

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΑΘΗΝΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Όνομα: Στάθης Κατσίρης
Α.Μ.: 06825
Μάθημα: Ηλεκτρονικά Ισχύος
Καθηγητής: Γ. Χλούπης
Ημερομηνία παράδοσης: 14/3/2018
Project: 2^ο

Τίτλος

Έλεγχος DC κινητήρα.

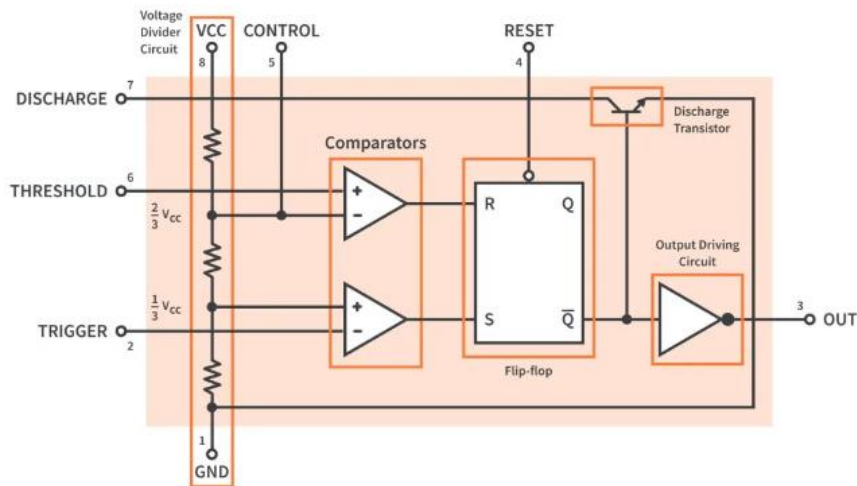
Εισαγωγή

Ολοκληρωμένο κύκλωμα 555

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα (Integrated Circuit – IC) 555 είναι ένας χρονιστής που κυκλοφόρησε για πρώτη φορά στην αγορά το 1971 από την εταιρεία Signetics. Εκτός από το IC555 υπάρχει επίσης το IC556 σε συσκευασία των 14 ακροδεκτών που περιέχει δυο κυκλώματα 555 και το IC558 σε συσκευασία επίσης των 14 ακροδεκτών που όμως περιέχει τέσσερα κυκλώματα 555. Ο χρονιστής 555 είναι ένα πολύ εύχρηστο και φθινό ολοκληρωμένο κύκλωμα και χρησιμοποιείται σε κυκλώματα χρονισμού δηλαδή σε κυκλώματα που εμπεριέχουν τον παράγοντα του χρόνου.

Το συγκεκριμένο ολοκληρωμένο κύκλωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μονοσταθής πολυδονητής (Monostable Multi-vibrator), ως δισταθής πολυδονητής (Bistable Multi-vibrator) και ως ασταθής πολυδονητής (Astable Multi-vibrator). Ο μονοσταθής πολυδονητής έχει μια ευσταθή κατάσταση στην οποία και παραμένει έως ότου δεχθεί ένα σήμα διέγερσης (trigger), οπότε και μεταβαίνει στην ημι-ευσταθή κατάστασή του για χρονικό διάστημα t_p . Μετά το πέρας του διαστήματος t_p , ο μονοσταθής πολυδονητής επανέρχεται αυτόματα στην ευσταθή κατάστασή του. Ο μονοσταθής πολυδονητής χρησιμοποιείται σε κυκλώματα μέτρησης χρόνου, σε κυκλώματα καθυστέρησης και σε κυκλώματα παραγωγής παλμών που απαιτούνται για την λειτουργία άλλων κυκλωμάτων. Ένας δισταθής πολυδονητής από την άλλη έχει δυο ευσταθείς καταστάσεις και η μετάβαση από την μια στην άλλη κατάσταση επιτυγχάνεται με το αντίστοιχο εξωτερικό κύκλωμα διέγερσης. Όταν ο δισταθής πολυδονητής βρίσκεται στην μια από αυτές τις καταστάσεις παραμένει σε αυτήν μέχρι να ενεργοποιηθεί εκείνο το εξωτερικό κύκλωμα διέγερσης που είναι ικανό να “οδηγήσει” τον δισταθή πολυδονητή στην άλλη ευσταθή κατάστασή του. Ο δισταθής πολυδονητής αποτελεί στοιχείο αποθήκευσης στα ψηφιακά κυκλώματα. Ο ασταθής πολυδονητής σε αντίθεση με τις δυο προηγούμενες κατηγορίες πολυδονητών έχει δυο ημι-ευσταθείς καταστάσεις και ο πολυδονητής εναλλάσσεται μεταξύ αυτών των καταστάσεων χωρίς την χρήση κάποιου εξωτερικού κυκλώματος διέγερσης. Ο ασταθής πολυδονητής χρησιμοποιείται σε κυκλώματα παραγωγής παλμών χρονισμού, σε κυκλώματα μέτρησης χρόνου, σε κυκλώματα παραγωγής ήχου και σε άλλα κυκλώματα.

Η λειτουργία του χρονιστή 555 ως πολυδονητή ανεξαρτήτως της κατηγορίας του πολυδονητή εξαρτάται τόσο από την εσωτερική δομή του ολοκληρωμένου κυκλώματος όσο και από τα εξωτερικά εξαρτήματα που συνδέονται στους ακροδέκτες του. Η εσωτερική δομή του χρονιστή 555 φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα ο χρονιστής 555 αποτελείται από έναν διαιρέτη τάσης με τρεις αντιστάσεις ίδιας τιμής ($5k\Omega$), από δυο συγκριτές, από ένα RS Flip-Flop, από ένα τρανζίστορ με ανοιχτό το συλλέκτη και από ένα κύκλωμα “οδήγησης” εξόδου ικανό να παρέχει ρεύμα ίσο με $200mA$. Λόγω του ότι και οι τρεις αντιστάσεις του διαιρέτη τάσης έχουν την ίδια τιμή η τάση μεταξύ του σημείου ένωσης των δυο άνω αντιστάσεων και της γείωσης είναι ίση με $\frac{2}{3}V_{CC}$ και η τάση μεταξύ του σημείου ένωσης των δυο κάτω αντιστάσεων και της γείωσης είναι ίση με $\frac{1}{3}V_{CC}$. Οι τάσεις αυτές που όπως είναι φανερό εξαρτώνται από την τάση V_{CC} δηλαδή από την τάση τροφοδοσίας του χρονιστή 555 χρησιμοποιούνται ως τάσεις αναφοράς για τους δυο συγκριτές. Συγκεκριμένα η τάση $\frac{2}{3}V_{CC}$ χρησιμοποιείται ως τάση αναφοράς για τον άνω συγκριτή και η τάση $\frac{1}{3}V_{CC}$ χρησιμοποιείται ως τάση αναφοράς για τον κάτω συγκριτή.

