

Schmitt - Trigger σε τεχνολογία CMOS και HCMOS

Πορφοποιητές παλμών γενικής χρήσης

Υπό Gunter Peltz

Οι Schmitt-Trigger σε ολοκληρωμένα CMOS και HCMOS είναι πολύ σημαντικά εξαρτήματα σε κυκλώματα παλμών. Μετά από μια σύντομη εισαγωγή στην αρχή λειτουργίας των Schmitt-Trigger θα περιγράψουμε τις σπουδαιότερες μορφές συνδεσμολογίας και τον τρόπο υπολογισμού τους. Τέλος θα συμπληρώσουμε τη θεωρία με ορισμένα πρακτικά παραδείγματα.

Θέλετε να καθυστερήσετε παλμούς, να βελτιώσετε ή να ανιχνεύσετε μέτωπα, να μετρήσετε συχνότητες ή χωρητικότητες, να κατασκευάσετε μια γεννήτρια παλμών. Όλα αυτά και πολλά άλλα μπορείτε να τα πετύχετε εύκολα συνδεσμολογώντας ανάλογα έναν Schmitt-Trigger της σειράς CMOS και HCMOS.

Καλύτερα ν' αρχίσουμε με την θεωρητική αρχή λειτουργίας και την παρουσία μερικών συνηθισμένων Schmitt-Trigger CMOS (40...) και HCMOS (74HC...).

Στη συνέχεια μπορούμε να δούμε μερικές βασικές συνδεσμολογίες, τον τρόπο υπολογισμού τους και τη χρήση τους. Τελειώνοντας πρέπει να δώσουμε και μερικές εφαρμογές, όπως αυτόματη επανατοποθέτηση, συχνόμετρο, παλμογεννήτρια κ.τ.λ.

Λειτουργία των Schmitt-Trigger

Ο Schmitt-Trigger (χάρη συντομίας θα τον αναφέρουμε με τα αρχικά ST) είναι στην ουσία ένας ενισχυτής συνεχούς τάσης με θετική ανάδραση (Σχ.1). Η τάση εξόδου U_a αναζευγνύεται με τον διαιρέτη τάσης R_1, R_2 στην μη αναστρέψουσα είσοδο του τελεστικού. Η αναζεύξη αυτή έχει ως αποτέλεσμα, η τάση εξόδου U_a να παίρνει τις ακραίες τιμές $+U_b$ ή $-U_b$. Στην μη αναστρέψουσα είσοδο του τελεστικού θα έχουμε τις από τον διαιρέτη οριζόμενες τάσεις $+U_t$ ή $-U_t$. Αν η τάση εισόδου U_e γίνει

μεγαλύτερη της θετικής τάσης σκανδαλισμού $+U_t$, ή μικρότερη της αρνητικής τάσης $-U_t$, τότε η τάση εξόδου μεταβάται στην τιμή $-U_b$ ή $+U_b$ αντίστοιχα (Σχ. 1b).

Η τάση υστέρησης U_h δίνεται από τη διαφορά μεταξύ $+U_t$ και $-U_t$. Τάσεις εισόδου εντός της περιοχής U_h δεν επηρεάζουν κατά κανένα τρόπο την τάση εξόδου U_a . Η τάση U_h εξαρτάται από τον λόγο R_1/R_2 και αν η αντίσταση R_2 είναι άπειρη ο τελεστικός λειτουργεί με την αποκαλούμενη ενίσχυση ανοιχτού βρόγχου. Αν οι τάσεις τροφοδοσίας $+U_b$ και $-U_b$ έχουν ίση απόλυτη τιμή τότε οι τάσεις κατωφλίου $+U_t$ και $-U_t$ θα είναι συμμετρικές έναντι της γείωσης. Για τις τάσεις κατωφλίου ισχύει:

$$+U_t = +U_b \cdot R_1 / (R_1 + R_2)$$

$$-U_t = -U_b \cdot R_1 / (R_1 + R_2)$$

Η συμμετρία των $+U_t$ και $-U_t$ καταργείται αν οι τάσεις τροφοδοσίας δεν είναι συμμετρικές ή αν προσθέσουμε μια αντίσταση μεταξύ U_t και $+U_b$ ή $-U_b$. Απ' το τελευταίο συμπεραίνουμε ότι με τρεις μόνο αντιστάσεις

μπορεί κανείς να ορίσει τις τάσεις κατωφλίου $+U_t$ και $-U_t$ σχεδόν οπουδήποτε μεταξύ $+U_b$ και $-U_b$.

Η τροφοδοσία δεν είναι απαραίτητο να γίνει με δύο τάσεις, μπορεί να γίνει και με μια.

Στην περίπτωση αυτή οι τάσεις $+U_t$ και $-U_t$ βρίσκονται στην περιοχή $+U_d \dots 0$ και ορίζονται συνηθώς συμμετρικά προς την $U_b/2$. Στο Σχ. 2a δείχνουμε μια τέτοια συνδεσμολογία και στο Σχ. 2b δείχνουμε τη συμπεριφορά του κυκλώματος με τάσεις κατωφλίου συμμετρικές ως προς το μισό της τάσης τροφοδοσίας. Για τις τάσεις κατωφλίου ισχύει τώρα:

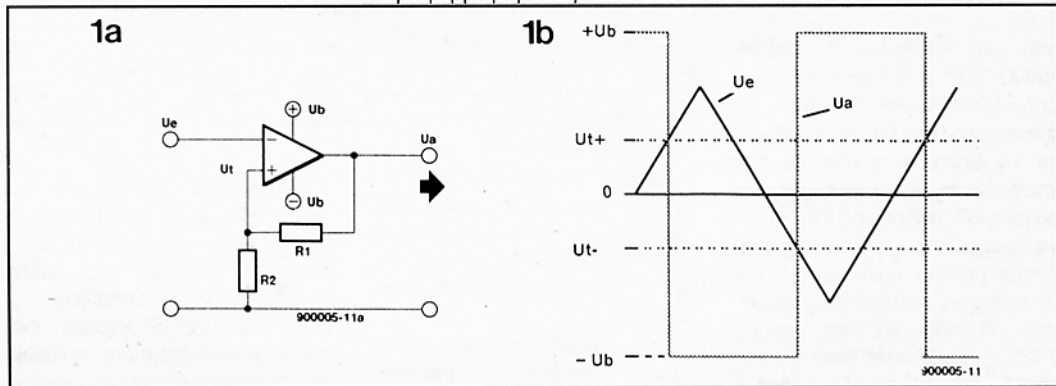
$$+U_t = U_b \cdot R_2 / [(R_1 // R_2) + R_1]$$

$$-U_t = U_b \cdot (R_1 // R_2) / [(R_1 // R_2) + R_3]$$

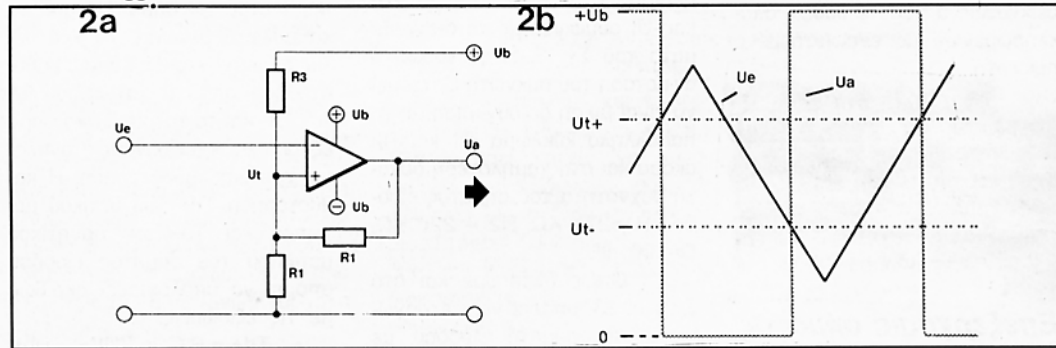
Ολοκληρωμένοι Schmitt-Trigger υπάρχουν στη σειρά TTL-Standard (74...) εδώ και δεκαετίες. Όμως η μικρή και ασύμμετρη αντίσταση εισόδου περιορίζει σε σημαντικό βαθμό τις εφαρμογές τους. Εδώ και

μερικά χρόνια υπάρχει η σειρά CMOS (40...) με περιοχή τροφοδοσίας $U_d = 3 \dots 15$ V και χρόνους καθυστέρησης μερικές εκατοντάδες ns. Επίσης υπάρχει και η σειρά HCMOS (74HC...) με $U_d = 2 \dots 6$ V και καθυστέρηση λιγότερο από 50 ns. Οι Schmitt-Trigger και των δύο αυτών σειρών έχουν υψηλές αντιστάσεις εισόδου (μερικές δεκάδες MΩ).

