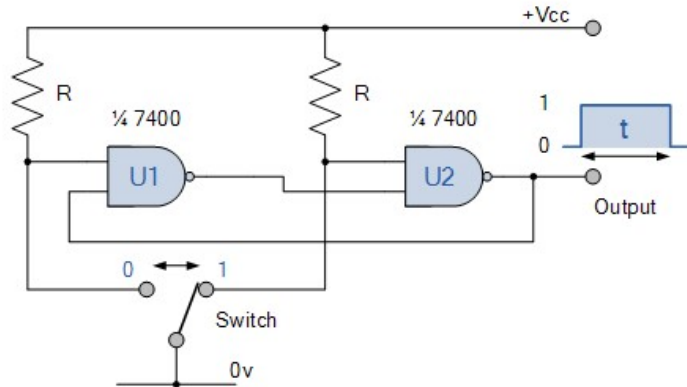
Οι κυματομορφές του σήματος διέγερσης και εξόδου του κυκλώματος δισταθούς πολυδονητή με TE (op-amp) παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί [V]:



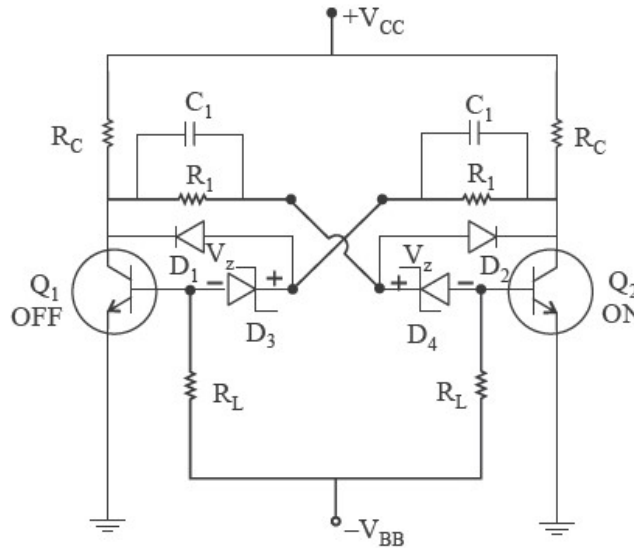
Σχήμα 30: Κυματομορφές εξόδου του κυκλώματος δισταθούς πολυδονητή με TE (op-amps)

2.2.4 Άλλα κυκλώματα

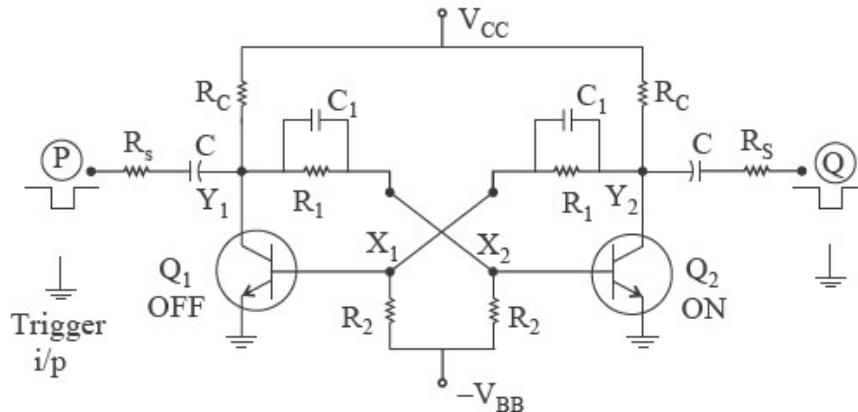
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται και άλλα εναλλακτικά κυκλώματα δισταθών πολυδονητών, τα οποία μπορούν να κατασκευαστούν είτε με χρήση διακριτών στοιχείων ή χρήση βασικών ολοκληρωμένων (ICs) [V], [VI].

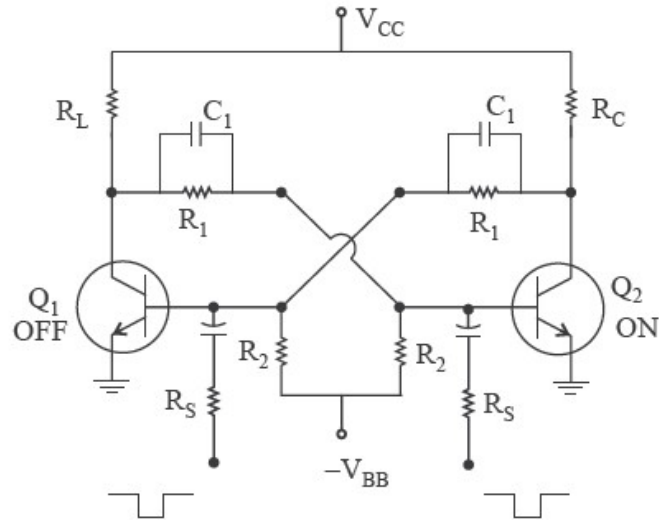


Σχήμα 31: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με πύλες τύπου NAND και εξωτερικό διακόπτη μεταλλαγής παλμού

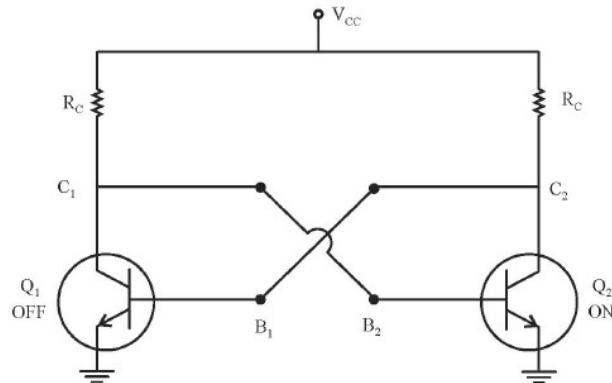


Σχήμα 32: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με BJT transistors (non-saturating binary)

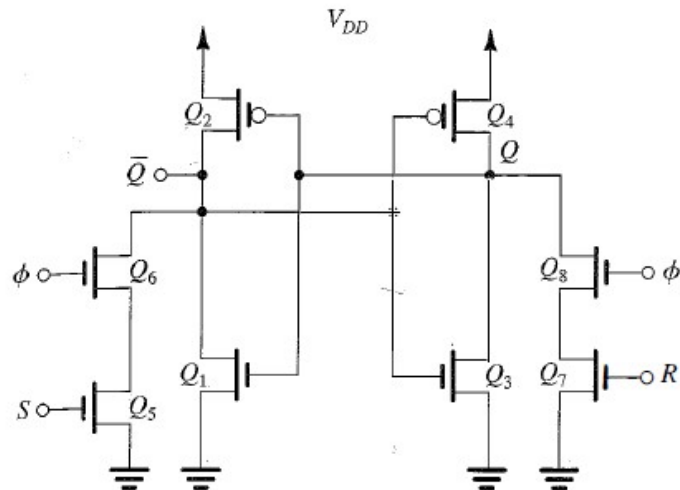




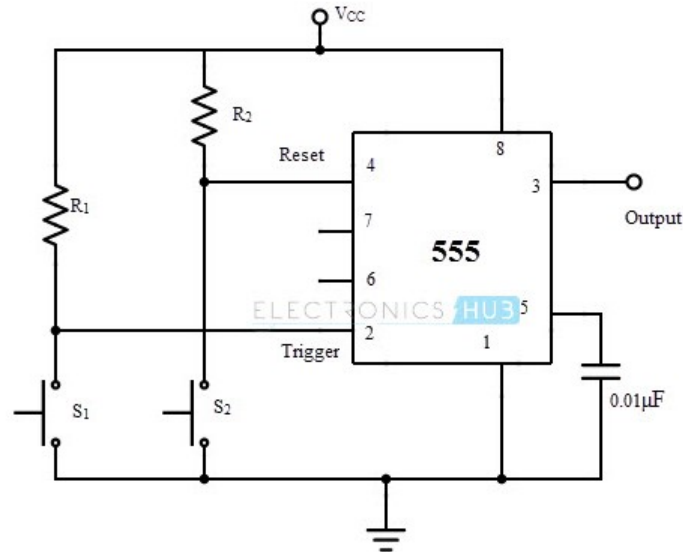
Σχήμα 33: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με BJT transistors (unsymmetrical triggering)



Σχήμα 34: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με BJT transistors απευθείας ζεύξης (direct connection binary)



Σχήμα 35: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή για SR Flip-Flop με σήμα ρολογιού ϕ



Σχήμα 36: Κύκλωμα δισταθούς πολυδονητή με χρήση του χρονιστή 555

2.3 Υπολογισμός συχνότητας ταλάντωσης Δισταθής πολυδονητή

Το χρονικό διάστημα μεταξύ της εφαρμογής του επόμενου σήματος σκανδαλισμού T ως προς την εφαρμογή του επόμενου παλμού διέγερσης των κυκλωμάτων του δισταθής πολυδονητή, πρέπει να είναι μεγαλύτερο του χρόνου που απαιτεί η τεχνολογία του κυκλώματος, έτσι ώστε ο δισταθής πολυδονητής να έχει ολοκληρώσει τη μετάβαση του από την μία ευσταθή κατάσταση του στην άλλη. Η συχνότητα λειτουργίας για έναν δισταθής πολυδονητή μπορεί να προκύψει από τη σχέση:

$$f=1/T \quad (2.4)$$

όπου:

T ο χρόνος ελάχιστης διάρκειας του παλμού σκανδαλισμού για το κύκλωμα.