Ο κάθε συγκριτής όπως μαρτυρά και το όνομά του συγκρίνει την τάση που εφαρμόζεται στην μια από τις δυο του εισόδους με την τάση $\frac{2}{3}V_{CC}$ αν γίνεται λόγος για τον άνω συγκριτή ή με την τάση $\frac{1}{3}V_{CC}$ αν γίνεται λόγος για τον κάτω συγκριτή και ανάλογα με το ποια τάση είναι μεγαλύτερη, στην έξοδο του συγκριτή εμφανίζεται ένα σήμα HIGH ή ένα σήμα LOW. Πιο αναλυτικά ο άνω συγκριτής στην μη αναστρέφουσα είσοδό του δέχεται το σήμα που εφαρμόζεται στον ακροδέκτη THRESHOLD (ακροδέκτης 6) και στην αναστρέφουσα είσοδό του την τάση αναφοράς με τιμή $\frac{2}{3}V_{CC}$. Η τάση αυτή μπορεί να ρυθμιστεί μέσω του ακροδέκτη CONTROL (ακροδέκτης 5) έτσι ώστε ως τάση αναφοράς του άνω συγκριτή να χρησιμοποιηθεί μια τάση διαφορετική της τάσης $\frac{2}{3}V_{CC}$. Στην περίπτωση που η επιθυμητή τάση αναφοράς του άνω συγκριτή είναι η τάση $\frac{2}{3}V_{CC}$ ο ακροδέκτης CONTROL συνδέεται στην γείωση μέσω ενός πυκνωτή των $10nF$. Αν η τάση στον ακροδέκτη THRESHOLD γίνει μεγαλύτερη ή ίση από την τάση $\frac{2}{3}V_{CC}$ τότε η έξοδος του άνω συγκριτή γίνεται HIGH ενώ σε αντίθετη περίπτωση η έξοδος του άνω συγκριτή γίνεται LOW. Όσον αφορά τον κάτω συγκριτή η αναστρέφουσα είσοδος αυτού του συγκριτή συνδέεται στον ακροδέκτη TRIGGER (ακροδέκτης 2) και στην μη αναστρέφουσα είσοδο του συγκεκριμένου συγκριτή εφαρμόζεται η τάση αναφοράς με τιμή $\frac{1}{3}V_{CC}$. Έτσι αν η τάση στον ακροδέκτη TRIGGER γίνει μικρότερη ή ίση από την τάση $\frac{1}{3}V_{CC}$ τότε η έξοδος του κάτω συγκριτή γίνεται HIGH ενώ σε αντίθετη περίπτωση η έξοδος του κάτω συγκριτή γίνεται LOW.

Οι έξοδοι των δυο συγκριτών χρησιμοποιούνται όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα ως είσοδοι στο RS Flip-Flop και έτσι αν η έξοδος του άνω συγκριτή γίνει HIGH η κανονική έξοδος (έξοδος Q) του RS Flip-Flop θα γίνει LOW και συνεπώς

η συμπληρωματική του έξοδος (έξοδος \bar{Q}) θα γίνει HIGH. Αντίθετα αν η έξοδος του κάτω συγκριτή γίνει HIGH η κανονική έξοδος του RS Flip-Flop θα γίνει HIGH και συνεπώς η συμπληρωματική του έξοδος θα γίνει LOW. Η κατάσταση θέσης (set state) και η κατάσταση μηδένισης (clear state) του RS Flip-Flop που αναλύθηκαν παραπάνω ισχύουν στην περίπτωση που οι δυο είσοδοι του RS Flip-Flop είναι διαφορετικές μεταξύ τους δηλαδή στην περίπτωση που η έξοδος του άνω συγκριτή είναι HIGH και η έξοδος του κάτω συγκριτή LOW ή στην περίπτωση που η έξοδος του άνω συγκριτή είναι LOW και η έξοδος του κάτω συγκριτή HIGH. Όταν η έξοδος και των δυο συγκριτών είναι LOW τότε η κανονική έξοδος του RS Flip-Flop καθώς και η συμπληρωματική του έξοδος δεν αλλάζουν κατάσταση και το RS Flip-Flop λειτουργεί ως στοιχείο μνήμης καθώς “θυμάται” την προηγούμενη κατάσταση στην οποία βρισκόταν. Η λειτουργία του RS Flip-Flop σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις καθώς και στην περίπτωση που η έξοδος και των δυο συγκριτών είναι HIGH φαίνεται στον παρακάτω χαρακτηριστικό πίνακα του RS Flip-Flop.

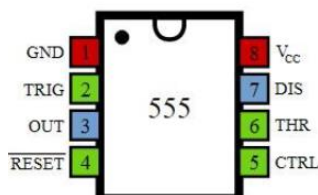
S	R	Q(t + 1)
0	0	Q(t)
0	1	0
1	0	1
1	1	?

Στον παραπάνω πίνακα το $Q(t)$ αναφέρεται στην παρούσα κατάσταση πριν την εφαρμογή του παλμού και το $Q(t + 1)$ στην επόμενη κατάσταση μετά από μια περίοδο ρολογιού. Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα όταν και οι δυο είσοδοι του RS Flip-Flop είναι HIGH τότε προκύπτει μια απροσδιόριστη κατάσταση.

Μια ιδιαιτερότητα της εσωτερικής δομής του χρονιστή 555 είναι πως αντί να αξιοποιείται η κανονική έξοδος του RS Flip-Flop αξιοποιείται η συμπληρωματική του έξοδος. Μάλιστα η συμπληρωματική έξοδος του RS Flip-Flop συνδέεται τόσο στην βάση του τρανζίστορ όσο και στην είσοδο του κυκλώματος “οδήγησης” εξόδου του χρονιστή 555. Λόγω του κυκλώματος αυτού όταν η συμπληρωματική έξοδος του RS Flip-Flop είναι HIGH η έξοδος του χρονιστή 555 (ακροδέκτης 3) είναι LOW ενώ όταν η συμπληρωματική έξοδος του RS Flip-Flop είναι LOW η έξοδος του χρονιστή 555 είναι HIGH.

Τέλος το τρανζίστορ χρησιμοποιείται για την εκφόρτιση του πυκνωτή που συμμετέχει στο δικτύωμα RC του μονοσταθιού και του ασταθιού πολυδονητή. Η εκφόρτιση του πυκνωτή πραγματοποιείται μόνο όταν η συμπληρωματική έξοδος του RS Flip-Flop είναι HIGH καθώς μόνο τότε άγει το τρανζίστορ και ο ακροδέκτης DISCHARGE (ακροδέκτης 7) συνδέεται στην γείωση.