Το 4016 και το 74HC14 για παράδειγμα περιλαμβάνουν 6 ST το καθένα και λειτουργούν όπως το κύκλωμα στο Σχ. 2a. Τα ολοκληρωμένα 4093 και 74HC132 περιέχουν τέσσερις πύλες NAND με εισόδους ST. Στο Σχ. 3 βλέπουμε την διάταξη ακίδων των αναφερθέντων ολοκληρωμένων και την καμπύλη των τάσεων κατωφλίου και υστέρησης σε σχέση με την τάση τροφοδοσίας. Τα διαγράμματα αυτά αρκούν συνηθώς για να χρησιμοποιήσει κανείς σωστά τα ολοκληρωμένα. Για περισσότερα τεχνικά χαρακτηριστικά πρέπει να ανατρέξει κανείς στα αντίστοιχα φυλλάδια. Βέβαια υπάρχουν και άλλοι ST, αλλά αυτοί οι τέσσερις είναι οι

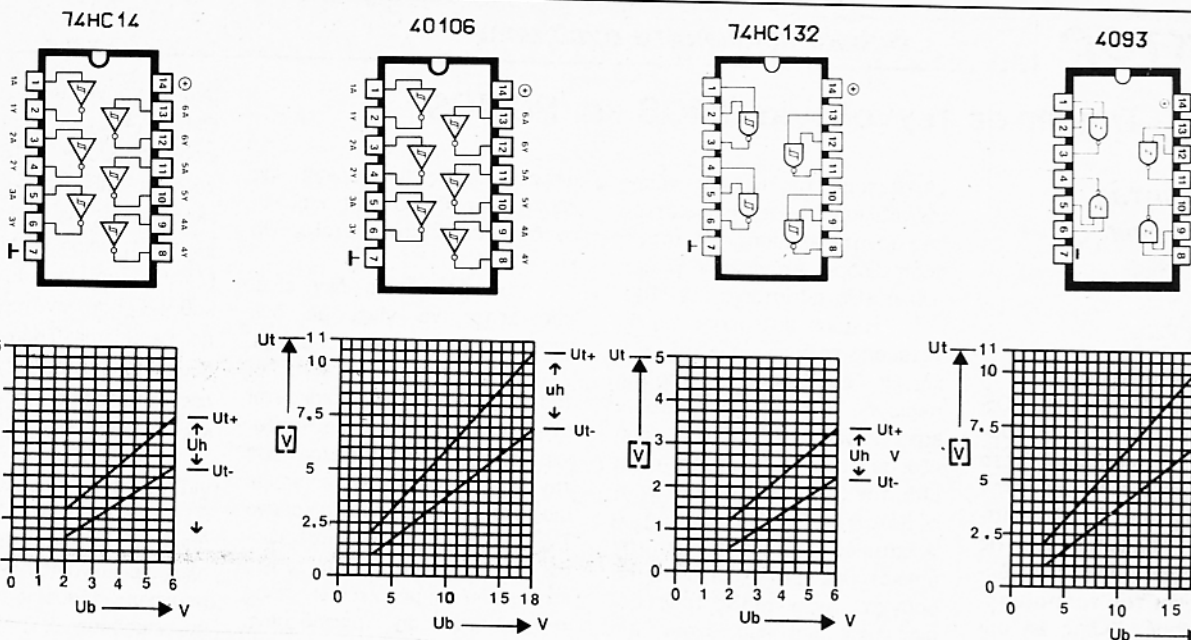


Σχ.1 Τελεστικός ενισχυτής με συμμετρική τροφοδοσία ($+U_d$ και U_b) και αναζεύξη συνεχούς τάσης ως Schmitt-Trigger.



Σχ. 2 Τελεστικός ενισχυτής με ασύμμετρη τροφοδοσία ($+U_b$ και D) και αναζεύξη συνεχούς τάσης ως Schmitt-Trigger.

3



900005-25

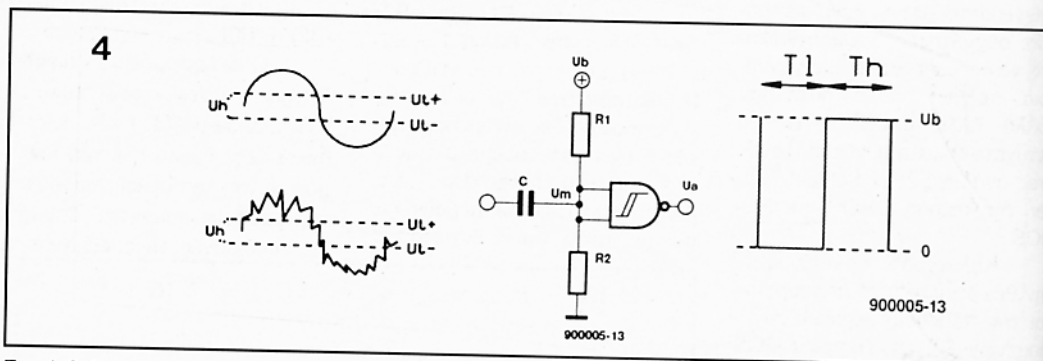
Σχ. 3 Διάταξη ακίδων και καμπύλες σκανδαλισμού μερικών ολοκληρωμένων Schmitt-Trigger της σειράς 74HC.. και 40...

πλέον γνωστοί και οι πλέον χρησιμοποιούμενοι. Όλα τα κυκλώματα που θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια βασίζονται σ' αυτά τα τέσσερα ολοκληρωμένα. Η σειρά 74HC... έχει εισόδους συμβατές με στάθμη TTL. Όπου δεν αναφέρεται ρητά κάτι άλλο, εννοείται ότι στα κυκλώματα που θ' ακολουθήσουν μπορείτε να χρησιμοποιήσετε οποιονδήποτε από τους παραπάνω ST. Πύλες NAND με δύο εισόδους ST μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αναστρέφοντες ST, αν συνδέσετε τη δεύτερη είσοδο με την τροφοδοσία U_d . Στους σχετικά αργούς ST της σειράς 40... αρκεί να αποξεύξετε την τάση τροφοδοσίας με έναν πυκνωτή 0,1...0,5 μF ανά 3 ως 5 ολοκληρωμένα. Οι πιο γρήγοροι ST της σειράς 74HC... χρειάζονται έναν πυκνωτή 47... 220 nF μεταξύ ακίδας 7 (γείωση) και 14 (U_d) ανά ολοκληρωμένο. Για πειραματισμούς ενδεικνύεται να πάρετε βάσεις ολοκληρωμένων με ενσωματωμένο πυκνωτή.

Τη σειρά 40... δεν θα πρέπει να την οδηγήσετε με συχνότητα μεγαλύτερη από 1 MHz και τη σειρά 74HC... όχι πάνω από 20 MHz. Συνήθως τροφοδοτούμε τη σειρά 40... με 9... 12V και τη σειρά 74HC... με 5V.

Επεξεργασία σήματος με Schmitt-Trigger

Ο μορφοποιητής τετρα-



900005-13

Σχ. 4 Schmitt-Trigger ως μορφοποιητής τετραγώνου με πυκνωτή σύζευξης εισόδου για σήματα τυχαίας καμπύλης.

γώνου του Σχ. 4 είναι μια κλασική εφαρμογή του ST και μετατρέπει ένα ημιτονικό ή οποιοδήποτε άλλο εναλλασσόμενο σήμα σε τετραγωνικό σήμα ίδιας συχνότητας.

Ο διαρέτης τάσης $R1/R2$ υπολογίζεται έτσι ώστε η στάθμη συνεχούς τάσης στην είσοδο του ολοκληρωμένου να βρίσκεται περίπου στο μέσον μεταξύ $+U_t$ και $-U_t$ σύμφωνα με τα διαγράμματα του Σχ. 3. Η φαινομενική αντίσταση του πυκνωτή C πρέπει να είναι μικρή σε σύγκριση με το παράλληλο κύκλωμα $R1$ και $R2$ ακόμα και στη χαμηλότερη δυνατή συχνότητα του σήματος εισόδου $R1=270 \text{ K}\Omega$, $R2 = 220 \text{ K}\Omega$, $C=100 \text{ nF}$.

Όπως βλέπουμε και στο Σχ.4 οι ST μπορεί να "τετραγωνίσουν" και σήματα εισόδου με πολύ θόρυβο! Στη περίπτωση αυτή όμως πρέπει να έχουμε

υπόψη μας ότι τα μέτωπα του τετραγωνικού σήματος μπορεί να παρουσιάζουν χρονικές μετατοπίσεις προς τη μια ή την άλλη πλευρά (Jitter)(τρεμοπαίζει).

Στο Σχ. 5 έχουμε ένα κύκλωμα καθυστέρησης παλμών. Το τετραγωνικό σήμα εισόδου U_e ολοκληρώνεται με τον πυκνωτή και κατ' αυτόν τον τρόπο παράγεται το σήμα U_1 με τα καμπυλωτά μέτωπα. Τα νέα μέτωπα διέρχονται με κάποια καθυστέρηση από τα κατώφλια $+U_t$ και $-U_t$ και το τετραγωνικό σήμα εξόδου θα έχει συνεπώς ανάλογη χρονική καθυστέρηση. Η καθυστέρηση T_d+ του θετικού μετώπου και T_d- του αρνητικού μετώπου του σήματος εισόδου μπορεί να υπολογισθεί ακριβώς με τις εξισώσεις:

$$T_d+ = R \cdot C \cdot \ln \left[\frac{U_t(+)}{U_b - U_t(-)} \right]$$

$$T_d- = R \cdot C \cdot \ln \left[\frac{U_b}{U_t(-)} \right]$$

Ωστόσο πρέπει να πούμε ότι τέτοιου είδους υπολογισμοί δεν έχουν και πολύ μεγάλη σημασία στην πράξη, γιατί οι τάσεις σκανδαλισμού είναι μερικές αντισταθμισμένες ως προς τη θερμοκρασία αλλά πέραν αυτού εξαρτώνται και από άλλους, μη υπολογίσιμους παράγοντες και μπορεί να διαφέρουν από ολοκληρωμένο σε ολοκληρωμένο. Πιο πρακτικό είναι να υπολογίσει κανείς την καθυστέρηση με τον εμπειρικό τύπο:

$$T_d [\mu\text{s}] = R [\text{K}\Omega] \cdot C [\text{nF}] \cdot 0,9$$

και να δοκιμάσει πρόχειρα το ολοκληρωμένο του συγκεκριμένου κατασκευαστή και αν χρειαστεί να κάνει κάποια διόρθωση επί τόπου.