Στο χρόνο T (διάρκεια παλμού) ενδεχόμενα θα πρέπει να προστεθεί και ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται με βάση την τεχνολογία των ενεργών στοιχείων, για την πλήρη μετάβαση (switching) της εξόδου τους (μετάβαση από αποκοπή σε κόρο και αντίστροφα). Επιπλέον όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες ενότητες, η χρήση των πυκνωτών επιτάχυνσης διασφαλίζει ταχύτερη αποφόρτιση των φορτίων του παλμού σκανδαλισμού. Επιπλέον στην ταχύτητα λειτουργίας, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η τεχνολογία ολοκλήρωσης του πολυδονητή, όπως επίσης και οι τάσεις τροφοδοσίας του κυκλώματος [2], [IV], [V].

2.4 Εφαρμογές χρήσης δισταθών πολυδονητών

Τα κυκλώματα των δισταθών πολυδονητών μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τις παρακάτω εφαρμογές [I]:

- Διατάξεις Μνήμης - Αποθήκευσης
- Κατασκευή Μανδαλωτών (Latches)
- Κατασκευή Flip-Flops
- Ψηφιακά/Ακολουθιακά Κυκλώματα
- Κατασκευή Δυαδικών Μετρητών (Binary Counters)
- Κυκλώματα Διαίρεσης Συχνότητας (Frequency Dividers)
- Παραγωγή παλμών ρολογιού (clock signals)
- Κύκλωμα διέγερσης (toggle) άλλων υποσυστημάτων
- Κύκλωμα ελεγκτών για relays
- Κύκλωμα μετατροπής ημιτονικών κυματομορφών σε τετραγωνικούς παλμούς

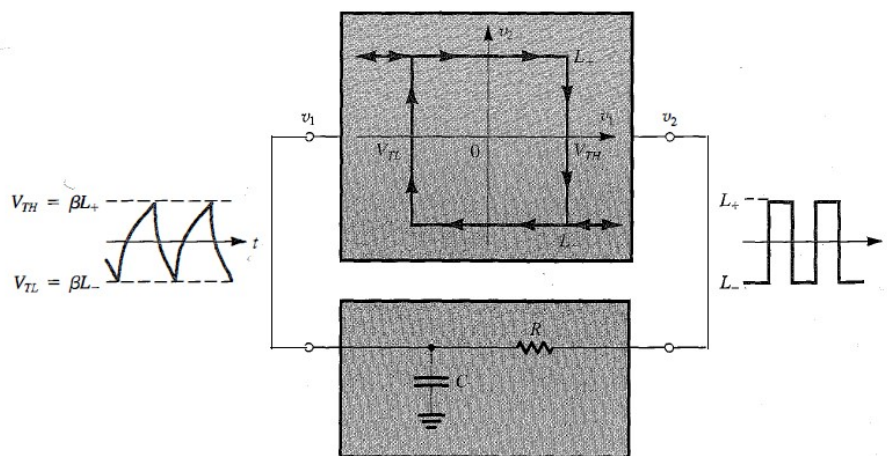
Οι περιορισμοί στη λειτουργία και τις εφαρμογές των δισταθών πολυδονητών οφείλονται κυρίως στην αυξημένη κατανάλωση ισχύος (διαρκής μεταβολή των σημάτων εξόδου τους) και της θερμότητας που αναπτύσσουν τα κυκλώματα τους, καθώς και στην θερμοκρασία που τα κυκλώματα αναπτύσσουν σε συνεχή λειτουργία.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Ασταθείς Πολυδονητές

Στον ασταθή πολυδονητή και οι δύο καταστάσεις που διαθέτει το σύστημα είναι ημι-ευσταθείς. Ο ασταθής πολυδονητής εκτελεί μεταβάσεις με τον έλεγχο της ημι-ευσταθούς κατάστασης από το ενεργό του στοιχείο ελέγχοντας το άλλο ενεργό ημι-ευσταθές στοιχείο, χωρίς την χρήση εξωτερικού σήματος σκανδαλισμού (external triggering). Αυτού του τύπου οι πολυδονητές, δεν χρειάζονται εξωτερικά κυκλώματα παραγωγής παλμών για τη διέγερση τους, και για το λόγο αυτό καλούνται και αναδιπλούμενοι πολυδονητές (recanting multi-vibrators). Οι ασταθείς πολυδονητές χρησιμοποιούνται ως κυκλώματα διέγερσης σε μετατροπείς συχνοτήτων (frequency converters) καθώς και για άλλες εφαρμογές.

3.1 Αρχή Λειτουργίας Ασταθή Πολυδονητή

Ο ασταθής πολυδονητής, σε αντίθεση με τον δισταθή, διαθέτει δύο ημι-ευσταθείς καταστάσεις (εξαιτίας των οποίων χαρακτηρίζεται με το πρόθεμα Α-). Για την ανάλυση της βασικής αρχής λειτουργίας του ασταθούς πολυδονητή, θεωρούμε το ακόλουθο σχήμα βασικής λειτουργίας [1]:



Σχήμα 37: Block διάγραμμα κατασκευής ενός ασταθούς πολυδονητή με χρήση βρόχου υστέρησης και δικτύωμα RC

Το κύκλωμα που παράγεται με χρήση του παραπάνω block διαγράμματος, δεν παρουσιάζει καμμία ευσταθή κατάσταση, παράγοντας έτσι την λειτουργία ενός ασταθούς πολυδονητή. Για την ανάλυση της λειτουργίας, υποθέτουμε ότι η έξοδος του block διαγράμματος του βρόχου υστέρησης είναι στον θετικό κόρο L^+ . Ο πυκνωτής του δικτύωματος θα φορτιστεί μέσω της αντίστασης R σε αυτήν την τάση. Η τάση του πυκνωτή με την διαδικασία φόρτισης αποκαθίσταται με εκθετικό τρόπο, όπως παρουσιάζεται και στο σήμα εισόδου του βρόχου υστέρησης. Η σταθερά χρόνου κατά τη διαδικασία της φόρτισης, ορίζεται από τη σχέση $\tau=RC$. Όταν το σήμα εισόδου στον βρόχο υστέρησης φτάσει σε επίπεδο βL^+ , αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την αναστροφή της εξόδου από τον βρόχο υστέρησης σε τιμή αρνητικού κόρου L^- . Ο πυκνωτής εκφορτίζει τώρα εξαιτίας του νέου δυναμικού μέσω της αντίστασης R, μειώνοντας την τάση του με εκθετικό τρόπο βάσει της σταθεράς χρόνου του δικτύωματος RC.

Όταν η τιμή του εκπέσει στο επίπεδο βL^- αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα μέσω του block διαγράμματος του βρόχου υστέρησης, έτσι ώστε η έξοδος του block να τεθεί και πάλι στον θετικό κόρο. Οπότε ο κύκλος επαναλαμβάνεται, δεδομένου ότι το σύστημα δεν μπορεί να παραμείνει ευσταθώς σε καμία από τις δύο προηγούμενες καταστάσεις για απεριόριστο χρονικό διάστημα.

3.2 Τυπικά Κυκλώματα Ασταθή Πολυδονητή

Ένας ασταθής πολυδονητής μπορεί να υλοποιηθεί με χρήση διαφορετικού τύπου ενεργών στοιχείων για την υλοποίηση των ημι-ευσταθών καταστάσεων του. Στη συνέχεια παρατίθενται τα κυκλώματα που προκύπτουν με χρήση:

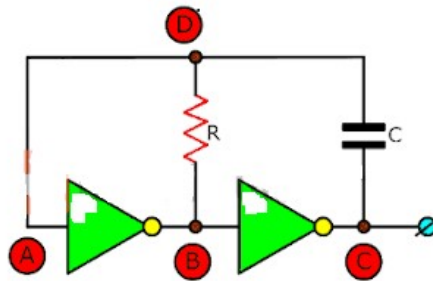
- Πυλών (gates)
- Transistors
- Τελεστικών Ενισχυτών - TE (op-amps)

3.2.1 Κατασκευή με πύλες

Για την κατασκευή των ασταθών πολυδονητών με πύλες, το κύκλωμα εκμεταλλεύεται την παραγωγή εξόδου με βάση τις λογικές συνθήκες διέγερσης τους (πίνακας αληθείας).

3.2.1.1 Κύκλωμα με πύλες τύπου NOT

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός ασταθή πολυδονητή με χρήση πυλών τύπου NOT [5], [C], [VII]:



Σχήμα 38: Κύκλωμα ασταθούς πολυδονητή με χρήση πυλών τύπου NOT

Το κύκλωμα αποτελείται από δύο πύλες NOT και ένα δικτύωμα RC. Για την ανάλυση του θεωρούμε τους κόμβους A, B, C, και D του κυκλώματος, όπως παρουσιάζονται στο κυκλωματικό του διάγραμμα.

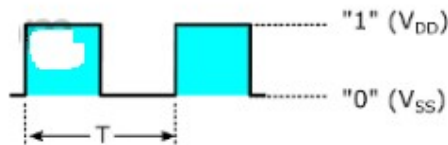
Αρχικά υποθέτουμε ότι ο κόμβος C βρίσκεται σε κατάσταση λογικού '1'. Κατά συνέπεια, ο κόμβος B βρίσκεται σε επίπεδο λογικού '0'. Ο πυκνωτής C φορτίζει λόγω της διαφοράς δυναμικού των κόμβων B και C. Η φόρτιση του γίνεται με ρεύμα από τον κόμβο C προς τον κόμβο B. Η αύξηση του δυναμικού στον κόμβο D θα οδηγήσει σε στιγμιαία αύξηση και στον κόμβο A. Θα πρέπει να

σημειωθεί ότι η διάρκεια φόρτισης και αύξησης του δυναμικού στον πυκνωτή, εξαρτάται από τη σταθερά χρόνου του κυκλώματος που ρυθμίζεται από τις επιλογές των R και C.