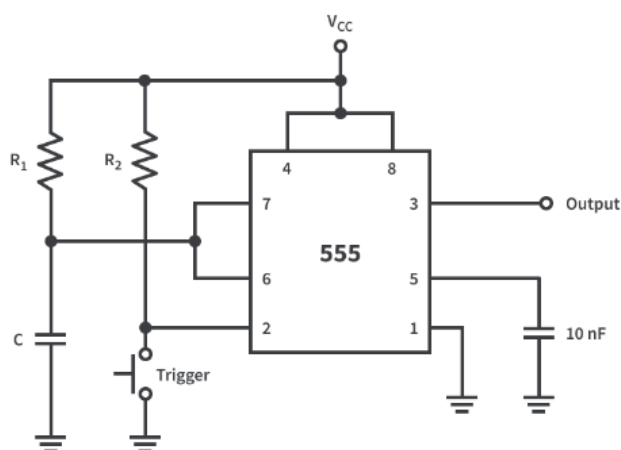
Ο χρονιστής 555 όπως φαίνεται και από την παρακάτω εικόνα έχει οκτώ ακροδέκτες και διατίθεται σε Dual In-Line Package (DIP ή DIL 8).



Ο ακροδέκτης GND (ακροδέκτης 1) είναι η γείωση και ο ακροδέκτης VCC (ακροδέκτης 8) είναι η τροφοδοσία του χρονιστή 555. Ο χρονιστής 555 τροφοδοτείται με μια συνεχή τάση μεταξύ των 5V και των 16V. Ο ακροδέκτης TRIGGER όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως αποτελεί είσοδο στον κάτω συγκριτή και όταν η τάση σε αυτόν τον

ακροδέκτη γίνει μικρότερη ή ίση από την τιμή $\frac{1}{3}V_{CC}$ η έξοδος του συγκριτή γίνεται HIGH. Ο ακροδέκτης OUT είναι η έξοδος του χρονιστή 555. Η έξοδος του χρονιστή 555 λαμβάνει τιμές από 0,1V που αντιστοιχεί στο LOW έως $V_{CC} - 1,5V$ που αντιστοιχεί στο HIGH. Ο ακροδέκτης RESET (ακροδέκτης 4) εξαναγκάζει την συμπληρωματική έξοδο του RS Flip-Flop σε HIGH και συνεπώς την έξοδο του χρονιστή 555 σε LOW. Ο ακροδέκτης CONTROL όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως χρησιμοποιείται στην περίπτωση που ο μηχανικός επιθυμεί να αλλάξει την τιμή της τάσης κατωφλιού του άνω συγκριτή ενώ στην περίπτωση που ο μηχανικός επιθυμεί η τιμή αυτή να παραμείνει στα $\frac{2}{3}V_{CC}$ ο ακροδέκτης CONTROL γειώνεται μέσω ενός πυκνωτή των 10nF. Ο ακροδέκτης THRESHOLD όπως επίσης αναφέρθηκε προηγουμένως αποτελεί είσοδο στον άνω συγκριτή και όταν η τάση σε αυτόν τον ακροδέκτη γίνει μεγαλύτερη ή ίση από την τάση $\frac{2}{3}V_{CC}$ η έξοδος του άνω συγκριτή γίνεται HIGH. Ο ακροδέκτης DISCHARGE παρέχει πρόσβαση στο συλλέκτη του τρανζίστορ και όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως όταν η συμπληρωματική έξοδος του RS Flip-Flop είναι HIGH αυτός ο ακροδέκτης συνδέεται στην γείωση με αποτέλεσμα ο πυκνωτής του δικτυώματος RC που συνδέεται στον ακροδέκτη DISCHARGE να αρχίσει να εκφορτίζεται.

Η ανάλυση της εσωτερικής δομής του χρονιστή 555 καθώς και των ακροδεκτών του καθιστά εύκολη την κατανόηση της λειτουργίας του χρονιστή 555 σε συνδεσμολογία ενός μονοσταθή πολυδονητή, σε συνδεσμολογία ενός δισταθή πολυδονητή και σε συνδεσμολογία ενός ασταθή πολυδονητή. Το κύκλωμα ενός μονοσταθή πολυδονητή με τον χρονιστή 555 φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

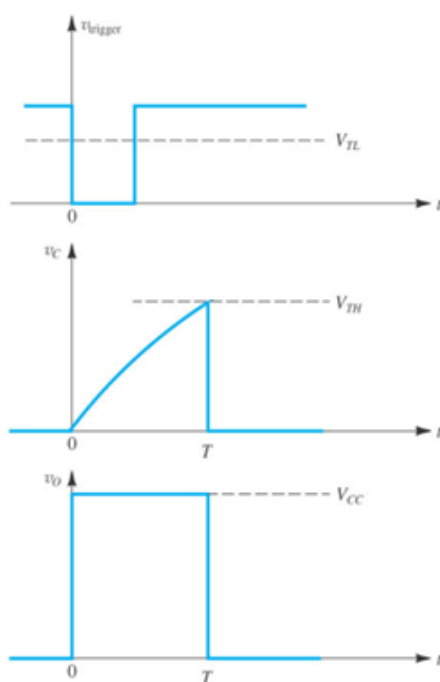


Όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα η μετάβαση του πολυδονητή από την ευσταθή κατάστασή του (κατάσταση LOW) στην ημι-ευσταθή κατάστασή του (κατάσταση HIGH) πραγματοποιείται με την βοήθεια του button. Αναλυτικά για όσο διάστημα ο ακροδέκτης 2 βρίσκεται σε κατάσταση HIGH δηλαδή για όσο διάστημα το button είναι απενεργοποιημένο η έξοδος του κάτω συγκριτή είναι LOW και η συμπληρωματική έξοδος του RS Flip-Flop είναι HIGH. Έτσι ο πυκνωτής C εκφορτίζεται μέσω του ακροδέκτη 7 και η έξοδος του χρονιστή 555 είναι LOW. Όταν η έξοδος του χρονιστή 555 είναι LOW ο μονοσταθής πολυδονητής βρίσκεται στην ευσταθή κατάστασή του. Με έναν αρνητικό παλμό σκανδαλισμού (σήμα διέγερσης) δηλαδή με το πάτημα του button η έξοδος του κάτω συγκριτή γίνεται HIGH και η συμπληρωματική έξοδος του RS Flip-Flop γίνεται LOW. Πλέον το τρανζίστορ δεν άγει και ο πυκνωτής C φορτίζεται μέσω της αντίστασης R_1 σε μια τελική τιμή τάσης ενώ η έξοδος του χρονιστή 555 γίνεται HIGH. Όταν η έξοδος του χρονιστή 555 είναι HIGH ο μονοσταθής πολυδονητής βρίσκεται στην ημι-ευσταθή κατάστασή του. Τη στιγμή όπου η τάση στα άκρα του πυκνωτή C γίνει ίση με $\frac{2}{3}V_{CC}$ η έξοδος του άνω συγκριτή γίνεται HIGH και η

συμπληρωματική έξοδος του RS Flip-Flop γίνεται HIGH. Κατά συνέπεια ο πυκνωτής C εκφορτίζεται μέσω του ακροδέκτη 7 και η έξοδος του χρονιστή 555 γίνεται και πάλι LOW. Το χρονικό διάστημα στο οποίο η έξοδος του χρονιστή 555 είναι HIGH προκύπτει από τον παρακάτω τύπο.