Για ξεχωριστή καθυστέρηση των θετικών και αρνητικών μετώπων ενός σήματος εισόδου χρησιμοποιείται μια πύλη NAND

με εισόδους Schmitt-Trigger (Σχ.6). Και στις δύο εισόδους της πύλης υπάρχει ένα δικτύωμα RC. Για την μετατόπιση του αρνητικού μετώπου εισόδου είναι υπεύθυνη η μικρή σταθερά χρόνου (R1, R2) και την μετατόπιση του θετικού μετώπου η μεγάλη σταθερά χρόνου (R2, R3).

Ο υπολογισμός της καθυστέρησης κάθε μετώπου μπορεί να γίνει με τον τρόπο που περιγράψαμε λίγο πιο πάνω.

Αν θέλουμε να καθυστερήσουμε μόνο το ένα μέτωπο τότε οδηγούμε την μια είσοδο της πύλης NAND με εισόδους ST κατευθείαν με το σήμα εισόδου, ενώ την άλλη την οδηγούμε επίσης με το ίδιο σήμα αλλά μέσω ενός δικτύωματος RC. Με τη συνδεσμολογία του Σχ. 7 επιφέρουμε καθυστέρηση μόνο στο θετικό μέτωπο. Το αρνητικό μέτωπο μπορεί να το καθυστερήσει κανείς προσθέτοντας έναν ή δύο αντιστροφέες, ανάλογα με την επιθυμητή πολικότητα του σήματος εξόδου.

Σκοπός του ανιχνευτή μετώπων ή μονοσταθούς πολυδονητή (Σχ. 8) είναι να παράγει από κάθε θετικό μέτωπο ενός σήματος εισόδου έναν τετραγωνικό παλμό εξόδου μικρής διάρκειας. Για να ανιχνεύουμε τα αρνητικά μέτωπα πρέπει να συνδέσουμε την αντίσταση R όχι με τη γείωση αλλά με την γραμμή τροφοδοσίας U_d. Η χρονική σταθερά του δικτύωματος διαφορισμού RC πρέπει να είναι μικρή σε σχέση με την περίοδο του σήματος εισόδου. Το εύρος του παλμού εξόδου υπολογίζεται από τον τύπο:

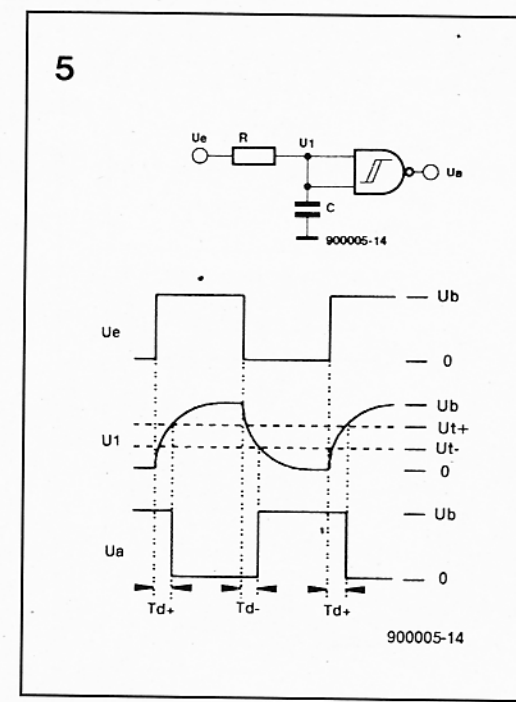
$$T_p[\mu s] = R [K\Omega] \cdot C [nF] \cdot 0.8$$

Ο ανιχνευτής μετώπων με είσοδο ελέγχου (Σχ.9) ανιχνεύει τα θετικά μέτωπα του σήματος εισόδου U_e, αλλά μόνο φ' όσον η είσοδος ελέγχου (control) έχει υψηλή στάθμη.

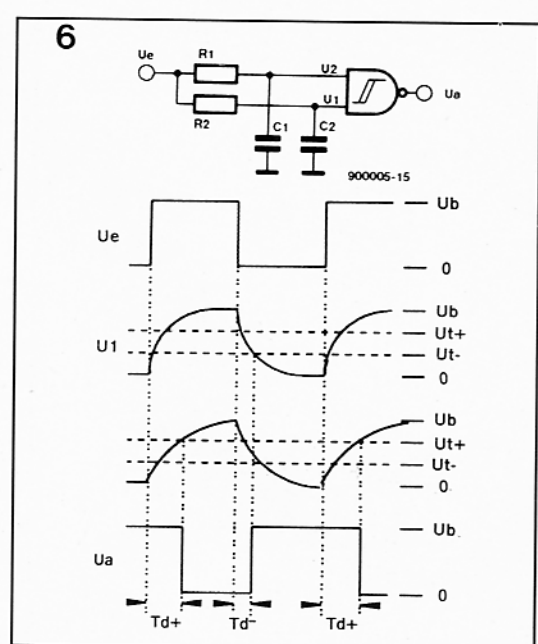
Ταλαντωτές και γεννήτριες

Οι ταλαντωτές είναι βεβαίως κι αυτοί γεννήτριες στην ουσία, αλλά συνηθίζεται να αποκαλούμε ταλαντωτές τα κυκλώματα που παράγουν μόνο μια συγκεκριμένη μορφή καμπύλης και γεννήτριας τα κυκλώματα που παράγουν διάφορα είδη καμπύλης.

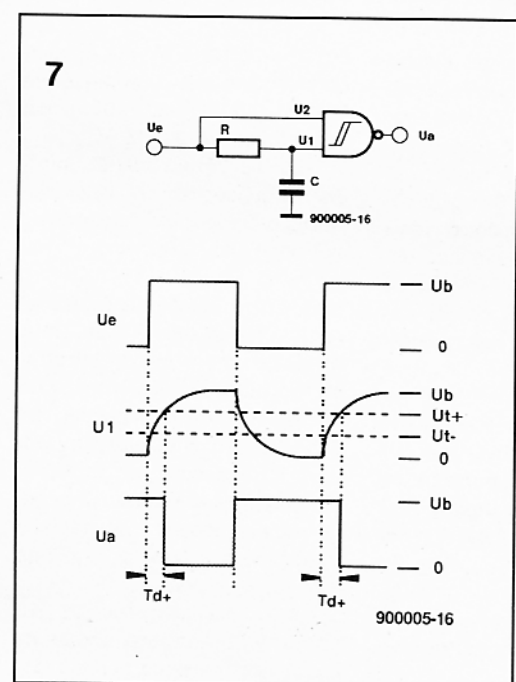
Με Schmitt-Trigger σε τεχνολογία CMOS και HCMOS



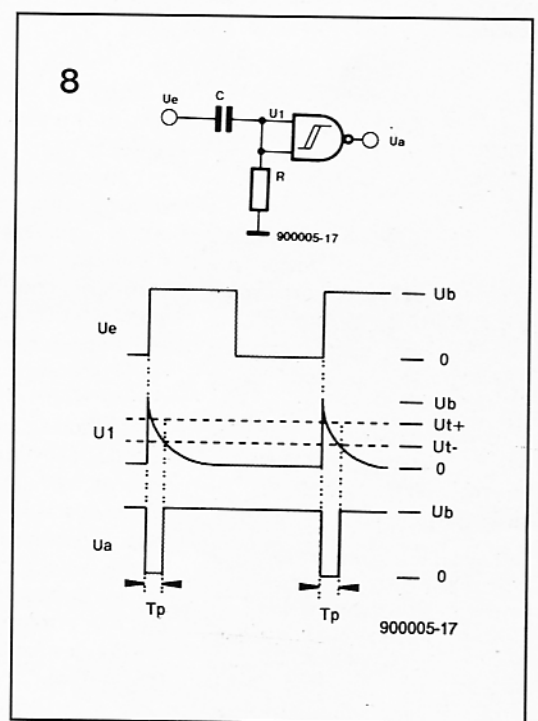
Σχ. 5 Επιβραδυντής παλμών ή μετατοπιστής φάσης για τετραγωνικό σήμα εισόδου.



Σχ. 6 Μεταβολή του λόγου παλμού / παύσης ενός τετραγωνικού σήματος με δικτύωματα RC στις εισόδους Schmitt-Trigger μιας πύλης NAND.