Όταν η φόρτιση του πυκνωτή ολοκληρωθεί, τότε η διέλευση ρεύματος μέσω της αντίστασης R θα μηδενίσει, οδηγώντας το δυναμικό στον κόμβο D σε λογικό '0'. Οπότε και ο κόμβος A αποκτά δυναμικό σε επίπεδο λογικού '0'. Κατά συνέπεια, ο κόμβος B έρχεται σε επίπεδο λογικού '1' και ο κόμβος C έρχεται σε δυναμικό λογικού '0'. Οπότε η διαφορά δυναμικού μεταξύ των κόμβων B και C εκκινεί και πάλι τη φόρτιση του πυκνωτή C με ρεύμα που κατευθύνεται από τον κόμβο B προς τον κόμβο C. Η φόρτιση του πυκνωτή με την αντίθετη πολικότητα αναγκάζει τον κόμβο D να παραμείνει σε χαμηλό δυναμικό λογικού '0'. Αυτή η φάση θα διαρκέσει και πάλι μέχρι την ολοκλήρωση της φόρτισης του πυκνωτή. Όταν ο πυκνωτής φορτιστεί, αυτό θα διακόψει και πάλι τη ροή ρεύματος μέσω της R και θα αναγκάσει τον κόμβο B να περιέλθει σε τιμή λογικού '0', οπότε ο κόμβος C θα περιέλθει σε τιμή λογικού '1'. Αυτό εξαναγκάζει επίσης το δυναμικό του κόμβου A να περιέλθει σε τιμή λογικού '1'. Η τελευταία φάση επανεκκινεί τη διαδικασία όπως περιγράφηκε και στην αρχή του κύκλου μετάβασης, δίνοντας ένα περιοδικό φαινόμενο μετάβασης μεταξύ των ημι-ευσταθών καταστάσεων.

3.2.1.2 Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος με πύλες τύπου NOT

Η κυματομορφή από τη λειτουργία του ασταθή πολυδονητή για το κύκλωμα με πύλες τύπου NOT παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 39: Κυματομορφή κυκλώματος ασταθή πολυδονητή με πύλες τύπου NOT

Προφανώς η περίοδος της κυματομορφής εξόδου αποτελεί το άθροισμα των χρονικών διαδικασιών φόρτισης - εκφόρτισης - επαναφόρτισης του πυκνωτή μέσω του δικτύωματος RC.

3.2.1.3 Υπολογισμός Συχνότητας ταλάντωσης κυκλώματος με πύλες τύπου NOT

Για τον υπολογισμό της περιόδου της κυματομορφής εξόδου του ασταθή πολυδονητή με χρήση πυλών τύπου NOT, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει ο καθορισμός της σταθεράς χρόνου του κυκλώματος μέσω της επιλογής των στοιχείων R και C. Επιπλέον, ο καθορισμός των επιπέδων μεταβολής της εξόδου του ασταθή πολυδονητή εξαρτάται επίσης από το κατώφλι (threshold) ανίχνευσης σήματος λογικού '0' και '1' από τις πύλες NOT. Το τελευταίο, αποτελεί εγγενές χαρακτηριστικό της τεχνολογίας κατασκευής των πυλών (τεχνολογία TTL, CMOS, κ.λπ) για τα επίπεδα αυτών των τάσεων. Για την απλοποίηση του υπολογισμού περιόδου (συχνότητας) μεταβάσεων του κυκλώματος, θεωρούμε ότι τα κατώφλια ανίχνευσης λογικού '0' και '1' είναι συμμετρικά τοποθετημένα ως προς την ελάχιστη τιμή ανίχνευσης λογικού '0' (γ_η) και μέγιστης τάσης τροφοδοσίας (V_{CC}) για το λογικό '1'. Τα επίπεδα των τάσεων τροφοδοσίας των πυλών διαφέρουν (και γίνονται χαμηλότερα με την εξέλιξη των τεχνολογιών π.χ. TTL → CMOS →

LVCΜOS κ.λπ.). Κατά συνέπεια οι διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτισης του δικτύματος RC θα είναι συμμετρικές, λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω παραδοχή, οπότε:

$$T=2T_{\text{φόρτισης}}=2T_{\text{εκφόρτισης}} \quad (3.1)$$

Θεωρώντας ότι η διαδικασία φόρτισης εκκινεί από τιμή δυναμικού μηδέν για τον πυκνωτή, στη χρονική στιγμή $t=0$, τότε η τάση του πυκνωτή διαμορφώνεται με εκθετικό τρόπο από τη σχέση:

$$U(t) = V_{CC}(1 - e^{-t/RC}) \quad (3.2)$$

όπου:

V_{CC} η τάση θετικής τροφοδοσίας του κυκλώματος των πυλών τύπου NOT

Θεωρώντας ότι η φόρτιση με βάση την ανίχνευση κατώφλιου εισόδου για την πύλη NOT ολοκληρώνεται σε τιμή $V_{ih} < V_{CC}$ (όπου V_{ih} είναι το κατώφλι σήματος εισόδου λογικού '1' για την τεχνολογία λειτουργίας της πύλης) προκύπτει, ότι ο χρόνος $T_{\text{φόρτισης}}$ (T_{charging}) δίνεται από τη σχέση:

$$T_{\text{charging}} = -RC \ln\left(1 - \frac{V_{ih}}{V_{CC}}\right) = RC \ln\left(\frac{V_{CC}}{V_{CC} - V_{ih}}\right) \quad (3.3)$$

Οπότε ο χρόνος περιόδου για τη λειτουργία του ασταθή πολυδονητή με πύλες τύπου NOT προκύπτει ως διπλάσιος του χρόνου που υπολογίστηκε για το φαινόμενο της φόρτισης, και δίνεται από τη σχέση:

$$T = 2RC \ln\left(\frac{V_{CC}}{V_{CC} - V_{ih}}\right) \quad (3.4)$$

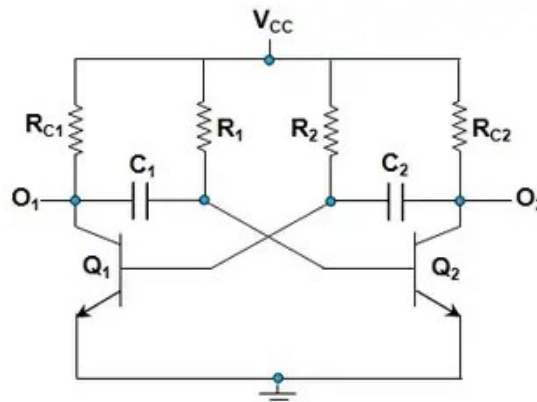
Προφανώς, ο χρόνος περιόδου μπορεί να ελεγχθεί με τον καθορισμό των στοιχείων R, C καθώς και την κατάλληλη επιλογή τεχνολογίας των πυλών τύπου NOT (η οποία επηρεάζει το κατώφλι ανίχνευσης των σημάτων εισόδου τους για ανίχνευση λογικού '0' και '1').

3.2.2 Κατασκευή με transistors

Για την κατασκευή ενός ασταθή πολυδονητή με κυκλώματα transistors μπορεί να χρησιμοποιηθεί το βασικό κύκλωμα συζευγμένων εκπομπών με BJT.

3.2.2.1 Κύκλωμα συζευγμένων εκπομπών

Στο σχήμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός ασταθή πολυδονητή με χρήση κυκλώματος transistors σε κύκλωμα συζευγμένων εκπομπών [4], [A], [B], [VIII]:



Σχήμα 40: Κύκλωμα ασταθή πολυδονητή συζευγμένων εκπομπών με χρήση BJT

Το κύκλωμα αποτελείται από δύο BJT transistors Q_1 και Q_2 , τα οποία είναι πανομοιότυπα μεταξύ τους, καθώς και τα παθητικά στοιχεία C_1 , C_2 , R_1 , R_2 , R_{C1} , και R_{C2} . Το κύκλωμα βασίζεται σε διασύνδεση κοινών εκπομπών και ανάδραση. Οι πυκνωτές παρέχουν τη ζεύξη (ac) ανάμεσα στο συλλέκτη του ενός transistor με τη βάση του άλλου. Οι αντιστάσεις καθορίζουν τις διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτισης των πυκνωτών και την πόλωση των transistors. Για την ανάλυση της λειτουργίας του κυκλώματος θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, ότι μόνο το ένα εκ των δύο ενεργών στοιχείων θα είναι σε κατάσταση κόρου (ON), ενώ το άλλο στοιχείο θα είναι σε κατάσταση αποκοπής (OFF). Αυτό θα συμβεί κατά την εφαρμογή τάσεων στο κύκλωμα (power-up) εξαιτίας των μικρών διαφορών κατά την φάση εκκίνησης των στοιχείων του κυκλώματος. Για τη συνέχεια της ανάλυσης υποθέτουμε ότι το Q_2 είναι ON και το Q_1 είναι OFF.