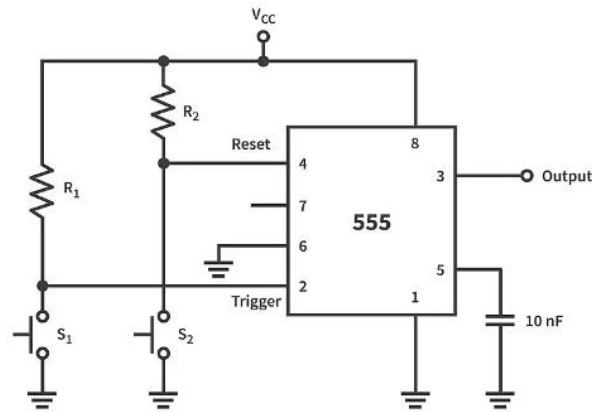
$$t_p = \ln 3 \cdot C \cdot R$$

Το βασικό μειονέκτημα του παραπάνω κυκλώματος είναι ότι το νέο σήμα σκανδαλισμού θα πρέπει να απέχει από το προηγούμενο χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από τη διάρκεια t_p του σήματος παλμού στην έξοδο του χρονιστή 555. Η λειτουργία του παραπάνω κυκλώματος περιγράφεται καλύτερα μέσω των κυματομορφών που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

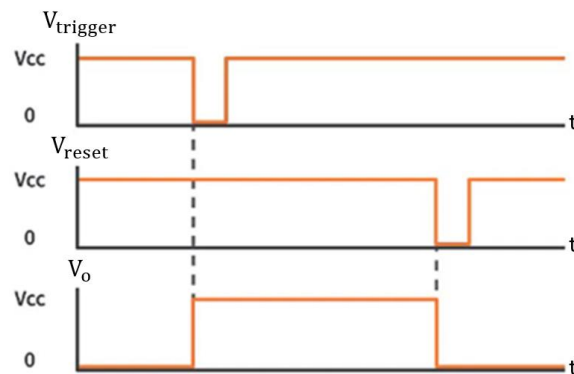


Στις κυματομορφές της παραπάνω εικόνας η στάθμη V_{TH} αντιστοιχεί στην τάση $\frac{2}{3}V_{CC}$ και η στάθμη V_{TL} στην τάση $\frac{1}{3}V_{CC}$. Ο χρόνος T που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα αντιστοιχεί στον χρόνο t_p που αναφέρθηκε προηγουμένως. Η πρώτη κυματομορφή της παραπάνω εικόνας αντιστοιχεί στο σήμα σκανδαλισμού δηλαδή στο σήμα που εφαρμόζεται στον ακροδέκτη 2 την στιγμή που ενεργοποιείται το button, η δεύτερη κυματομορφή αντιστοιχεί στην τάση του πυκνωτή C μετά από την ενεργοποίηση του button και η τρίτη κυματομορφή αντιστοιχεί στην τάση που εμφανίζεται στην έξοδο του χρονιστή 555 μετά από την ενεργοποίηση του button. Από την παραπάνω εικόνα γίνεται αντιληπτό πως η έξοδος του χρονιστή 555 γίνεται HIGH μόλις πατηθεί το button και αυτή παραμένει HIGH για χρόνο ίσο με t_p . Μετά από χρόνο t_p η έξοδος του χρονιστή 555 γίνεται LOW και έτσι η έξοδός του επανέρχεται αυτόματα στην αρχική της κατάσταση δηλαδή στην κατάσταση στην οποία βρισκόταν πριν την ενεργοποίηση του button.

Για την υλοποίηση ενός δισταθί πολυδονητή με τον χρονιστή 555 εκτός από τον ακροδέκτη 2 που χρησιμοποιείται και στο κύκλωμα του μονοσταθί πολυδονητή με τον χρονιστή 555 χρησιμοποιείται και ο ακροδέκτης 4 στον οποίο και συνδέεται ένα ακόμα button και μια επιπλέον αντίσταση. Έτσι για την υλοποίηση ενός δισταθί πολυδονητή με τον χρονιστή 555 κατασκευάζεται το κύκλωμα που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