Σχ. 7 Καθυστέρηση ενός μόνο μετώπου μέσω πύλης NAND με εισόδους Schmitt-Trigger.



Σχ.8 Ανιχνευτής μετώπων ή μονοσταθής πολυδονητής.

μπορούμε να κατασκευάσουμε εύκολα τόσο ταλαντωτές όσο και γεννήτριες. Στο Σχ. 10 βλέπουμε έναν πολύ απλό ταλαντωτή αποτελούμενο από ένα δικτύωμα RC και από έναν πολυδονητή. Αυτό ήταν το κύκλωμα ενός από τα πρώτα μονοτονικά όργανα μουσικής.

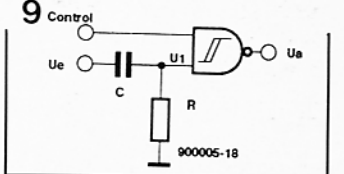
Πολυδονητής ήταν μια απλή λάμπα αίγλης και η τάση τροφοδοσίας ήταν 200 V! Με 1/

6 74HC14 επιπλέον και τροφοδοσία 5V ή 1/6 40106 και 9... 12V μπορεί κανείς να κατασκευάσει ένα όργανο που να καλύπτει μια οκτάβα σε θήματα μισού τόνου! Κάθε πλήρης περίοδος του κυκλώματος δεξιά της διακεκομμένης γραμμής είναι περίοδος (+25%):

$$T1 [\mu s] = T_h [\mu s] = R1 [K\Omega] \cdot C [nF] \cdot 0,45$$

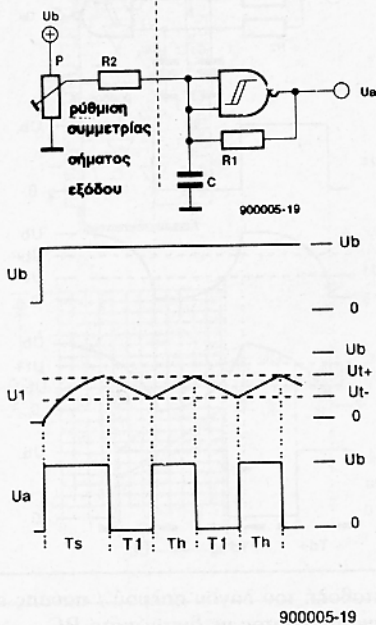
Η συχνότητα θα είναι:

$$f [kHz] = 1100 / (R1 [K\Omega] \cdot C [nF])$$



Σχ. 9 Ελεγχόμενος ανιχνευτής μετώπων.

10



Σχ. 10 Βασική συνδεσμολογία ταλαντωτή με πρόσθετο κύκλωμα συμμετροποίησης του σήματος εξόδου.

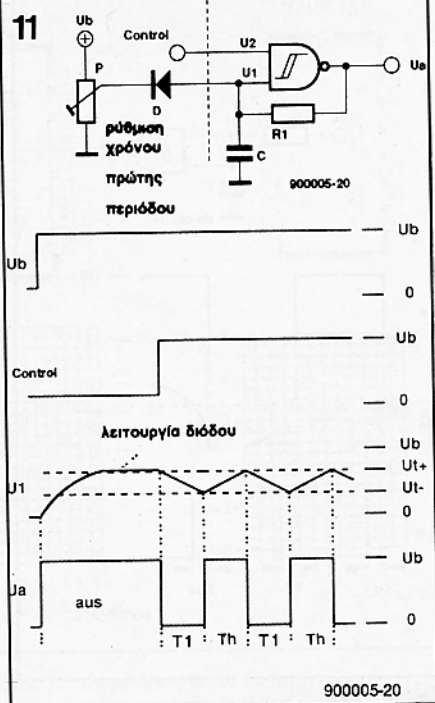
αμού U_{tt} και U_{t-} δεν είναι ακριβώς συμμετρικές ως προ το ήμισυ της τάσης τροφοδοσίας, οι χρόνοι T_1 και T_h του τετραγώνου εξόδου δεν θα είναι ακριβώς ίσοι.

Για να διορθώσουμε αυτή την ατέλεια προσθέτουμε την αντίσταση R_2 και το ποτενσιόμετρο P . Η R_2 θα 'πρεπε να είναι 10... 20 φορές μεγαλύτερη της R_1 και το ποτενσιόμετρο $P=5...50$ ΚΩ. Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα χρόνου, ο πρώτος παλμός αμέσως μετά την εφαρμογή της τάσης τροφοδοσίας θα είναι μακρύτερος, γιατί στην αρχή ο πυκνωτής C είναι εντελώς εκφορτισμένος. Για να αποκτήσει κανείς μια γεννήτρια τετραγώνου υψηλής ευστάθειας πρέπει ν' αντικαταστήσει τον πυκνωτή του παρόντος κυκλώματος με έναν κρύσταλλο θεμελιώδους συχνότητας σε παράλληλο συντονισμό ή με έναν κεραμικό ταλαντωτή. Όσο δε για την αντίσταση R στην ανάδραση, αυτή δεν μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά, γιατί τα δεδομένα του κάθε ταλαντωτή διαφέρουν πάρα πολύ. Ο προσδιορισμός γίνεται εμπειρικά, αυξάνοντας την τιμή της R μέχρι να διακοπεί η ταλάντωση. Την τιμή που θα βρούμε κατ' αυτόν τον τρόπο τη διαιρούμε δια τρία και βρίσκουμε έτσι τη ζητούμενη τιμή της R .

Ο ταλαντωτής με είσοδο ελέγχου (Σχ. 11) ταλαντώνεται μόνο όταν η είσοδος Control έχει υψηλή στάθμη. Χωρίς το πρόσθετο κύκλωμα αριστερά της διαχωριστικής γραμμής θα ήταν η πρώτη περίοδος αμέσως μετά την έναρξη της λειτουργίας μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες γιατί ο πυκνωτής C είναι εντελώς εκφορτισμένος και χρειάζεται περισσότερο χρόνο μέχρι να φορτιστεί ως την τάση U_b . Αν όμως ορίσουμε με τα P και D την τάση U_1 ελάχιστα πάνω από την τιμή της U_{it} , τότε μπορούμε να συντομεύσουμε την πρώτη περίοδο χαμηλής στάθμης T_1 και να την κάνουμε ίση με όλες τις υπόλοιπες περιόδους. Η αντίσταση του ποτενσιόμετρου P δεν πρέπει να υπερβαίνει το 20% της R_1 .

Στη γεννήτρια παλμών χαμηλής στάθμης (Σχ.12) έχουμε συνδέσει παράλληλα προς την αντίσταση R_1 του δικτύματος RC την αντίσταση R_2 και τη δίοδο D , συντομεύοντας έτσι τον χρόνο T_1 . Αν η R_2 είναι πολύ μικρότερη της R_1 , τότε ο χρόνος T_h ορίζεται από την R_1 και ο χρόνος T_1 από την R_2 . Αντιστρέφοντας την πολικότητα της δίοδου παίρνουμε παλμούς υψηλής στάθμης. Το παρόν κύκλωμα - όπως και το επόμενο - δεν έχει πολύ καλή ευστάθεια αν τροφο-

11



Σχ. 11 Ελεγχόμενος ταλαντωτής με δίοδο για τη διόρθωση της πρώτης περιόδου χαμηλής στάθμης.

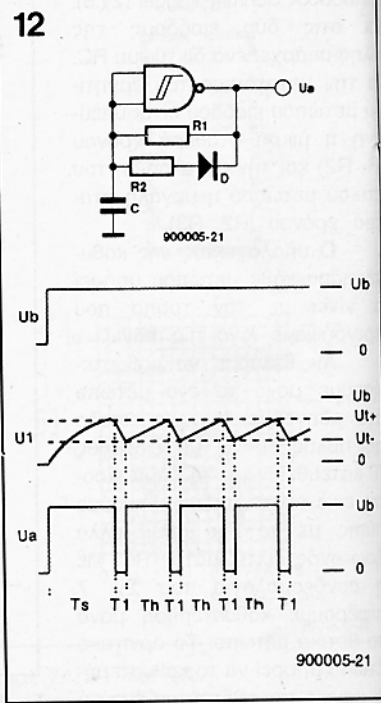
δοτείται με $U_d = 5V$ και προορίζεται βασικά για ολοκληρωμένα CMOS (40106 και 4093) και τροφοδοσία με 9... 15 V.

Η γεννήτρια παλμών μεταβλητού εύρους του Σχ. 13 διαχωρίζεται με δίοδους τις αντιστάσεις φόρτισης και εκφόρτισης του πυκνωτή C και μας δίνει τη δυνατότητα να ορίσουμε ελεύθερα τα λόγια μεταξύ T_1 και T_h . Η R_1 ορίζει την ελάχιστη αντίσταση φόρτισης / εκφόρτισης και πρέπει να είναι τουλάχιστον 3,7 ΚΩ. Προσοχή: Η συχνότητα είναι μόνο κατά προσέγγιση σταθερή! Με δύο ποτενσιόμετρα μπορούμε να ρυθμίσουμε την περίοδο υψηλής και χαμηλής στάθμης της τάσης εξόδου.