Όταν το Q_2 είναι ON, η τάση στον συλλέκτη του είναι σχετικά χαμηλή (κοντά στο μηδέν), και ρεύμα διαρρέει την R_{C2} . Αυτό προκαλεί στην δεξιά επαφή του πυκνωτή C_2 να είναι γειωμένη, όπως και το αριστερό του άκρο (υποθέτοντας ότι αρχικά ο πυκνωτής είναι αφόρτιστος). Αυτή η τάση επιδρά στην βάση του Q_1 διατηρώντας το σε κατάσταση αποκοπής (OFF).

Εφόσον το Q_1 είναι OFF, τότε η τάση στον συλλέκτη του είναι περίπου σε τιμή V_{CC} και το ρεύμα στον κλάδο του συλλέκτη είναι σχεδόν μηδενικό. Αυτό αναγκάζει τον αριστερό ακροδέκτη του πυκνωτή C_1 να βρίσκεται σε δυναμικό V_{CC} και το δεξιό του άκρο να είναι σε τιμή δυναμικού 0.7V περίπου (θεωρώντας και πάλι ότι ο πυκνωτής είναι αφόρτιστος). Αυτό το δυναμικό επιδρά στη βάση του Q_2 διατηρώντας το transistor σε κατάσταση ON.

Σε αυτό τη φάση η τάση στην έξοδο O_1 είναι σε λογικό '1' (V_{CC}), ενώ η τάση στην έξοδο O_2 είναι σε λογικό '0' (0V). Στη συνέχεια, οι πυκνωτές C_1 και C_2 αρχίζουν να φορτίζουν μέσω των αντιστάσεων R_1 και R_2 αντίστοιχα. Καθώς ο πυκνωτής C_1 φορτίζει, το δεξιό του άκρο αυξάνει την τάση του από 0.7V σε V_{CC} , ενώ, καθώς ο πυκνωτής C_2 φορτίζει, το αριστερό του άκρο αυξάνει την τάση του από 0V σε 0.7V. Όταν το δεξιό άκρο του πυκνωτή C_1 αποκτά δυναμικό V_{CC} αυτό δεν έχει καμμία επίδραση στο Q_2 δεδομένου ότι αυτό είναι σε κατάσταση ON. Όμως, όταν ο πυκνωτής C_2 αυξήσει την τάση του στο αριστερό του άκρο σε τιμή 0.7V πολώνει ορθά το Q_1 . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να φέρει το Q_1 σε κατάσταση ON. Με το Q_1 σε κατάσταση ON, ο συλλέκτης του μειώνεται σε τιμή δυναμικού σχεδόν ίση με το μηδέν, και ρεύμα αρχίζει να διαρρέει μέσω της R_{C1} . Αυτό αναγκάζει το αριστερό άκρο του C_1 να γειωθεί, ενώ το δεξιό του άκρο να τεθεί σε δυναμικό -

V_{CC} (η αρνητική τιμή οφείλεται στην αρχή διατήρησης του φορτίου). Το δυναμικό αυτό φέρνει το Q_2 σε κατάσταση αποκοπής (OFF). Όταν το Q_2 είναι OFF, αυτό φέρνει το δυναμικό στο συλλέκτη του σε τιμή σχεδόν V_{CC} , και το ρεύμα του συλλέκτη σε τιμή μηδέν. Αυτό αναγκάζει το δεξιό άκρο του πυκνωτή C_2 σε τιμή V_{CC} και το δεξιό του άκρο σε τιμή $0.7V$. Αυτό το δυναμικό διατηρεί το Q_1 σε κατάσταση ON. Σε αυτήν την φάση, η έξοδος O_1 είναι σε λογικό '0' και η έξοδος O_2 σε λογικό '1'. Η κατάσταση αυτή αποτελεί την άλλη ημι-ευσταθή κατάσταση λειτουργίας του κυκλώματος.

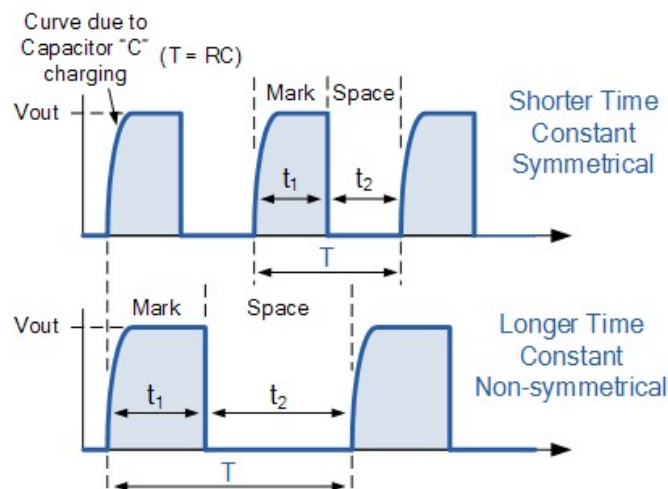
Οι πυκνωτές C_1 και C_2 ξεκινούν και πάλι να φορτίζονται μέσω των αντιστάσεων R_1 και R_2 αντίστοιχα. Καθώς ο C_2 φορτίζεται, το αριστερό άκρο του μειώνει το δυναμικό του σταδιακά από $0.7V$ σε $0V$. Καθώς ο C_1 φορτίζεται, το δεξιό άκρο του αυξάνει σταδιακά από $-V_{CC}$ σε $0.7V$. Όταν το αριστερό άκρο του C_2 φτάσει σε τιμή $0V$, αυτό δεν έχει καμία επίδραση στο Q_1 εφόσον αυτό είναι σε κατάσταση OFF. Όμως καθώς το δεξιό άκρο του πυκνωτή C_1 φτάνει σε τιμή $0.7V$, ενεργοποιεί το transistor Q_2 φέρνοντάς το σε κατάσταση ON.

Όταν το Q_2 είναι σε κατάσταση ON, ο συλλέκτης του έχει δυναμικό σχεδόν $0V$ και η ροή ρεύματος γίνεται μέσω της R_{C2} . Αυτό αναγκάζει το δεξιό άκρο του πυκνωτή C_2 να γειωθεί ενώ το αριστερό του άκρο είναι σε τιμή $-V_{CC}$. Αυτό το δυναμικό φέρνει το Q_1 σε κατάσταση OFF. Με το Q_1 σε κατάσταση OFF, το δυναμικό στο συλλέκτη του αυξάνει σε τιμή V_{CC} ενώ το ρεύμα του συλλέκτη είναι μηδέν. Αυτό αναγκάζει το αριστερό άκρο του πυκνωτή C_1 σε δυναμικό V_{CC} και το δεξιό του άκρο σε τιμή $0.7V$. Αυτό το δυναμικό διατηρεί το Q_2 σε κατάσταση ON. Σε αυτή τη φάση η έξοδος O_1 είναι σε λογικό '1' και η έξοδος O_2 σε λογικό '0'.

Η κατάσταση αυτή αποτελεί την αρχική κατάσταση από όπου ξεκίνησε η παρουσίαση της ανάλυσης του κυκλώματος, επαναφέροντας στην αρχή τον κύκλο μεταβάσεων για το κύκλωμα.

3.2.2.2 Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος με BJT

Οι κυματομορφές εξόδου του κυκλώματος του ασταθού πολυδονητή με χρήση BJT παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα [IX]:



Σχήμα 41: Κυματομορφές εξόδου του κυκλώματος ασταθούς πολυδονητή με BJT

Η επιλογή ίσων τιμών για τα στοιχεία των αντιστάσεων και των πυκνωτών (συμμετρικό κύκλωμα) μπορεί να παράγει συμμετρικές μεταβάσεις, ενώ διαφορετικές τιμές για τα ζεύγη R_1C_1 και R_2C_2 (μη συμμετρικό κύκλωμα) μπορεί να παράγει ασσύμετρες κυματομορφές εξόδου (δηλαδή

κυματομορφές με διαφορετικές χρονικές διάρκειες παραμονής στις δύο ημι-ευσταθείς καταστάσεις του πολυδονητή), επηρεάζοντας το duty cycle του παλμού.

3.2.2.3 Υπολογισμός Συχνότητας ταλάντωσης κυκλώματος με BJT

Η συχνότητα καθώς και το χρονικό μήκος ενεργού μετώπου του παραγόμενου παλμού (duty cycle) για το κύκλωμα του ασταθή πολυδονητή με χρήση BJT, εξαρτάται από τις τιμές των αντιστάσεων και των πυκνωτών του κυκλώματος [VIII]. Για τον προσδιορισμό της περιόδου λειτουργίας του κυκλώματος, θεωρούμε τους χρόνους T_1 και T_2 αντίστοιχα, που αφορούν στις χρονικές διάρκειες παραμονής στις δύο ημι-ευσταθείς καταστάσεις του κυκλώματος. οπότε:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_1 + t_2} = \frac{1}{0.693(R_1 + R_2)C_1 + 0.693R_2C_2} \quad (3.5)$$

και

$$D = \frac{t_1}{T} = \frac{t_1}{t_1 + t_2} = \frac{0.693(R_1 + R_2)C_1}{0.693(R_1 + R_2)C_1 + 0.693R_2C_2} \quad (3.6)$$

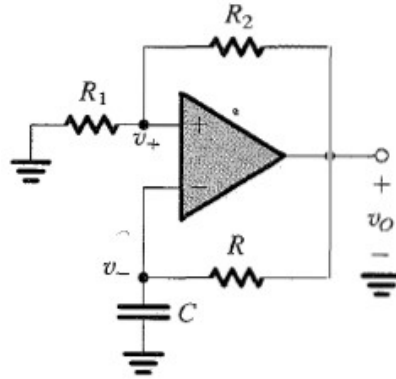
Προφανώς ο ακριβής καθορισμός της συχνότητας ταλάντωσης του κυκλώματος του ασταθή πολυδονητή μπορεί να καθορισθεί με κατάλληλες επιλογές των στοιχείων των αντιστάσεων και των πυκνωτών του κυκλώματος.