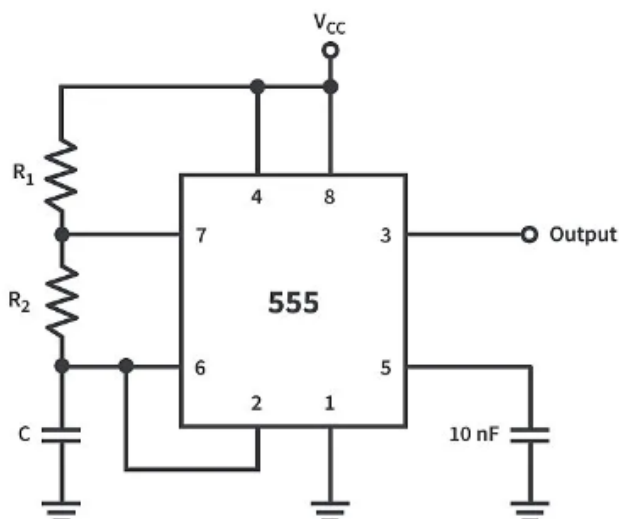


Αρχικά και τα δυο button είναι απενεργοποιημένα και έτσι ο ακροδέκτης 4 αλλά και ο ακροδέκτης 2 βρίσκονται σε κατάσταση HIGH. Έτσι αν και η έξοδος του χρονιστή 555 είναι LOW αυτό δεν οφείλεται στον ακροδέκτη 4 αλλά στις εισόδους του RS Flip-Flop. Επειδή λοιπόν ο ακροδέκτης 6 είναι πάντα συνδεδεμένος στην γείωση η έξοδος του άνω συγκριτή είναι πάντα LOW και το ίδιο συμβαίνει και με την είσοδο R του RS Flip-Flop. Επειδή όμως το button S_1 που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα είναι αρχικά απενεργοποιημένο η έξοδος του κάτω συγκριτή είναι και αυτή LOW και συνεπώς η είσοδος S του RS Flip-Flop είναι LOW. Επειδή και οι δυο εισόδους του RS Flip-Flop είναι LOW η συμπληρωματική έξοδος του RS Flip-Flop είναι HIGH και συνεπώς η έξοδος του χρονιστή 555 είναι LOW. Το συμπέρασμα αυτό δεν προκύπτει μόνο από τα παραπάνω αλλά και από το γεγονός πως η κανονική έξοδος του RS Flip-Flop είναι αρχικά LOW και επομένως η συμπληρωματική του έξοδος είναι αρχικά HIGH. Μόλις πατηθεί το button S_1 η έξοδος του κάτω συγκριτή γίνεται HIGH με αποτέλεσμα η κανονική έξοδος του RS Flip-Flop να γίνει HIGH ενώ η συμπληρωματική του έξοδος να γίνει LOW. Μόλις η συμπληρωματική έξοδος του RS Flip-Flop γίνει LOW λόγω του button S_1 η έξοδος του χρονιστή 555 γίνεται HIGH. Επειδή το button S_1 μετά από σύντομο χρονικό διάστημα επανέρχεται στην αρχική του θέση (απενεργοποιείται) η έξοδος του κάτω συγκριτή δεν παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα HIGH αλλά αμέσως μετά από την απενεργοποίηση του button S_1 η έξοδος του κάτω συγκριτή γίνεται LOW. Η αλλαγή αυτή παρόλ' αυτά δεν επηρεάζει την έξοδο του χρονιστή 555 καθώς όταν και οι δυο εισόδους του RS Flip-Flop είναι LOW το τελευταίο λειτουργεί ως στοιχείο μνήμης και έτσι οι έξοδοι του RS Flip-Flop παραμένουν στην τάση που βρισκόντουσαν και πριν από την απενεργοποίηση του button S_1 . Η έξοδος του χρονιστή 555 θα συνεχίσει να είναι HIGH μέχρι να πατηθεί το μπουτόν S_2 . Μόλις πατηθεί το μπουτόν S_2 η συμπληρωματική έξοδος του RS Flip-Flop γίνεται HIGH με αποτέλεσμα η έξοδος του χρονιστή 555 να γίνει LOW. Η λειτουργία του δισταθί πολυδονητή με τον χρονιστή 555 μπορεί να αναλυθεί και μέσω των τριών κυματομορφών που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Η πρώτη κυματομορφή της παραπάνω εικόνας αναφέρεται στην τάση που εφαρμόζεται στον ακροδέκτη 2 μόλις πατηθεί το μπουτόν S_1 ενώ η δεύτερη κυματομορφή της παραπάνω εικόνας αναφέρεται στην τάση που εφαρμόζεται στον ακροδέκτη 4 μόλις πατηθεί το μπουτόν S_2 . Η τρίτη κυματομορφή που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα αναφέρεται στην τάση που εμφανίζεται στην έξοδο του χρονιστή 555 μετά από το πάτημα πρώτα του button S_1 και μετά του button S_2 . Όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα η έξοδος του χρονιστή 555 είναι αρχικά LOW και παραμένει LOW μέχρι να πατηθεί το button S_1 . Όταν πατηθεί το button S_1 η έξοδος του χρονιστή 555 γίνεται HIGH και η έξοδος του χρονιστή 555 παραμένει HIGH μέχρι να πατηθεί το button S_2 . Μόλις πατηθεί το button S_2 η έξοδος του χρονιστή 555 γίνεται LOW και η έξοδος του χρονιστή 555 εναλλάσσεται από LOW σε HIGH και μετά πάλι σε LOW κάθε φορά η ενεργοποίηση των buttons πραγματοποιείται με τη σειρά που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Από την ανάλυση του μονοσταθί και του δισταθί πολυδονητή με τον χρονιστή 555 γίνεται αντιληπτό πως η λειτουργία των δυο αυτών πολυδονητών στηρίζεται σε ένα ή περισσότερα εξωτερικά σήματα σκανδαλισμού-διέγερσης τα οποία και μπορεί να παράγονται είτε με την βοήθεια κάποιου button και μιας αντίστασης pull-up είτε με την βοήθεια κάποιου άλλου κυκλώματος όπως για παράδειγμα ενός μικροελεγκτή. Στην περίπτωση παρόλ' αυτά του ασταθί πολυδονητή με τον χρονιστή 555 δεν απαιτείται κάποιο εξωτερικό σήμα διέγερσης με αποτέλεσμα ο ασταθής πολυδονητής να είναι πιο εύχρηστος σε σχέση με τον μονοσταθί και τον δισταθί πολυδονητή. Το κύκλωμα ενός ασταθί πολυδονητή με τον χρονιστή 555 φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Η ανάλυση του μονοσταθί και του δισταθί πολυδονητή με τον χρονιστή 555 που πραγματοποιήθηκε προηγουμένως καθώς και η ανάλυση του ίδιου του χρονιστή 555 που πραγματοποιήθηκε στην αρχή του εισαγωγικού μέρους της παρούσας εργασίας καθιστούν εύκολη την κατανόηση της λειτουργίας του κυκλώματος που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Σύμφωνα με αυτό ο πυκνωτής C θεωρείται αρχικά αφόρτιστος και έτσι ο ακροδέκτης 2 βρίσκεται αρχικά σε κατάσταση LOW. Έτσι η έξοδος του κάτω συγκριτή είναι HIGH και του άνω LOW και επομένως η συμπληρωματική έξοδος του RS Flip-Flop είναι LOW και άρα η έξοδος του χρονιστή 555 HIGH. Κατά την διάρκεια που η έξοδος του χρονιστή 555 είναι HIGH ο πυκνωτής C φορτίζεται μέσω των αντιστάσεων R_1 και R_2 . Όταν η τάση στα άκρα του πυκνωτή C ξεπεράσει την τάση με τιμή $\frac{1}{3}V_{CC}$ τότε η έξοδος του κάτω συγκριτή θα γίνει LOW ενώ η έξοδος του άνω συγκριτή θα παραμείνει LOW. Έτσι η συμπληρωματική έξοδος του RS Flip-Flop δεν θα αλλάξει κατάσταση και ο πυκνωτής C θα συνεχίσει να φορτίζεται ως την τιμή $\frac{2}{3}V_{CC}$.

Μόλις η τάση στα άκρα του πυκνωτή C γίνει ίση με $\frac{2}{3}V_{cc}$ η έξοδος του άνω συγκριτή θα γίνει HIGH ενώ η έξοδος του κάτω συγκριτή θα παραμείνει LOW. Αυτοί οι έξοδοι των δυο συγκριτών θα εξαναγκάσουν το RS Flip-Flop σε κατάσταση reset και έτσι η συμπληρωματική έξοδος του RS Flip-Flop θα γίνει HIGH και συνεπώς η έξοδος του χρονιστή 555 LOW. Επειδή η συμπληρωματική έξοδος του RS Flip-Flop θα γίνει HIGH ο ακροδέκτης 7 θα συνδεθεί στην γείωση. Έτσι ο πυκνωτής C θα αρχίσει να εκφορτίζεται μέσω της αντίστασης R_2 αλλά και μέσω του ακροδέκτη 7. Όταν η τάση στα άκρα του πυκνωτή C πέσει κάτω από την τάση με τιμή $\frac{1}{3}V_{cc}$ η έξοδος του κάτω συγκριτή θα γίνει HIGH και η ακολουθία των φαινομένων που αναλύθηκαν παραπάνω θα αρχίσει να επαναλαμβάνεται περιοδικά. Λόγω των διαφορετικών οδών φόρτισης και εκφόρτισης του πυκνωτή C το χρονικό διάστημα που η έξοδος του χρονιστή 555 παραμένει HIGH διαφέρει από το χρονικό διάστημα που η έξοδος του χρονιστή 555 παραμένει LOW. Σε έναν ασταθή πολυδονητή με τον χρονιστή 555 η έξοδος του χρονιστή 555 βρίσκεται σε κατάσταση HIGH για χρόνο ίσο με T_H και σε κατάσταση LOW για χρόνο ίσο με T_L . Ο χρόνος T_H και ο χρόνος T_L υπολογίζονται από τους παρακάτω τύπους.