Το κύκλωμα του Σχ. 10 μπορεί να μετατραπεί εύκολα σε διαμορφωτή εύρους παλμού (Σχ. 14). Η συχνότητα ταλάντωσης που ορίζεται από τα R_1 και C_1 πρέπει βέβαια να είναι πολύ μεγαλύτερη της συχνότητας του σήματος εισόδου.

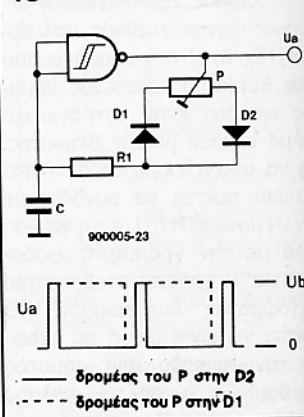
Η R_2 πρέπει να είναι 2...5 φορές μεγαλύτερη της R_1 . Ο διαμορφωτής λειτουργεί στην περιοχή $T_1/T_h = 0,5...2$ σχεδόν γραμμικά, πράγμα που διαπιστώνεται εύκολα με έναν παλμογράφο. Η συχνότητα δεν είναι σταθερή. Ωστόσο, ο παρόν διαμορφωτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάλλιστα για την μετάδοση σήμα-

12



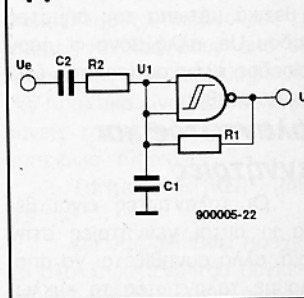
Σχ. 12 Γεννήτρια παλμών χαμηλής στάθμης.

13



Σχ. 13 Γεννήτρια παλμών με ρυθμιζόμενο λόγο παλμού / παύσης.

14



Σχ. 14 Απλός διαμορφωτής εύρους παλμού.

τος χαμηλής συχνότητας, π.χ. υπέρυθρου φωτός.

Η συνέχεια στο επόμενο.

Schmitt-Trigger σε τεχνολογία CMOS και HCMOS

Μέρος δεύτερο: Διαμόρφωση εύρους παλμού και εφαρμογές

Όταν οδηγούμε έναν καταναλωτή με διαμόρφωση εύρους παλμού τότε ο καταναλωτής δεν βρίσκεται συνεχώς, σε λειτουργία αλλά λειτουργεί "παλμικά". Ο συνολικός χρόνος λειτουργίας και η μέση κατανάλωση ισχύος του καταναλωτή εξαρτώνται φυσικά από τον λόγο παλμού / παύσης του οδηγού-ντος σήματος.

Όπως είπαμε ήδη και στο πρώτο μέρος του άρθρου, με Schmitt-Trigger CMOS και HCMOS μπορεί να κατασκευαστεί κανείς εύκολα μια παλμογεννήτρια ή ένα άλλο αντίστοιχο κύκλωμα οδήγησης. Αν το κύκλωμα ρύθμισης ισχύος οδηγεί με την μέθοδο διαμόρφωσης εύρους παλμού π.χ. μια ηλεκτρική θερμάστρα, τότε, η περίοδος του σήματος οδήγησης (διάρκεια παλμού και παύσης) μπορεί να φτάνει μέχρι και μερικά λεπτά.

Αν το ίδιο κύκλωμα οδηγεί μια λάμπα φωτισμού ή έναν κινητήρα, τότε η περίοδος επιλέγεται συνήθως μεταξύ 2 ms και 20 ms. Σε κυκλώματα ήχου όμως, π.χ. σε ενισχυτές οδηγούμενους με εύρος παλμού, η περίοδος σύμφωνο με το θεώρημα περί δειγματοληψίας, επιτρέπεται να είναι το πολύ μέχρι 50 μs, μια τιμή που αντιστοιχεί σε συχνότητα δειγματοληψίας 20 KHz.

Τον πιο απλό διαμορφωτή εύρους παλμού (PWM) τον βλέπουμε στο Σχ. 15. Ο διαμορφωτής αυτός μοιάζει πολύ με το βασικό κύκλωμα ταλαντωτή που είχαμε στο Σχ. 10 του πρώτου μέρους του άρθρου. Στον ταλαντωτή είχαμε πολύ μικρή περιοχή ρύθμισης του λόγου παλμού / περιόδου αφού δεν μας χρειαζόνταν παρά μόνο για τη ρύθμιση του σημείου 50%.

Στον διαμορφωτή εύρους παλμού όμως η περιοχή ρύθμισης είναι πολύ μεγαλύτερη και συγκεκριμένα 10%... 90%. Η περιοχή αυτή καλύπτεται μη γραμμικά

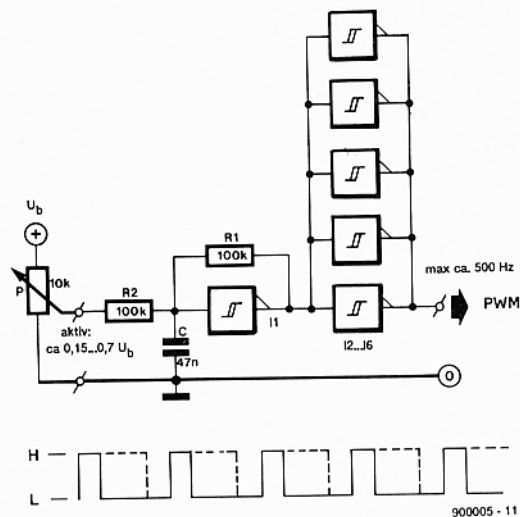
από μια τάση οδήγησης 0,15...0,75.U_d. Πάνω από το 90% ή κάτω από το 10% η στάθμη εξόδου είναι συνεχώς υψηλή (H) ή συνεχώς χαμηλή (L). Η συχνότητα μεταβάλλεται πάρα πολύ γρήγορα, ιδιαίτερα στα άκρα της περιοχής. Το κύκλωμα είναι υπολογισμένο για θεμελιώδη συχνότητα 500 Hz, αντίστροφα ανάλογη της χρονικής σταθεράς R1/R2.C. Οι υπόλοιποι αντιστροφείς I2...I6 αποευνγύνουν και αντιστρέφουν το παραγόμενο σήμα με διαμόρφωση εύρους παλμού. Λόγω της παράλληλης σύνδεσης των αντιστροφένων το κύκλωμα μπορεί να δώσει ρεύμα εξόδου 15 mA (40106, U_d = 12 V) ή 20 mA (74HC14, U_d = 5V) ή 120 mA (74AC14, U_d=5V).

Ολοκληρωμένα των οικογενειών HCT και ACT δεν ενεδείκνται και τόσο πολύ στη συγκεκριμένη περίπτωση, επειδή οι στάθμες σκανδαλισμού στην εισοδο παραείναι ασύμμετρες.

Σταθερή συχνότητα.

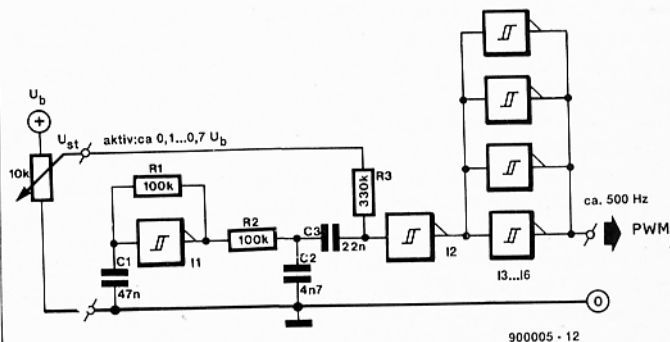
Εκείνο που ενοχλεί στον πολύ απλό διαμορφωτή εύρους παλμού του Σχ. 15 είναι ότι η συχνότητα δεν είναι σταθερή, ιδίως στα άκρα της περιοχής ρύθμισης. Το πρόβλημα λύνεται αν χωρίσουμε τον ταλαντωτή από το κύκλωμα παραγωγής εύρους παλμού, όπως στο Σχ. 16. Με το I1 παράγεται ένα τετραγωνικό σήμα, το οποίο ολοκληρώνεται με τα R2 και C2 και διαφορίζεται με τα C3 και R3. Στο ένα άκρο της R3 εφαρμόζεται η τάση οδήγησης. Αν μεταβληθεί η τάση οδήγησης μεταβάλλεται και το εύρος του παλμού εξόδου χωρίς όμως να μεταβάλλεται και η συχνότητα. Στο Σχ. 16 έχουμε μόνο τέσσερις αντιστροφείς εξόδου και συνεπώς το ρεύμα εξόδου είναι 4/5 του ρεύματος εξόδου του Σχ. 15. Και τα δύο κυκλώματα όμως είναι σε θέση να οδηγήσουν (κατευθείαν ή μέσω οπτοσυσζεύκτη) διπολικά τρανζίστορ ισχύος και τρανζίστορ ισχύος VMOS, τα οποία με τη σειρά τους μπορούν να οδη-

15



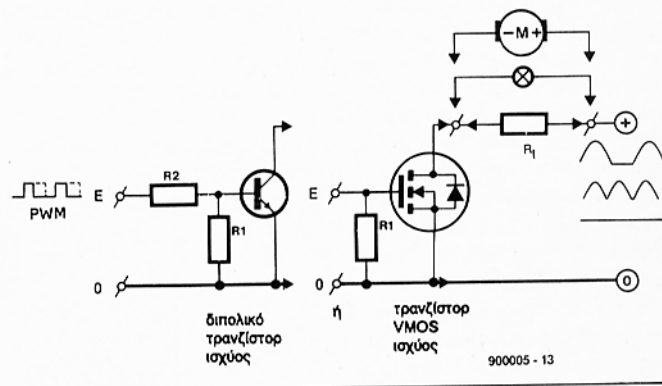
Σχ. 15 Απλό κύκλωμα παραγωγής σήματος με διαμόρφωση εύρους παλμού. Η συχνότητα δεν είναι σταθερή, αλλά αλλάζει με τη διάρκεια του παλμού.