3.2.3 Κατασκευή με OP-AMPS

Η βάση ανάλυσης της λειτουργίας του κυκλώματος του ασταθή πολυδονητή με χρήση TE (op-amps), είναι ο βρόχος υστέρησης που δημιουργείται με χρήση θετικής ανάδρασης στον θετικό ακροδέκτη του TE. Η θετική ανάδραση επιτυγχάνεται με την απευθείας ζεύξη της εξόδου του TE μέσω αντιστάσεων, με τον θετικό του ακροδέκτη εισόδου.

3.2.3.1 Κόκλωμα με TE (op-amp)

Ένας ασταθής πολυδονητής με χρήση TE (op-amps) παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί [1]:

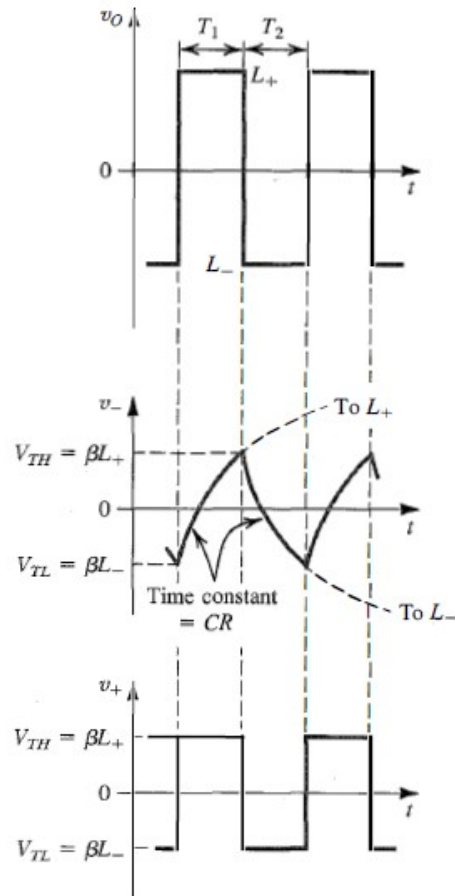


Σχήμα 42: Κύκλωμα ασταθή πολυδονητή με χρήση TE (op-amps)

Η βάση ανάλυσης της λειτουργίας του κυκλώματος είναι ο βρόχος υστέρησης που δημιουργείται με χρήση θετικής ανάδρασης στον TE μέσω των αντιστάσεων R_1 και R_2 . Από την ανάλυση της λειτουργίας του βρόχου υστέρησης (βλέπε ενότητα 2.2.3), το κύκλωμα ταλαντώνει (κάνοντας διαρκείς μεταβάσεις) μεταξύ των δύο κόρων τροφοδοσίας του TE (θετικός/αρνητικός κόρος) με βάση την τροφοδοσία του κυκλώματος. Το κύκλωμα παράγει με τον τρόπο αυτό μία τετραγωνική κυματομορφή στην έξοδο του TE.

3.2.3.2 Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος TE (op-amp)

Οι κυματομορφές εξόδου καθώς και οι κυματομορφές των ακροδεκτών εισόδου του TE παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα [1]



Σχήμα 43: Κυματομορφές εξόδου του κυκλώματος ασταθούς πολυδονητή με TE (op-amps)

3.2.3.3 Υπολογισμός Συχνότητας ταλάντωσης κυκλώματος με TE (op-amp)

Η περίοδος του τετραγωνικού παλμού που παράγεται στην έξοδο του κυκλώματος με TE (op-amps) [1], προσδιορίζεται με βάση την ακόλουθη ανάλυση. Κατά τη διαδικασία φόρτισης του πυκνωτή (χρονικό διάστημα T_1), η τάση στον αρνητικό ακροδέκτη του TE U_- στη χρονική στιγμή t (θεωρώντας ότι η διαδικασία φόρτισης ξεκινά τη χρονική στιγμή $t=0$), δίνεται από τη σχέση:

$$v_- = L_+ - (L_+ - \beta L_-)e^{-t/\tau} \quad (3.7)$$

όπου:

$\tau=RC$ η σταθερά χρόνου του κυκλώματος RC

L_{\pm} η τάση εξόδου θετικού και αρνητικού κόρου με βάση την τροφοδοσία του TE

Με αντικατάσταση στην παραπάνω σχέση του $U_-=\beta L_+$ για τη χρονική στιγμή $t=T_1$ προκύπτει:

$$T_1 = \tau \ln \frac{1 - \beta(L_-/L_+)}{1 - \beta} \quad (3.8)$$

Με ανάλογο τρόπο κατά την φάση εκφόρτισης του πυκνωτή, η οποία διαρκεί χρονικό διάστημα T_2 , η τάση στον αρνητικό ακροδέκτη του ΤΕ U_- για οποιαδήποτε χρονική στιγμή t , θεωρώντας ότι η διαδικασία εκφόρτισης εκκινεί την χρονική στιγμή $t=0$, δίνεται από τη σχέση:

$$v_- = L_- - (L_- - \beta L_+) e^{-t/\tau} \quad (3.9)$$

Με αντικατάσταση στην παραπάνω σχέση του $U_- = \beta L_-$ για τη χρονική στιγμή $t=T_2$ προκύπτει:

$$T_2 = \tau \ln \frac{1 - \beta(L_+/L_-)}{1 - \beta} \quad (3.10)$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο χρόνος περιόδου είναι $T=T_1+T_2$ καθώς και ότι $L_+ = -L_-$ από τις τροφοδοσίες λειτουργίας του κυκλώματος του ΤΕ, προκύπτει η συνολική περίοδος λειτουργίας για τον ασταθή πολυδονητή:

$$T = 2\tau \ln \frac{1 + \beta}{1 - \beta} \quad (3.11)$$

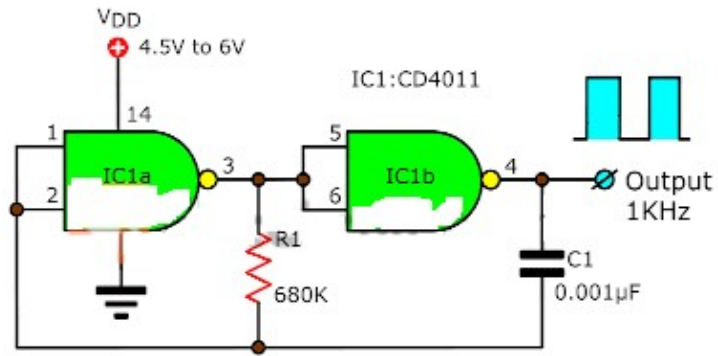
Παρατηρούμε ότι η συχνότητα παραγωγής της τετραγωνικής κυματομορφής εξόδου μπορεί να καθορισθεί με επιλογή των στοιχείων που εμπλέκονται στην εξίσωση της περιόδου. Ειδικότερα, η συχνότητα μπορεί να καθορισθεί με την κατάλληλη επιλογή των R και C που ρυθμίζουν την σταθερά χρόνου του κυκλώματος (τ).

Επίσης, η κυματομορφή τάσεως στον πυκνωτή μπορεί οριακά να γίνει μία σχεδόν τριγωνική κυματομορφή, χρησιμοποιώντας μία σχετικά μικρή τιμή για την παράμετρο β του κυκλώματος.

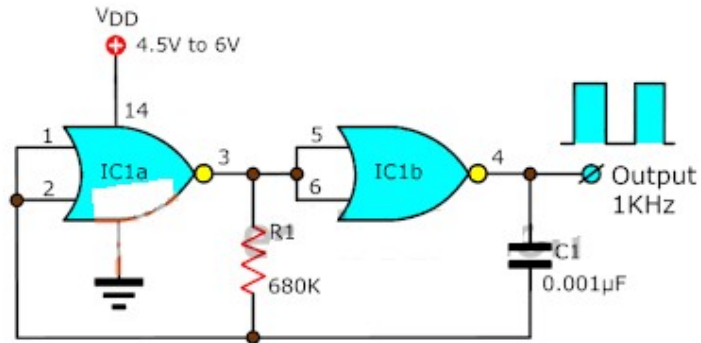
Ο ασταθής πολυδονητής, παρά το γεγονός ότι αποτελείται από δύο ημι-ευσταθείς καταστάσεις παρουσιάζει μία εξαιρετικά ακριβή λειτουργία που καθορίζεται από την επιλογή της σταθεράς χρόνου τ του κυκλώματος.