$$T_H = \ln 2 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C$$

$$T_L = \ln 2 \cdot R_2 \cdot C$$

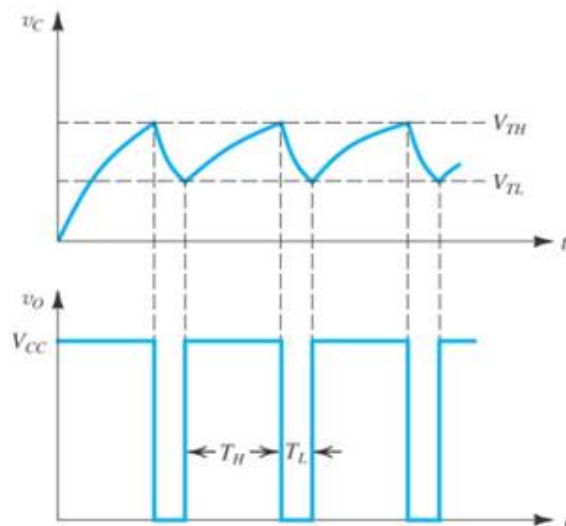
Στο κύκλωμα του ασταθή πολυδονητή με τον χρονιστή 555 που αναλύθηκε προηγουμένως ο χρόνος T_H είναι πάντα μεγαλύτερος από τον χρόνο T_L . Προκειμένου ο ασταθής πολυδονητής με τον χρονιστή 555 που αναλύθηκε προηγουμένως να μπορεί να παράγει ένα τετραγωνικό σήμα με $T_L > T_H$ θα πρέπει παράλληλα στην αντίσταση R_2 να συνδεθεί μια δίοδος και οι αντιστάσεις R_1 και R_2 να επιλεγθούν κατάλληλα έτσι ώστε να ισχύει $R_2 > R_1$. Αν ο μηχανικός επιθυμεί ο χρόνος T_H να είναι ίσος με τον χρόνο T_L τότε θα πρέπει οι αντιστάσεις R_1 και R_2 που θα επιλέξει να έχουν την ίδια τιμή χωρίς φυσικά να ξεχάσει να προσθέσει στο κύκλωμα την δίοδο που αναφέρθηκε προηγουμένως. Στην περίπτωση του κυκλώματος του ασταθή πολυδονητή με τον χρονιστή 555 που αναλύθηκε στην παρούσα εργασία ο συνολικός χρόνος ταλάντωσης T ισούται με το άθροισμα του χρόνου T_H και του χρόνου T_L δηλαδή ο χρόνος T προκύπτει από τον παρακάτω τύπο.

$$T = T_H + T_L = \ln 2 \cdot (R_1 + 2 \cdot R_2) \cdot C$$

Η συχνότητα από την άλλη του σήματος στην έξοδο του χρονιστή 555 προκύπτει σύμφωνα με την περίοδο αυτού του σήματος και δίνεται από τον παρακάτω τύπο.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\ln 2 \cdot (R_1 + 2 \cdot R_2) \cdot C}$$

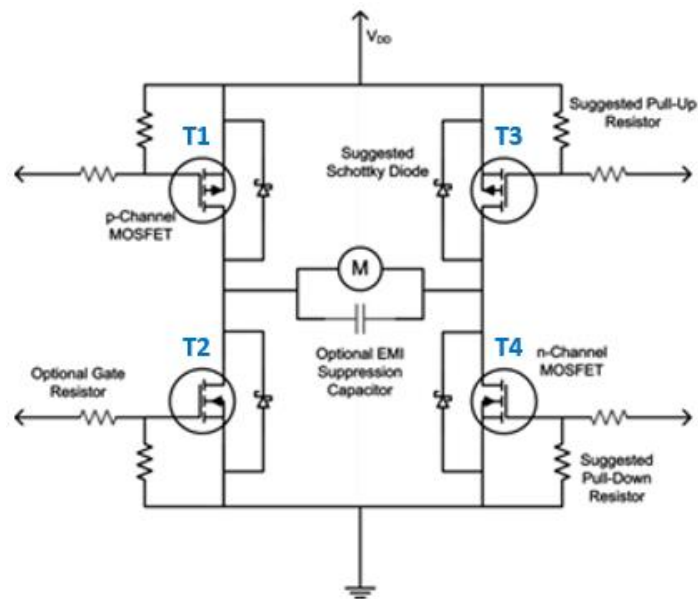
Η κυματομορφή της τάσης στην έξοδο του χρονιστή 555 συναρτήσει του χρόνου καθώς και η κυματομορφή της τάσης του πυκνωτή C συναρτήσει του χρόνου στην περίπτωση του ασταθή πολυδονητή με τον χρονιστή 555 φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Η πρώτη κυματομορφή της παραπάνω εικόνας αναφέρεται στην τάση του πυκνωτή C και η δεύτερη κυματομορφή της παραπάνω εικόνας στην τάση που εμφανίζεται στην έξοδο του χρονιστή 555. Όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα το σήμα στην έξοδο του χρονιστή 555 είναι ένα τετραγωνικό σήμα και το σήμα αυτό είναι HIGH για χρόνο T_H και LOW για χρόνο T_L . Όταν η έξοδος του χρονιστή 555 είναι HIGH ο πυκνωτής C φορτίζεται με την τάση στα άκρα του να ξεκινάει από την τιμή $\frac{1}{3}V_{CC}$ και να φτάνει μέχρι και την τιμή $\frac{2}{3}V_{CC}$ ενώ όταν η έξοδος του χρονιστή 555 είναι LOW ο πυκνωτής C εκφορτίζεται με την τάση στα άκρα του να ξεκινάει από την τιμή $\frac{2}{3}V_{CC}$ και να φτάνει μέχρι και την τιμή $\frac{1}{3}V_{CC}$.