16



Σχ. 16 Βελτιωμένο κύκλωμα. Ο λόγος παλμού / παύσης μπορεί να ρυθμιστεί σχεδόν ανεξάρτητα της συχνότητας.

17



Σχ. 17 Δύο παραλλαγές οδηγών διαφόρων φορτίων οδηγούμενων με διαμόρφωση εύρους παλμού.

γήσουν τον καταναλωτή (θερμάστρα, λάμπα, κινητήρα). Στο Σχ. 17 βλέπουμε μια τέτοια θεωρητική συνδεσμολογία. Αν το ρεύμα εξόδου των κυκλωμάτων του Σχ. 15 και του Σχ. 16 δεν αρκεί για να οδηγήσει ένα διπολικό τρανζίστορ ισχύος, τότε αναγκάζομαστε να παρεμβάλουμε είτε ένα τρανζίστορ, με υψηλή ενίσχυση ρεύματος είτε ένα τρανζίστορ Darlington. Η αντίσταση R1 επιλέγεται 4,7 kΩ, η R2 ανάλογα με το απαιτούμενο ρεύμα βάσης.

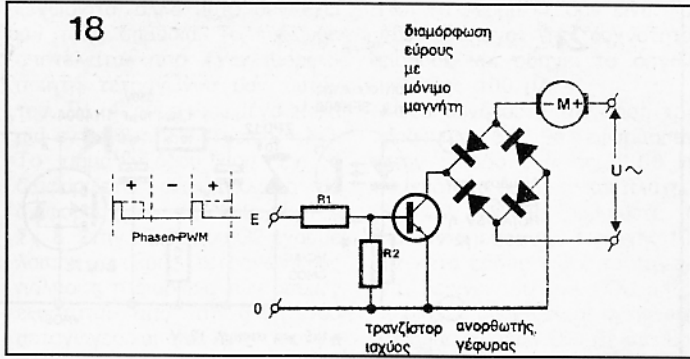
Αν ο οδηγός ισχύος είναι τύπου VMOS, τότε για την R1 αρκεί μια τιμή 47 KΩ περίπου. Η R1 έχει σκοπό να εμποδίζει τη συσσώρευση φορτίων στην πύλη όταν η είσοδος είναι εν κενώ, έτσι ώστε να αποφεύγεται εν τέλει το ανεπιθύμητο ρεύμα εκροής. Τα περισσότερα τρανζίστορ VMOS χρειάζονται τάση πύλης 8...10 V για να άγουν εντελώς και γι' αυτό μπορούν να οδηγηθούν κατευθείαν από το κύκλωμα παραγωγής εύρους παλμού μόνο εφ' όσον το τελευταίο περιλαμβάνει αντιστροφείς 40106 και τροφοδοτείται με τάση 12 V. Σε αντίθεση με τα τρανζίστορ VMOS, τα τρανζίστορ L² FET μπορούν να οδηγηθούν και με τάση πύλης μόνο 5 V.

Η συχνότητα του σήματος με διαμόρφωση εύρους παλμού μπορεί να κυμαίνεται στην περιοχή 1Hz... 20 KHz. Ο καταναλωτής λειτουργεί με εξομαλυμένο ή αμφιτράστιο συνεχές ρεύμα. Ειδικά στην τελευταία περίπτωση, αν το σήμα οδήγησης έχει συχνότητα 50Hz ή 100 Hz τότε θα προκληθεί αιώρηση μεταξύ της συχνότητας εισόδου και της συχνότητας κυμάτωσης του καταναλωτή (50 Hz ή 100 Hz), με αποτέλεσμα ο καταναλωτής να λειτουργεί ανώμαλα και να αναβοβούνει.

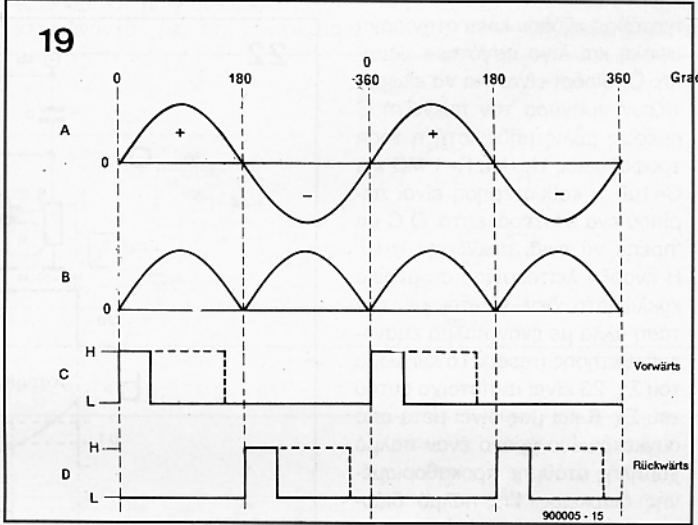
Και τα δύο κυκλώματα ενδεικνύονται όχι μόνο για κατευθείαν ρύθμιση ισχύος με ένα ποτενσιόμετρο, αλλά και ως ρυθμιστικό μέλος σε ένα κλειστό βρόγχο ρύθμισης. Και το τελευταίο είναι δυνατό - παρ' όλο που η ισχύς εξόδου των δύο κυκλωμάτων δεν εξαρτάται γραμμικά από την τάση οδήγησης - γιατί η ανασύζευξη του σήματος αντισταθμίζει την μη γραμμική καμπύλη.

Φορά και ταχύτητα περιστροφής.

Με διαμόρφωση εύρους παλμού θα μπορούσε να ρυθμίσει κανείς ταυτόχρονα και την κατεύθυνση



Σχ. 18 Οδηγός ταχύτητας και φοράς περιστροφής ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος.



Σχ. 19 Το τρανζίστορ οδηγείται με διαμόρφωση εύρους παλμού και άγει μόνο κατά τη θετική ή μόνο κατά την αρνητική ημιπερίοδο. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να ρυθμίσουμε την ταχύτητα και τη φορά περιστροφής ενός κινητήρα σειράς.

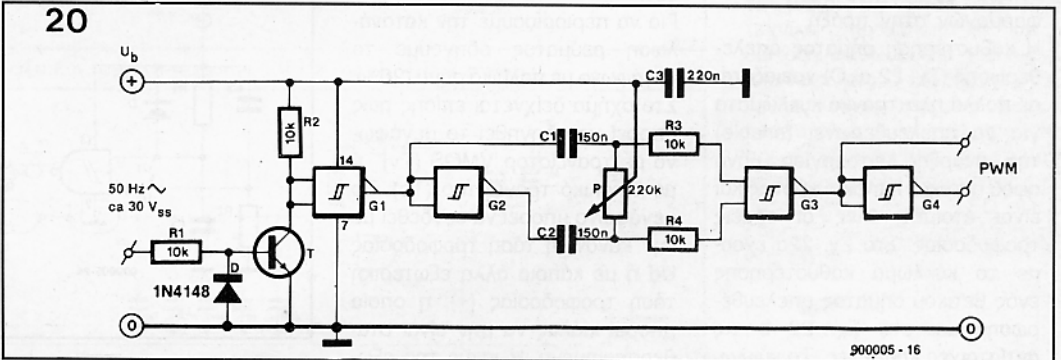
αλλά και την ταχύτητα περιστροφής. Προς τούτο πρέπει να επεκτείνουμε λιγάκι το κύκλωμα του Σχ. 17 και να προσθέσουμε έναν ανορθωτή γέφυρας ανάλογης ισχύος (Σχ. 18). Ας δούμε όμως πως λειτουργεί η όλη διάταξη: Αν εφαρμόσουμε συνεχή τάση στην γέφυρα, τότε μπορούμε με την πολικότητα αυτής της τάσης να ορίσουμε την κατεύθυνση περιστροφής του κινητήρα, ενώ την

ταχύτητα περιστροφής μπορούμε να την ορίζουμε με την διάρκεια παλμού του σήματος στο σημείο E. Αντίθετα, αν εφαρμόσουμε εναλλασόμενη τάση στη γέφυρα και με το σήμα στο σημείο E οδηγήσουμε κατάλληλα το τρανζίστορ ώστε να άγει μόνο κατά τις θετικές ή μόνο κατά τις αρνητικές ημιπεριόδους, τότε ο κινητήρας με μόνιμο μαγνήτη θα περιστραφεί προς τη μια ή την άλλη κατεύθυνση και μάλιστα με

ταχύτητα ανάλογη του εύρους παλμού στο σημείο E. Στο Σχ. 19 βλέπουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα της τάσης στη γέφυρα και στο σημείο E σε συνάρτηση με τον χρόνο. Αν έχουμε έναν κινητήρα σειράς τότε συνδέουμε το πηνίο διέγερσης μεταξύ του ανορθωτή και του συλλέκτη ή της εκροής του τρανζίστορ. Έτσι το πηνίο θα διαρρέεται από ρεύμα πάντα προς την ίδια κατεύθυνση ανεξάρτητα από την πολικότητα της εισόδου και το μαγνητικό πεδίο δεν θ' αντιστρέφεται ποτέ.