3.2.4 Άλλα κυκλώματα

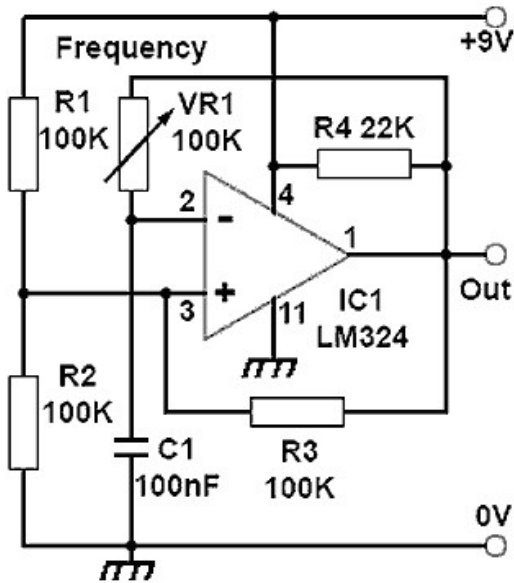
Στην ενότητα παρουσιάζονται εναλλακτικά κυκλώματα για την κατασκευή ασταθών πολυδονητών:



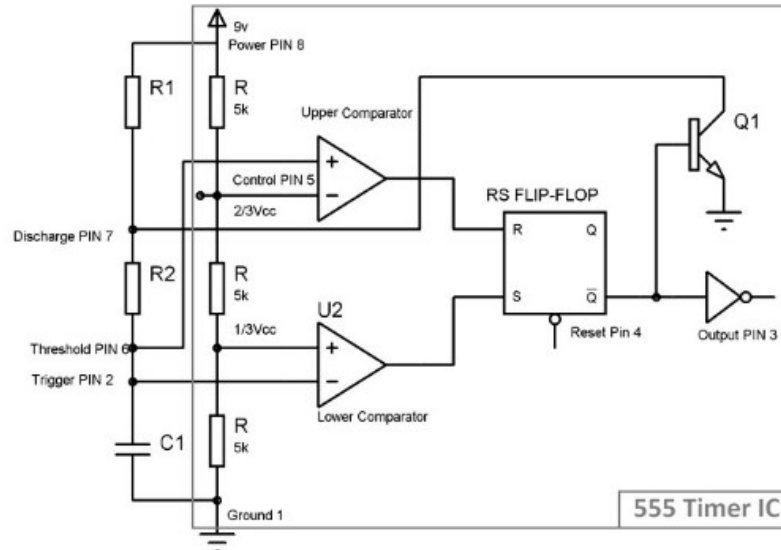
Σχήμα 44: Κύκλωμα ασταθούς πολυδονητή με πύλες τύπου NAND



Σχήμα 45: Κύκλωμα ασταθούς πολυδονητή με πύλες τύπου NOR



Σχήμα 46: Κύκλωμα ασταθούς πολυδονητή με ΤΕ (op-amps) για μεταβλητή συχνότητα ταλάντωσης [X]



Σχήμα 47: Κύκλωμα ασταθούς πολυδονητή με χρήση του χρονιστή 555 [XI]

3.3 Εφαρμογές χρήσης ασταθών πολυδονητών

Τα κυκλώματα των σταθών πολυδονητών μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τις παρακάτω εφαρμογές [XII]:

- Κατασκευή ταλαντωτών
- Εξοπλισμός για επικοινωνία ραδιοσυχνοτήτων
- Γεννήτριες για την παραγωγή κώδικα Morse
- Συστήματα αναλογικών κυκλωμάτων τηλεόρασης
- Χρονοκυκλώματα
- Εξοπλισμός ελέγχου λειτουργίας κυκλωμάτων
- Συστήματα ανίχνευσης για εφαρμογές συναγερμών
- Τροφοδοτικά ισχύος

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Σύγκριση Πολυδονητών - Συμπεράσματα

4.1 Σύγκριση των διαφορετικών κλάσεων πολυδονητών

Όπως παρουσιάστηκε και στις προηγούμενες ενότητες της εργασίας, οι πολυδονητές είναι κυκλώματα τα οποία μπορούν να υλοποιηθούν με χρήση ενεργών στοιχείων. Στα ενεργά στοιχεία συγκαταλέγονται τα transistors, οι TE, αλλά και οι πύλες, δεδομένου ότι οι υλοποιήσεις τους χρησιμοποιούν κυρίως FET (Field Effect Transistors). Η λειτουργία των πολυδονητών βασίζεται στον συνδυασμό δύο καταστάσεων που υλοποιούνται από τουλάχιστον συνδυασμό δύο ενεργών στοιχείων. Τα ενεργά αυτά στοιχεία βρίσκονται σε αμοιβαία αποκλειόμενες καταστάσεις, δηλαδή όταν το ένα στοιχείο είναι ενεργό (κατάσταση ON), τότε το άλλο στοιχείο εξυπακούεται ότι είναι ανενεργό (κατάσταση OFF). Επομένως, η λειτουργία των πολυδονητών βασίζεται στην εναλλαγή δύο καταστάσεων, οι οποίες για τα δύο ενεργά τους στοιχεία μεταφράζονται σε ON-OFF ή OFF-ON. Οι καταστάσεις αυτές μπορούν να χαρακτηρηθούν ως ευσταθείς ή ημι-ευσταθείς. Μία κατάσταση χαρακτηρίζεται για το κύκλωμα ως ευσταθής, εφόσον το κύκλωμα μπορεί να παραμείνει σε αυτήν για όσο χρόνο είναι επιθυμητός, απουσία εξωτερικού σήματος διεγέρσεως που θα πυροδοτήσει την διαδικασία μετάβασης (σήμα σκανδαλισμού - triggering). Από την άλλη πλευρά, ως μία ημι-ευσταθής κατάσταση χαρακτηρίζεται η κατάσταση του κυκλώματος, στην οποία εφόσον αυτό περιέλθει, δεν μπορεί να διατηρήσει την παραμονή του σε αυτήν περισσότερο από ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα (συνήθως ελεγχόμενο από ένα RC δικτύωμα), και μετά την πάροδο του οποίου, το κύκλωμα θα περιέλθει στην άλλη κατάσταση. Με την αναγνώριση των καταστάσεων λειτουργίας ενός πολυδονητή, κατατάσσεται είτε στους μονοσταθείς (μία κατάσταση ευσταθής με την άλλη ημι-ευσταθή), στους δισταθείς (και δύο καταστάσεις του είναι ευσταθείς), είτε στους ασταθείς (και οι δύο καταστάσεις είναι ημι-ευσταθείς).

Οι ασταθείς πολυδονητές για την λειτουργία τους δεν απαιτούν εξωτερικό σήμα διεγέρσεως (triggering) και ο καθορισμός των μεταβάσεων μεταξύ των ημι-ευσταθών τους καταστάσεων γίνεται με τον καθορισμό χρονικών σταθερών, οι οποίες εξαρτώνται από σταθερές χρόνου σε δικτύωμα RC, τους χρόνους διάδοσης και μεταλλαγής των ενεργών τους στοιχείων από κατάσταση σε κατάσταση καθώς και τα επίπεδα τροφοδοσίας και αναγνώρισης των λογικών επιπέδων λειτουργίας στις εισόδους τους (thresholds), όταν οι υλοποιήσεις τους γίνονται με στοιχεία λογικών πυλών.

Από την άλλη πλευρά, και οι μονοσταθείς αλλά και οι δισταθείς πολυδονητές απαιτούν για την λειτουργία τους εξωτερικά σήματα διεγέρσεως, έτσι ώστε να εκτελέσουν την απαιτούμενη μετάβαση από μία ευσταθή κατάσταση τους.

Εφόσον τα στοιχεία που υλοποιούν όλες τις κλάσεις των πολυδονητών είναι καθορισμένα με ακρίβεια, καθώς επίσης με ακρίβεια μπορούν να καθορισθούν και τα σήματα των εξωτερικών διεγέρσεως (όπου αυτά απαιτούνται), η γενικότερη λειτουργία όλων των κλάσεων των πολυδονητών είναι αξιόπιστη και εξαιρετικά ακριβής (ασχέτως κλάσεως υλοποίησης).

Μία ακόμη διαφοροποίηση των λειτουργιών των κλάσεων των πολυδονητών αφορά στον ελάχιστο χρόνο διεγέρσεως που απαιτούν για την ορθή λειτουργία τους.

Από τις ενότητες ανάλυσης της εργασίας και για τις 3 κλάσεις των πολυδονητών, παρουσιάζονται ακριβείς τύποι για τον καθορισμό αυτών των χρονικών διαστημάτων (συχνότητες διέγερσης), οι οποίοι συνήθως εξαρτώνται από τον ακριβή καθορισμό αντιστάσεων, πυκνωτών και κατωφλίων διεγέρσεως στη διάταξη του πολυδονητή (βλέπε 1.3, 2.3 και 3.2.1.3, 3.2.2.3, 3.2.3.3 από τις ενότητες της εργασίας).

Στην υλοποίηση όλων των κλάσεων των πολυδονητών, επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί το κλασικό ολοκληρωμένο (IC) του χρονιστή 555. Αυτό συμβάλλει στην ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια σχεδιασμού και ελέγχου του κυκλώματος του πολυδονητή, δεδομένου ότι ο χρονιστής 555 παρέχει τη δυνατότητα λειτουργίας με εξωτερικά στοιχεία αναφοράς (αντιστάσεις, πυκνωτές αναφοράς) με ακρίβεια τιμών της τάξης του 1% για τα στοιχεία αναφοράς, συμβάλλοντας στον σχεδιασμό οποιουδήποτε τύπου πολυδονητή με ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια λειτουργίας του κυκλώματος.