Γέφυρα H

Μια γέφυρα H είναι μια διάταξη που αποτελείται από τέσσερα τρανζίστορς συνδεδεμένα μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο που σχηματίζεται το γράμμα H. Τα τρανζίστορς που χρησιμοποιούνται σε μια τέτοια διάταξη είναι είτε διπολικά τρανζίστορς επαφής (Bipolar Junction Transistors – BJTs) είτε τρανζίστορς επίδρασης πεδίου (Field Effect Transistors – FETs) ενώ σε κάποιες περιπτώσεις αντί για τα παραπάνω τρανζίστορς χρησιμοποιούνται διπολικά τρανζίστορς μονωμένης πύλης (Insulated-Gate Bipolar Transistors – IGBTs). Το κύκλωμα μιας γέφυρας H φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Η γέφυρα H που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα αποτελείται από τέσσερα FET Μετάλλου-Οξειδίου-Ημιαγωγού (Metal-Oxide-Semiconductor FETs – MOSFETs) καθώς και από άλλα εξαρτήματα. Τα συγκεκριμένα τρανζίστορ αποτελούν μια υποκατηγορία των τρανζίστορ επίδρασης πεδίου και χρησιμοποιούνται κατά κόρων σε διατάξεις σαν και αυτή της γέφυρας H. Μια τέτοια διάταξη χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της φοράς περιστροφής του DC κινητήρα που συνδέεται μεταξύ των τρανζίστορ μέσω της αλλαγής της πολικότητας της συνεχούς τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του. Εκτός από τα τρανζίστορ η γέφυρα H που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα αποτελείται και από τέσσερις διόδους, από τέσσερα ζευγάρια αντιστάσεων με το κάθε ένα να αποτελείται από δυο αντιστάσεις και από έναν πυκνωτή. Εκτός από τον πυκνωτή που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα σε μια γέφυρα H χρησιμοποιείται συνήθως και ένας δεύτερος πυκνωτής ο οποίος και συνδέεται παράλληλα με αυτήν. Με την ταυτόχρονη ενεργοποίηση του τρανζίστορ T1 και του τρανζίστορ T4 και με την ταυτόχρονη απενεργοποίηση του τρανζίστορ T2 και του τρανζίστορ T3 το αριστερό άκρο του DC κινητήρα συνδέεται στην τροφοδοσία (V_{DD}) και το δεξί άκρο στην γείωση με αποτέλεσμα ο κινητήρας να ακολουθεί μια συγκεκριμένη φορά περιστροφής. Αντίθετα με την ταυτόχρονη ενεργοποίηση του τρανζίστορ T2 και του τρανζίστορ T3 και με την ταυτόχρονη απενεργοποίηση του τρανζίστορ T1 και του τρανζίστορ T4 το αριστερό άκρο του DC κινητήρα συνδέεται στην γείωση και το δεξί άκρο στην τροφοδοσία με αποτέλεσμα ο DC κινητήρας να ακολουθεί την αντίθετη φορά περιστροφής από αυτήν που ακολουθεί στην προηγούμενη περίπτωση. Μάλιστα όταν από τα τρανζίστορ που ενεργοποιούνται σε κάθε περίπτωση το τρανζίστορ που συνδέεται στην τροφοδοσία δεν ενεργοποιείται πλήρως αλλά στον ακροδέκτη gate (πύλη) αυτού του τρανζίστορ εφαρμόζεται ένα σήμα διαμόρφωσης εύρους παλμού (Pulse Width Modulation – PWM) τότε εκτός από την φορά περιστροφής του DC κινητήρα ελέγχεται και η ταχύτητα περιστροφής του. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό πως για να λειτουργήσει σωστά η γέφυρα H θα πρέπει κάθε φορά να ενεργοποιείται ένα τρανζίστορ από κάθε την πλευρά της γέφυρας H καθώς αν το τρανζίστορ T1 και το τρανζίστορ T2 ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα τότε οι ακροδέκτες της τροφοδοσίας της γέφυρας H θα συνδεθούν μεταξύ τους βραχυκυκλώνοντας με αυτόν τον τρόπο τους ακροδέκτες της μπαταρίας και γενικότερα της πηγής που τροφοδοτεί το κύκλωμα της γέφυρας H. Το ίδιο θα συμβεί και στην περίπτωση που τα τρανζίστορ της απέναντι πλευράς της γέφυρας H ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα. Αυτές οι δυο περιπτώσεις στις οποίες η γέφυρα H βρίσκεται σε κατάσταση shoot-through πρέπει να αποφεύγονται καθώς μπορεί να προκαλέσουν την καταστροφή της πηγής αλλά και των στοιχείων της γέφυρας H. Μια γέφυρα H μπορεί να υλοποιηθεί τόσο με διακριτά στοιχεία (discrete

components) όπως άλλωστε φαίνεται στην παραπάνω εικόνα ενώ διατίθεται και σε μορφή ολοκληρωμένου κυκλώματος.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως με το κατάλληλο σήμα στον ακροδέκτη gate του κάθε τρανζίστορ η φορά του ρεύματος που διαρρέει τον DC κινητήρα μπορεί να είναι είτε από τα αριστερά προς τα δεξιά είτε από τα δεξιά προς τα αριστερά με αποτέλεσμα να μπορεί να εφαρμοστεί τόσο η δεξιόστροφη όσο και η αριστερόστροφη περιστροφή του DC κινητήρα. Παρόλ' αυτά όπως και αν περιστρέφεται ο DC κινητήρας τα τρανζίστορς δεν είναι από μόνα τους ικανά για την επίτευξη αυτής της περιστροφής αλλά απαιτούνται και τα υπόλοιπα εξαρτήματα που φαίνονται στην παραπάνω εικόνα. Αναλυτικά όταν επέλθει η διακοπή της λειτουργίας της γέφυρας H το ρεύμα λόγω του πηνίου από το οποίο αποτελείται ένας DC κινητήρας δεν θα μηδενιστεί ακαριαία αλλά θα συνεχίσει να διαρρέεται μέσω των διόδων που συνδέονται μεταξύ των ακροδεκτών drain (εκροή) και source (πηγή) των τρανζίστορς που κατά την διάρκεια λειτουργίας της γέφυρας H ήταν απενεργοποιημένα. Αν δεν υπήρχαν οι flyback δίοδοι όπως ονομάζονται οι δίοδοι που φαίνονται στην παραπάνω εικόνα τα τρανζίστορς θα κινδύνευαν να καταστραφούν. Στην περίπτωση που η γέφυρα H είναι υλοποιημένη με MOSFETs η δίοδος που βρίσκεται εσωτερικά του κάθε MOSFET μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως flyback δίοδος ενώ στην περίπτωση που η γέφυρα H είναι υλοποιημένη με BJTs θα πρέπει οι δίοδοι αυτοί να αγοραστούν ξεχωριστά και να ενσωματωθούν στην γέφυρα H. Κάθε φορά που το ρεύμα "οδηγείται" προς την πηγή τροφοδοσίας της γέφυρας H μέσω των flyback διόδων ο ηλεκτρολυτικός πυκνωτής που συνδέεται μεταξύ του θετικού και του αρνητικού ακροδέκτη της πηγής τροφοδοσίας φορτίζεται μέχρι η γέφυρα H να ξαναλειτουργήσει και ο πυκνωτής να αρχίσει να εκφορτίζεται. Αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς η πηγή τροφοδοσίας της γέφυρας H μπορεί να είναι κατασκευασμένη με τέτοιο τρόπο που η επιστροφή ρεύματος πίσω σε αυτήν να εγκυμονεί κινδύνους. Ο δεύτερος πυκνωτής από την άλλη δηλαδή ο πυκνωτής που συνδέεται παράλληλα με τον DC κινητήρα δεν τοποθετείται πάνω στην γέφυρα H αλλά πάνω στον DC κινητήρα και χρησιμοποιείται για την μείωση των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (Electromagnetic Interference – EMI) που δημιουργεί ο τελευταίος. Αυτός ο πυκνωτής είναι συνήθως ένας κεραμικός πυκνωτής χωρητικότητας μεταξύ των 100pF και των 100nF και τοποθετείται παράλληλα στον DC κινητήρα και όσο πιο κοντά γίνεται σε αυτόν. Οι αντιστάσεις pull up και pull down που φαίνονται στην παραπάνω εικόνα χρησιμοποιούνται προκειμένου κανένα από τα MOSFETs να μην ενεργοποιηθεί στην περίπτωση που οι ακροδέκτες gate των τρανζίστορς αποσυνδεθούν από το υπόλοιπο κύκλωμα.