Το κύκλωμα του Σχ. 20 παράγει σήμα 50 Hz με διαμόρφωση εύρους παλμού εξαρτώμενη από το δίκτυο. Το τρανζίστορ T λειτουργεί ως διακόπτης διέλευσης από το μηδέν. Στην έξοδο της πύλης G1 έχουμε τετραγωνικό σήμα 50 Hz, του οποίου τα μέτωπα στην πράξη συμπίπτουν χρονικά με τις διελεύσεις της τάσης δικτύου από το μηδέν. Το σήμα οδήγησης 50 Hz μπορεί για παράδειγμα να το πάρει κανείς πριν από τον ανορθωτή της τάσης τροφοδοσίας 12 V. Επειδή για τάση τροφοδοσίας U_d=5V (ολοκληρωμένα HC και AC) απαιτείται πριν από τον ανορθωτή και τον σταθεροποιητή εναλλασσόμενη τάση μόνο 8 V, αρκεί η R1 να έχει μια τιμή 4,7 KΩ. Η πύλη G2 σχηματίζει δύο τετραγωνικές τάσεις σε αντίφασεις, οι οποίες διαφορίζονται με τους πυκνωτές C1/C2 και το ποτενσιόμετρο P και ζευγνύονται λογικά με την πύλη NAND. Η πύλη G4 μας δίνει ένα ανεστραμμένο και ένα μη ανεστραμμένο σήμα εξόδου.

Αν ο δρομέας του ποτενσιόμετρου βρίσκεται στη μέση, η έξοδος του G3 έχει υψηλή στάθμη ενώ η έξοδος του G4 χαμηλή. Ανάλογα με το πόσο αποκλίνει η θέση του δρομέα παράγονται παλμοί οδήγησης κατά τη διάρκεια του θετικού ή του αρνητικού



Σχ. 20 Το κύκλωμα παράγει διαμόρφωση εύρους παλμού 50 Hz συγχρονισμένη με το δίκτυο.

ημικύματος με εύρος 0% (δρόμας στη μέση) έως 100% της ημιπεριόδου του δικτύου (10 ms). Για την εφαρμογή στην πράξη ενδείκνυται να προσθέσει κανείς έναν οδηγό εξόδου, π.χ. έξι παράλληλους αντιστροφείς. Αν όμως ο Schmitt-Trigger είναι τύπου 74HC132 με μέγιστο ρεύμα εξόδου 24 mA δεν χρειάζεται απαραίτητα οδηγός εξόδου.

Ένα πρακτικό κύκλωμα.

Οι κινητήρες (universal) είναι κινητήρες σειράς και μπορούν να λειτουργήσουν με συνεχή ή εναλλασσόμενη τάση 50Hz (συνήθως 220 V). Οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται σε οικιακές συσκευές όπως μίξερ, μύλοι καφέ, σκούπες κ.τ.λ. και σε λειτουργία ημικύματος αποδίδουν μόνο τη μισή ισχύ. Και αφού συνήθως λειτουργούν μόνο κατά διαστήματα δεν χρειάζεται να πάρουμε ιδιαίτερα μέτρα σε ότι αφορά την απώλεια ισχύος στο ηλεκτρονικό κύκλωμα οδήγησης.

Ένα κύκλωμα κατάλληλο για κινητήρες universal δείχνεται στο Σχ. 21. Στην είσοδο του οπτοζεύκτη εφαρμόζονται τα σήματα του Σχ. 19, τα οποία παράγονται με το κύκλωμα του Σχ. 20 (μπορεί να χρειάζεται και οδηγός εξόδου). Μην ξεχάσετε ότι το τρανζίστορ ισχύος BUZ 74 επιτρέπεται να άγει μόνο κατά τη θετική ή μόνο κατά την αρνητική περίοδο, γιατί αλλιώς ο κινητήρας ή και το τρανζίστορ θα πάνε για ... αιώνια ανάπαυση!

Εφαρμογές.

Τα κυκλώματα με Schmitt-Trigger CMOS και HCMOS που περιγράφονται εδώ είναι πολύ καλά για πειραματισμούς και δοκιμές, αλλά αν πρέπει να χρησιμοποιηθούν στην πράξη χρειάζονται τις ανάλογες προσθήκες. Στη συνέχεια δίνουμε μερικά παραδείγματα εφαρμογών στην πράξη.

Η καθυστέρηση σήματος απελευθέρωσης (Σχ. 22 α...C) χρειάζεται σε πολλά ηλεκτρονικά κυκλώματα για να απελευθερώνει (enable) την έναρξη λειτουργίας μόνο αφού περάσει κάποιος χρόνος και είναι έτοιμες όλες οι τάσεις τροφοδοσίας. Στο Σχ. 22α έχουμε το κύκλωμα καθυστέρησης ενός θετικού σήματος απελευθέρωσης και στο Σχ. 22 β τις αντίστοιχες καμπύλες. Το κύκλωμα του Σχ. 22 γ μας δίνει αρνητικό σήμα απελευθέρωσης:

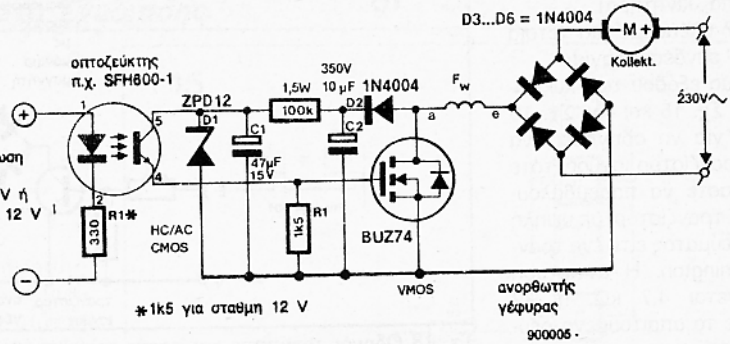
η στάθμη εξόδου είναι στην αρχή υψηλή και λίγο αργότερα χαμηλή. Οι δίοδοι είναι για να εκφορτίζουν γρήγορα τον πυκνωτή C αμέσως μόλις μηδενιστεί η τάση τροφοδοσίας U_d . Με $R=1\text{ M}\Omega$ και $C=1\mu\text{F}$ η καθυστέρηση είναι περίπου ένα δευτερόλεπτο. Ο C θα πρέπει να είναι πυκνωτής φίλμ. Η έναρξη λειτουργίας σε μερικά κυκλώματα δεν γίνεται με την τάση αλλά με έναν παλμό επανατοποθέτησης (reset). Το κύκλωμα του Σχ. 23 είναι αντίστοιχο αυτού του Σχ. 6 και μας δίνει μετά από συγκεκριμένο χρόνο έναν παλμό χαμηλής στάθμης προκαθορισμένης διάρκειας. Για παλμό διάρκειας 0,5 s μετά από 1s από τη θέση σε λειτουργία έχουμε τις εξής τιμές εξαρτημάτων:

$R_1=1,5\text{ M}\Omega$, $C_1=1\mu\text{F}$, $R_2=1\text{ M}\Omega$, $C_2=1\mu\text{F}$.

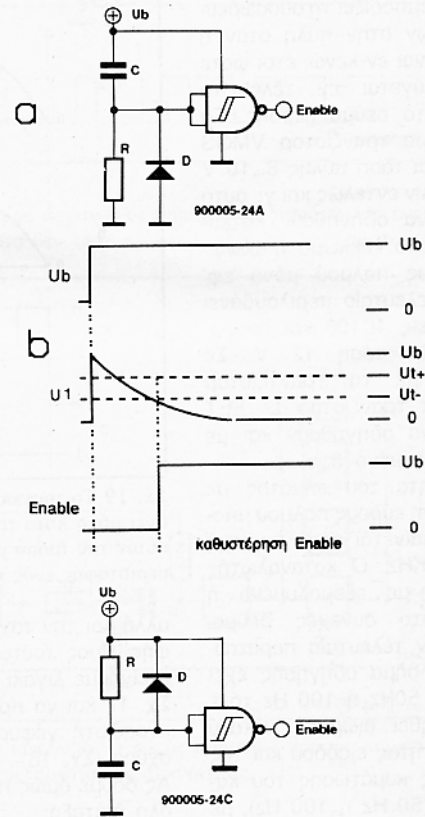
Αν χρειάζεστε θετικό παλμό επανατοποθέτησης πρέπει να προσθέσετε ένα αντιστροφή στην έξοδο.