Ειδικότερα, στις κλάσεις των δισταθών αλλά και των ασταθών πολυδονητών με χρήση TE, σημαντική είναι η συνεισφορά του σχηματισμού βρόχου υστέρησης (hysteresis loop - βλέπε 2.2.3), ο οποίος υλοποιείται με τη χρήση θετικής ανάδρασης στη διασύνδεση του ενεργού στοιχείου του TE με την έξοδο του. Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι οι υλοποιήσεις πολυδονητών με χρήση TE είναι εξαιρετικά ακριβείς δεδομένης της ακρίβειας της λειτουργίας των κυκλωμάτων των TE, οι οποίοι παρέχουν σημαντικά κέρδη ανοικτού βρόχου, διαφορικά στάδια στην είσοδο τους για την απόρριψη κοινά επαγόμενου προσθετικού θόρυβου, χαμηλές αντιστάσεις εξόδου, εσωτερικές αντισταθμίσεις ευστάθειας - πυκνωτές Miller, και καθορισμένα επίπεδα τροφοδοσίας με βάση την τεχνολογία κατασκευής τους. Η χρήση των πυλών για τον σχεδιασμό των πολυδονητών σε πρακτικά κυκλώματα, δημιουργεί γενικότερα λιγότερο ακριβή κυκλώματα, δεδομένου ότι η λειτουργία τους εξαρτάται, όχι μόνο από τα δικτυώματα RC για τον καθορισμό των χρονικών σταθερών μετάβασης αλλά και από τις καθυστερήσεις παραγωγής των σημάτων εξόδου τους (με βάση την τεχνολογία και τον κατασκευαστή) αλλά και από τα κατώφλια (thresholds) για την ανίχνευση του λογικού επιπέδου των σημάτων διέγερσης τους (διαφορετικά κατώφλια ανίχνευσης λογικού '0' - '1' ανάλογα με την τεχνολογία π.χ. TTL, CMOS, LVTTTL, κ.λπ.).

Από πλευράς ανάλυσης της λειτουργίας, η λειτουργία όλων των κλάσεων των πολυδονητών είναι μη γραμμική, και η ακριβής ανάλυση της συμπεριφοράς τους προϋποθέτει τις βασικές γνώσεις από τη λειτουργία πόλωσης των περιοχών λειτουργίας ενός ενεργού στοιχείου (αποκοπή, κόρος, κ.λπ.). Οι εσωτερικές διεγέρσεις του κυκλώματος βασίζονται στις διαδικασίες φόρτισης - εκφόρτισης των στοιχείων πυκνωτών, οι οποίες και καθορίζουν τις μεταβάσεις από τις ημι-ευσταθείς καταστάσεις προς τις ευσταθείς και αντίστροφα.

Ο σχεδιασμός των πολυδονητών μπορεί να παράγει τόσο συμμετρικά όσο και ασύμμετρα κυκλώματα ως προς τη λειτουργία τους. Με τη σειρά του αυτό επιδρά στην παραγόμενη κυματομορφή εξόδου των κυκλωμάτων τους, επηρεάζοντας το μήκος ενεργού μετώπου (duty cycle) για τα θετικά ή αρνητικά επίπεδα των παραγόμενων παλμών εξόδου τους. Καθορίζοντας με τον τρόπο αυτό τα επίπεδα του duty cycle για τις παραγόμενες κυματομορφές εξόδου του πολυδονητή, αυτό επιδρά σημαντικά στην λειτουργία των διατάξεων που μπορούν να συνδεθούν με αυτούς, εφόσον υπάρχουν χρονικές προδιαγραφές για τη λειτουργία των επόμενων κυκλωμάτων που μετέχουν στο σχηματισμό του συνολικού συστήματος.

Θα πρέπει να τονισθεί ότι λόγω της διαρκώς μεταβαλλόμενης λειτουργίας και της εκτέλεσης μεταβάσεων (είτε με τη χρήση εξωτερικών σημάτων διέγερσης είτε όχι), οι πολυδονητές καταναλώνουν μεγάλα ποσά ισχύος (από την παρεχόμενη dc πόλωση τους). Η καταναλισκόμενη ισχύς που απαιτείται για τη λειτουργία εμπειρικά μπορεί να καθορισθεί από τη συχνότητα λειτουργίας τους επί το ποσό ισχύος για τη φόρτιση - εκφόρτιση των χωρητικών εσωτερικών/εξωτερικών φορτίων του κυκλώματος.

$$P_{\text{cons}} = f C_L V_{CC}^2 \quad (4.1)$$

όπου:

f είναι η συχνότητα λειτουργίας της εξόδου του πολυδονητή

C_L είναι το συνολικό χωρητικό φορτίο της εξόδου στην οποία συνδέεται η έξοδος του πολυδονητή

V_{CC} είναι η τάση τροφοδοσίας του κυκλώματος του πολυδονητή

Η καταναλισκόμενη ισχύς από τον πολυδονητή, καταλήγει κατά ένα σημαντικό μέρος της, σε αναπτυσσόμενα ποσά θερμότητας στο κέλυφος (packaging) της διάταξης του κυκλώματος του πολυδονητή. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το αναπτυσσόμενο ποσό θερμότητας που θα πρέπει να απαχθεί από αυτά τα κελύφη, για τη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας στα κυκλώματα - διατάξεις των πολυδονητών (είτε σε διακριτές είτε σε ολοκληρωμένες υλοποιήσεις των κυκλωμάτων τους), για την αποφυγή των φαινομένων "θερμικής φυγής", φαινόμενο που μεταβάλλει τα σημεία λειτουργίας των ενεργών στοιχείων ενός κυκλώματος.

Μείωση των επιπέδων κατανάλωσης ισχύος προφανώς μπορεί να επιτευχθεί, με μείωση των συχνοτήτων λειτουργίας τους (μείωση της συχνότητας f), μείωση των εξωτερικών χωρητικοτήτων που συνδέονται στους ακορδέκετες εξόδου τους (μείωση φορτίου C_L), ή μείωση της τάσεως τροφοδοσίας των κυκλωμάτων του πολυδονητή (μείωση τιμής του V_{CC}). Η μείωση, ειδικότερα της τάσεως τροφοδοσίας των κυκλωμάτων των πολυδονητών, είναι επιτεύξιμη αξιοποιώντας νεώτερες τεχνολογίες οι οποίες κάνουν χρήση ολοκλήρωσης χαμηλής κλίμακας (τάξης nm) και οι οποίες απαιτούν μικρότερες τιμές τάσεως για τη λειτουργία των κυκλωμάτων τους.

Από την εργασία παρουσιάστηκαν τόσο οι δομικές διαφορές όσο και οι ομοιότητες στη λειτουργία των κυκλωμάτων των πολυδονητών, ασχέτως των κλάσεων στην οποία ανήκουν. Επίσης από την εργασία γίνεται σαφές ότι οι πολυδονητές αποτελούν εγγενώς διαφορετικά κυκλώματα από τους ταλαντωτές.

4.2 Εφαρμογές

Οι εφαρμογές των πολυδονητών όλων των κλάσεων είναι σημαντικές και αφορούν στη δημιουργία και λειτουργία μίας πληθώρας κυκλωμάτων. Οι εφαρμογές αφορούν σε:

- Συστήματα χρονισμού (αναφοράς χρόνου)
- Κυκλώματα αποθήκευσης - μέτρησης
- Κυκλώματα διεγέρσεως σε κυκλώματα γεννητριών παλμών
- Ανακατασκευή παλμών με διαταραγμένη μορφή
- Διαιρέτες συχνότητας
- PWM Διαμόρφωση
- Ανίχνευση μη εμφάνισης παλμών
- Κατασκευή Μανδαλωτών (Ltaches)

- Κατασκευή Flip-Flops (FFs)
- Ψηφιακά/Ακολουθιακά Κυκλώματα
- Κατασκευή Δυαδικών Μετρητών (Binary Counters)
- Παραγωγή παλμών ρολογιού (clock signals)
- Κύκλωμα ελεγκτών για relays
- Κύκλωμα μετατροπής ημιτονικών κυματομορφών σε τετραγωνικούς παλμούς
- Κατασκευή ταλαντωτών
- Εξοπλισμός για επικοινωνία ραδιοσυχνοτήτων
- Γεννήτριες για την παραγωγή κώδικα Morse
- Συστήματα αναλογικών κυκλωμάτων τηλεόρασης
- Χρονοκυκλώματα
- Εξοπλισμός ελέγχου λειτουργίας κυκλωμάτων
- Συστήματα ανίχνευσης για εφαρμογές συναγερμών
- Τροφοδοτικά ισχύος

Από τις αναφερόμενες εφαρμογές παρατηρούμε ότι η χρήση των κυκλωμάτων όλων των κλάσεων των πολυδονητών (μονοσταθείς, δισταθείς, ασταθείς) είναι εξαιρετικά εκτενείς σε μία πληθώρα εφαρμογών.

4.3 Γενικά Συμπεράσματα

Οι πολυδονητές αποτελούν μη γραμμικά κυκλώματα με πάρα πολλές εφαρμογές. Η αρχή λειτουργίας τους είναι σχετικά απλή, εκμεταλλόμενη την εναλλαγή δύο καταστάσεων. Η κατασκευή και ο σχεδιασμός τους είναι εξαιρετικά ακριβής και χρονικά ελεγχόμενος, διασφαλίζοντας ακρίβεια και αξιοπιστία στην παραγωγή των κυματομορφών εξόδου τους. Η τεχνολογία κατασκευή τους μπορεί να είναι είτε αναλογική (transistors, TE) είτε ψηφιακή (με χρήση πυλών, latches, FFs, delay lines).