Εργασία

Εξαρτήματα

Ολοκληρωμένο κύκλωμα: NE555P + βάση

Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής: 1000μF, 25V

Δίοδοι: 2 × 1N4004

Αντιστάσεις: 3 × 1kΩ
47Ω

Κλέμμες: 2 × κλέμμα πλακέτας δυο ακροδεκτών

Ποτενσιόμετρο: γραμμικό ποτενσιόμετρο 100kΩ

Τρανζίστορς: 2 × FQP27P06
2 × IRLZ44N

Διακόπτης: ON-OFF-ON τύπου toggle

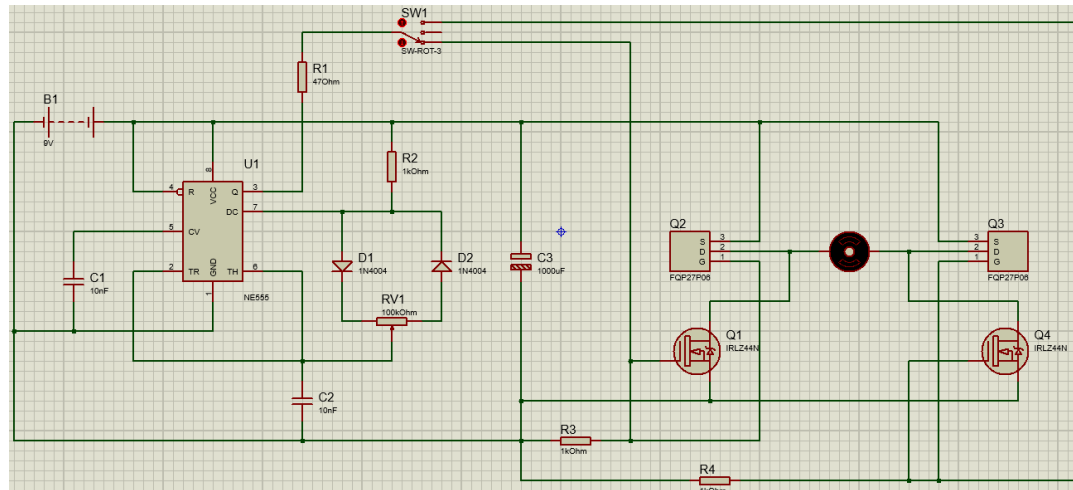
Κεραμικοί πυκνωτές: $2 \times 10\text{nF}$

Κινητήρας: DC κινητήρας 12V 1A

Μπαταρία: 9V μπαταρία

Πλακέτα: διάτρητη πλακέτα 71mm x 94mm

Κύκλωμα



Το κύκλωμα που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα Proteus.

Περιγραφή

Το παραπάνω κύκλωμα χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ενός DC κινητήρα. Με αυτό το κύκλωμα ρυθμίζεται η ταχύτητα και η φορά περιστροφής του DC κινητήρα. Στο παραπάνω κύκλωμα ο χρονιστής NE555P χρησιμοποιείται για την δημιουργία του σήματος PWM και το ποτενσιόμετρο RV1 για την ρύθμιση της τιμής Duty Cycle αυτού του σήματος. Έτσι ο χρονιστής NE555P μαζί με το ποτενσιόμετρο RV1 χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση της ταχύτητας του DC κινητήρα. Αντίθετα ο διακόπτης SW1 μαζί με την γέφυρα H του παραπάνω κυκλώματος χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση της φοράς περιστροφής του DC κινητήρα καθώς και για την απενεργοποίησή του.

Συγκεκριμένα όταν ο διακόπτης SW1 του παραπάνω κυκλώματος βρίσκεται στην κάτω θέση τότε το σήμα PWM συχνότητας περίπου 1,287kHz που προκύπτει από τον χρονιστή NE555P “οδηγείται” στην πύλη του τρανζίστορ Q1 και του τρανζίστορ Q2 ενώ όταν ο ίδιος διακόπτης βρίσκεται στην πάνω θέση τότε το σήμα PWM που προκύπτει από τον χρονιστή NE555P “οδηγείται” στην πύλη του τρανζίστορ Q4 και του τρανζίστορ Q3. Στην πρώτη περίπτωση δηλαδή στην περίπτωση που ο διακόπτης SW1 του παραπάνω κυκλώματος βρίσκεται στην κάτω θέση ενεργοποιείται το τρανζίστορ Q1 και το τρανζίστορ Q3 ενώ στην δεύτερη περίπτωση δηλαδή στην περίπτωση που ο διακόπτης SW1 του παραπάνω κυκλώματος βρίσκεται στην πάνω θέση ενεργοποιείται το τρανζίστορ Q4 και το τρανζίστορ Q2. Στην περίπτωση που ο διακόπτης SW1 του παραπάνω κυκλώματος βρίσκεται στην ενδιάμεση θέση ενεργοποιείται το τρανζίστορ Q2 και το τρανζίστορ Q3 με αποτέλεσμα η πτώση τάσης στον DC κινητήρα να γίνεται ίση με μηδέν και ο DC κινητήρας να σταματάει να

περιστρέφεται. Όταν ο διακόπτης SW1 του παραπάνω κυκλώματος βρίσκεται στην κάτω θέση η τιμή Duty Cycle του σήματος PWM που “οδηγείται” στην πύλη του τρανζίστορ Q1 καθορίζει την πώση τάσης στον DC κινητήρα και συνεπώς την ταχύτητα περιστροφής του. Το ίδιο συμβαίνει και όταν ο διακόπτης SW1 του παραπάνω κυκλώματος βρίσκεται στην πάνω θέση με την μόνη διαφορά πως σε αυτήν την περίπτωση η ταχύτητα περιστροφής του DC κινητήρα καθορίζεται από την τιμή Duty Cycle του σήματος PWM που “οδηγείται” στην πύλη του τρανζίστορ Q4 και όχι στην πύλη του τρανζίστορ Q1 ενώ η φορά περιστροφής του DC κινητήρα είναι αντίθετη από την φορά περιστροφής του στην περίπτωση που ο διακόπτης SW1 βρίσκεται στην κάτω θέση. Το παραπάνω κύκλωμα τροφοδοτείται με συνεχή τάση που κυμαίνεται μεταξύ των 6V και των 15V ενώ το μέγιστο ρεύμα φορτίου είναι τα 2A.

Κατασκευή