Η ευαισθησία στην ακρίβεια των παραγόμενων κυματομορφών και των χρονικών χαρακτηριστικών τους, εξαρτάται από την ακρίβεια της χρήσης των στοιχείων που μετέχουν στην κατασκευή των κυκλωμάτων τους. Η ολοκλήρωση τους σε IC κύκλωμα μπορεί να εκμεταλλευτεί τις υφιστάμενες τεχνολογίες ολοκλήρωσης, συμβάλλοντας ακόμη περισσότερο στην ακριβή χρονική λειτουργία τους. Η υλοποίηση πολυδονητών με χρήση διακριτών κυκλωμάτων προσφέρει σημαντικό έλεγχο και ευκρίνεια λειτουργίας (tuning) και μπορεί να βασιστεί κάνοντας χρήση κλασικών κυκλωμάτων χρονιστών (555). Το κόστος κατασκευής τους μπορεί να είναι σχετικά χαμηλό, δεδομένου του μικρού πλήθους διακριτών στοιχείων που συνθέτουν το κύκλωμα τους. Η κατανάλωση ισχύος αποτελεί ένα σημαντικό σχεδιαστικό θέμα για την απαγωγή της αναπτυσσόμενης θερμότητας που παράγουν από τη συνεχή λειτουργία τους, και μπορεί να αντιμετωπισθεί από τα packages είτε από τις κλίμακες και τις τεχνολογίες ολοκλήρωσης με χρήση χαμηλού επιπέδου τροφοδοσιών για τις διατάξεις τους.

Η εξέλιξη των ψηφιακών κυκλωμάτων με χρήση ολοκληρωμένων ή προγραμματιζόμενων ψηφιακών δομών (programmable gate arrays - PGAs), συνεισφέρει ακόμη περισσότερο στο σχεδιασμό των κυκλωμάτων τους, παρέχοντας ελεγχόμενους ψηφιακούς μανδαλωτές (latches) και

Μελέτη Λειτουργίας Πολυδομητών

γραμμές ελεγχόμενης καθυστέρησης (delay lines), προσδίδοντας μεγαλύτερη ακρίβεια στη λειτουργία τους για υλοποίηση μέσω ψηφιακών πυλών.

Επομένως, τα κυκλώματα των πολυδομητών αποτελούν βασικά δομικά στοιχεία, τα οποία συνεισφέρουν με σημαντικές λειτουργίες για την ανάπτυξη συνθετότερων κυκλωμάτων μεγαλύτερης κλίμακας. Η τάση γενικότερης χρήσης τους είναι να παραμείνουν ως δομικά στοιχεία και σε μελλοντικές τεχνολογικές επεκτάσεις για το σχεδιασμό κυκλωμάτων.

5 Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

Βιβλιογραφία

- [1] A.S. Sedra, K.C. Smith, Microelectronic Circuits, 5th edition, Oxford University Press 2004
- [2] D. Lakshmaiah, C.B. Ramarao, K.K. Rao, Analog and Pulse Circuits, Taylor & Francis Group , BS Publications, CRC Press 2022
- [3] G. Clayton, S. Winder, Operational Amplifiers, 5th edition, Newnes 2003
- [4] D.O. Pederson, K. Mayaram, Analog Integrated Circuits for Communication, 2nd Edition, Springer 2008
- [5] R.P. Jain, Modern Digital Electronics, 4th Edition, McGraw Hill 2010

Αναφορές

- [A] Dr. A.P. Vajpeyi, Analog and Digital Electronics Lec-18: Multivibrators, Dept. of Physics Indian Institute of Technology
- [B] Dr. M. Rana, Semiconductor Devices, Analog and Digital Electronics, Unit-7 : Multivibrators (using transistors), Dept. of Physics, Uttarakhand Open University
- [C] Astable and Monostable Oscillators, RCA COS/MOS Integrated Circuits Manual

Διαδικτυακές Πηγές

- [I] Electronics Tutorials - Multivibrators
https://www.electronics-tutorials.ws/sequential/seq_3.html
- [II] Electronics Tutorials - Monostable Multivibrators
<https://www.electronics-tutorials.ws/waveforms/monostable.html>
- [III] Application of Monostable Multivibrators
<https://www.studocu.com/in/document/mahatma-gandhi-university/digital-electronics-and-integrated-circuits/34-applications-of-monostable-multivibrator/27700686>
- [IV] Electronics Tutorials - Bistable Multivibrators
<https://www.electronics-tutorials.ws/waveforms/bistable.html>
- [V] Basic Electronics Tutorial
<https://www.electronics-tutorial.net/analog-integrated-circuits/multivibrators/bistable-multivibrators/>
- [VI] Electronics Hub

<https://www.electronicshub.org/bistable-multivibrator-using-555-timer/>

[VII] ElecCircuit.com

<https://www.eleccircuit.com/the-experiment-use-inverter-gate-as-oscillator-circuit/>

[VIII] Electrical4U

https://www.electrical4u.com/astable-multivibrator/?utm_content=cmp-true

[IX] Electronics Tutorials

<https://www.electronics-tutorials.ws/waveforms/astable.html>

[X] Learnabout Electronics - Oscillators

<https://learnabout-electronics.org/Oscillators/osc42.php>

[XI] Electronics and Communication Engineering

<https://ae-iitr.vlabs.ac.in/exp/astable-monostable-multivibrator/theory.html>

[XII] Astable MULTivibrators

<https://www.electricity-magnetism.org/astable-multivibrators/>

Παράρτημα Α - Καθορισμός συχνότητας ασταθούς πολυδονητή

Για το κύκλωμα του ασταθούς πολυδονητή της ενότητας 3.2.2.1 και με χρήση των υπολογισμών από την ενότητα 3.2.2.3 προκύπτει ο πίνακας επιλογών αντιστάσεων και πυκνωτών που συνοψίζεται στον πίνακα που ακολουθεί [IX]:

Πίνακας 1: Πίνακας καθορισμού των αντιστάσεων - χωρητικοτήτων του ασταθούς πολυδονητή για την παραγωγή καθορισμένης συχνότητας ταλάντωσης

Res.	1nF	2.2nF	4.7nF	10nF	22nF	47nF	100nF	220nF	470nF
	1.0kΩ	714.3kHz	324.6kHz	151.9kHz	71.4kHz	32.5kHz	15.2kHz	7.1kHz	3.2kHz
2.2kΩ	324.7kHz	147.6kHz	69.1kHz	32.5kHz	14.7kHz	6.9kHz	3.2kHz	1.5kHz	691Hz
4.7kΩ	151.9kHz	69.1kHz	32.3kHz	15.2kHz	6.9kHz	3.2kHz	1.5kHz	691Hz	323Hz
10kΩ	71.4kHz	32.5kHz	15.2kHz	7.1kHz	3.2kHz	1.5kHz	714Hz	325Hz	152Hz
22kΩ	32.5kHz	14.7kHz	6.9kHz	3.2kHz	1.5kHz	691Hz	325Hz	147Hz	69.1Hz
47kΩ	15.2kHz	6.9kHz	3.2kHz	1.5kHz	691Hz	323Hz	152Hz	69.1Hz	32.5Hz
100kΩ	7.1kHz	3.2kHz	1.5kHz	714Hz	325Hz	152Hz	71.4Hz	32.5Hz	15.2Hz
220kΩ	3.2kHz	1.5kHz	691Hz	325Hz	147Hz	69.1Hz	32.5Hz	15.2Hz	6.9Hz
470kΩ	1.5kHz	691Hz	323Hz	152Hz	69.1Hz	32.5Hz	15.2Hz	6.6Hz	3.2Hz
1MΩ	714Hz	325Hz	152Hz	71.4Hz	32.5Hz	15.2Hz	6.9Hz	3.2Hz	1.5Hz

Παράρτημα Β - Ολοκληρωμένα Κυκλώματα μονοσταθών πολυδονητών

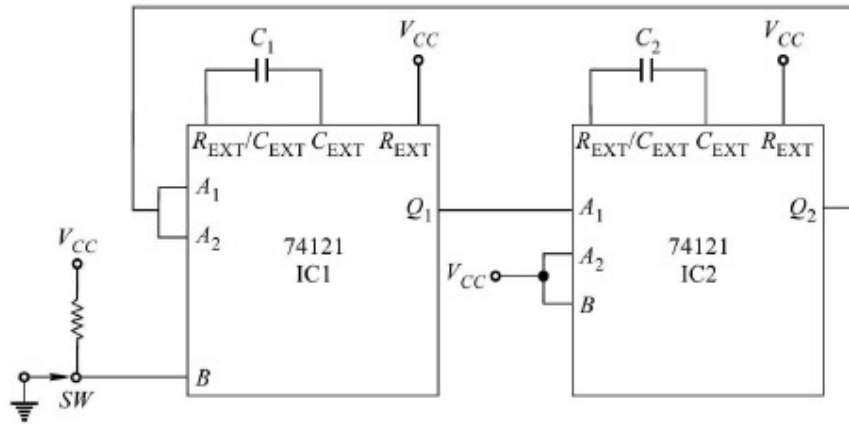
Μονοσταθείς πολυδονητές οι οποίοι είναι διαθέσιμοι σε μορφή ολοκληρωμένων (ICs) κυκλωμάτων παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί [5]:

Πίνακας 2: Μονοσταθείς πολυδονητές διαθέσιμοι σε ολοκληρωμένα κυκλώματα

IC No.	Description
74121	Monostable multivibrator (one-shot)
74122	Retriggerable monostable multivibrator with clear
74123	Dual retriggerable monostable multivibrator with clear
74221	Dual monostable multivibrator with clear

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα αφορούν σε τεχνολογίες TTL και CMOS.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η διασύνδεση δύο ολοκληρωμένων κυκλωμάτων IC 74121 για το σχεδιασμό ενός ασταθούς πολυδονητή.



Σχήμα 48: Κύκλωμα ασταθούς πολυδονητή με χρήση του ολοκληρωμένου IC 74121