Ο ηλεκτρονικός βοηθητής του Σχ. 24 παράγει σε διαστήματα διάρκειας 0,8 s περίπου έναν διαπεραστικό ήχο 1000 Hz. Η εκκίνηση γίνεται με θετική στάθμη στην είσοδο οδήγησης Contr. Όσο αυτή η στάθμη είναι χαμηλή η κατανάλωση ρεύματος του κυκλώματος είναι πρακτικά μηδέν.

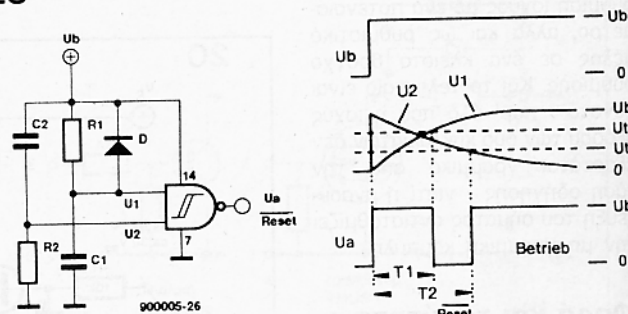
Για να περιορίσουμε την κατανάλωση ρεύματος οδηγούμε το μεγάφωνο με παλμικό σήμα (20%). Στο σχήμα δείχνεται επίσης πως μπορεί να οδηγηθεί το μεγάφωνο με τρανζίστορ VMOS (T_v) ή με διπολικό τρανζίστορ (T_b). Το μεγάφωνο μπορεί να συνδεθεί με την κανονική τάση τροφοδοσίας U_d ή με κάποια άλλη εξωτερική τάση τροφοδοσίας (+), η οποία μπορεί κιόλας να μην είναι σταθεροποιημένη. Η ισχύς της εξωτερικής τροφοδοσίας εξαρτάται από την ζητούμενη ένταση ήχου.



Σχ. 21 Οδηγός κινητήρων γενικής χρήσης 100... 230 V με μέγιστη κατανάλωση 2 A.



Σχ. 22 Παραγωγή θετικού ή αρνητικού σήματος απελευθέρωσης (Enable) με καθυστέρηση.



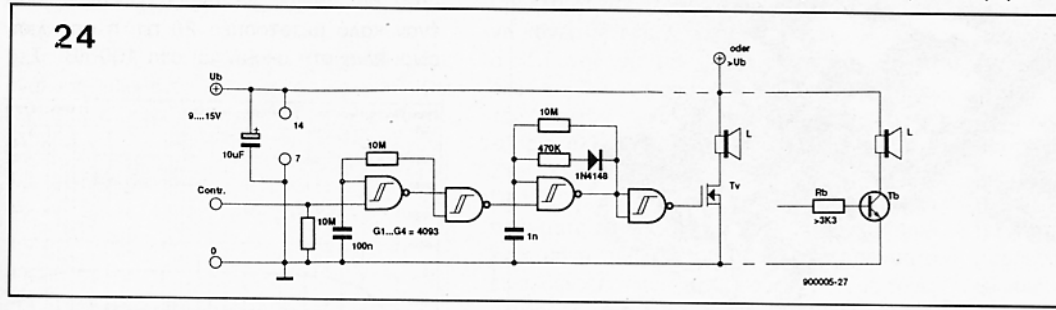
Σχ. 23 Παραγωγή αρνητικού παλμού επανατοποθέτησης (reset) με καθυστέρηση.

Παρόμοια είναι και η δομή της ηλεκτρονικής σειράς του Σχ. 25, με την διαφορά μόνο ότι στον ταλαντωτή 1000 Hz προστίθεται και ένας διαμορφωτής συχνότητας. Ο ταλαντωτής με το G3 παράγει ένα πολύ ασύμμετρο τετραγωνικό σήμα με διαμόρφωση εύρους παλμού. Η διαμόρφωση αυτή μετατρέπεται σε γνήσια διαμόρφωση FM, η οποία προσωμιώνει τον ήχο της σειράς πολύ καλά. Όλα τ' άλλα παραμένουν ως έχουν στο Σχ. 24. Με 1/3 74HC14 ή 1/2 74HC32 μπορεί κανείς να φτιάξει και ένα συχνόμετρο με αναλογική ένδειξη (Σχ. 26). Βέβαια η κάθε περιοχή πρέπει να ρυθμιστεί

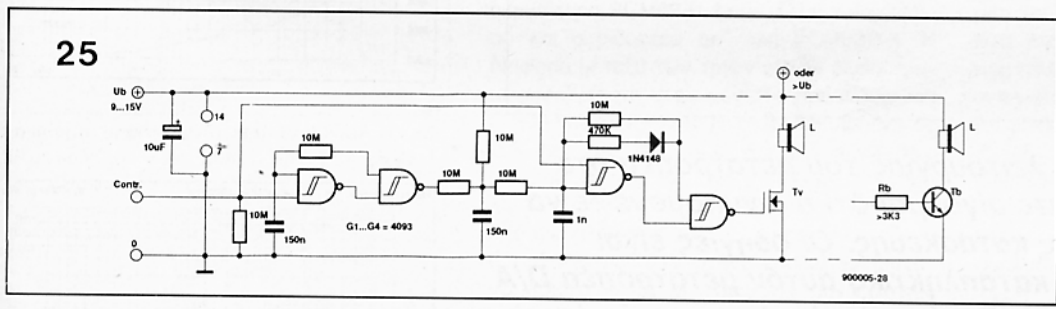
ξεχωριστά, αλλά αυτό δεν έχει και τόση σημασία. Το κύκλωμα αποτελείται από έναν μορφοποιητή τετραγώνου σαν αυτόν του Σχ. 4 συμπληρωμένο κατά μία αντίσταση προσασίας 4 ΚΩ. Το σήμα εξόδου του Σχ. 4 διαφορίζεται στο κύκλωμα με διάφορες χρονικές σταθερές του Σχ. 8. Στην έξοδο του G2 έχουμε λοιπόν θετικούς τετραγωνικούς παλμούς, η διάρκεια των οποίων εξαρτάται από τη θέση του μεταγωγός και από τα αντίστοιχα ποτενοσιόμετρα. Η συχνότητα επανάληψης των παλμών ισούται με την συχνότητα του σήματος εισόδου. Οι παλμοί εξόδου ολοκληρώνονται με ένα δικτύωμα

RC. Το ρεύμα εξόδου είναι λοιπόν ανάλογο της συχνότητας εισόδου και οδηγεί το όργανο ένδειξης 100 μΑ. Αφού συνδέσετε την τάση τροφοδοσίας 5V θα εφαρμόσετε στην είσοδο ένα σήμα 50 Hz (συχνότητα δικτύου) και πλάτους 3...4 V και θα ρυθμίσετε το ποτενοσιόμετρο της περιοχής 100 Hz κατά τρόπο ώστε το όργανο να δείχνει 50 μΑ. Οι άλλες περιοχές ρυθμίζονται αντίστοιχα με σήμα εισόδου 500 Hz και ούτω καθεξής. Αν δεν έχετε παλμογεννήτρια αλλά έχετε όμως παλμογράφο, τότε μπορείτε να ρυθμίσετε τις περιοχές από 1 KHz και πάνω μειώνοντας κάθε φορά τη

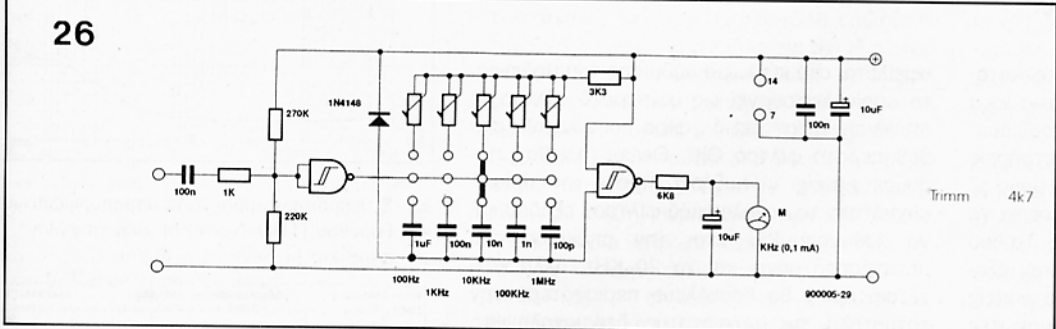
διάρκεια παλμού στο 1/10 της διάρκειας της προηγούμενης περιοχής. Αν για παράδειγμα ο παλμός είχε διάρκεια 2,22 ms στην περιοχή 100 Hz, θα τον περιορίσετε στα 222 μs για την περιοχή 10 KHz κ.ο.κ. Με ένα κατάλληλο αισθητήριο το κύκλωμα μπορεί να μετατραπεί εύκολα και σε στροφόμετρο. Το στροφόμετρο δεν θα χρειαστεί παρά μόνο μια ή δύο περιοχές μέτρησης και η ακριβής μέτρηση θα είναι ικανοποιητική. Όσο δε για τη ρύθμιση του συχνόμετρου αυτή μπορεί να γίνει και με τη βοήθεια της παλμογεννήτριας που περιγράφουμε αμέσως πιο κάτω:



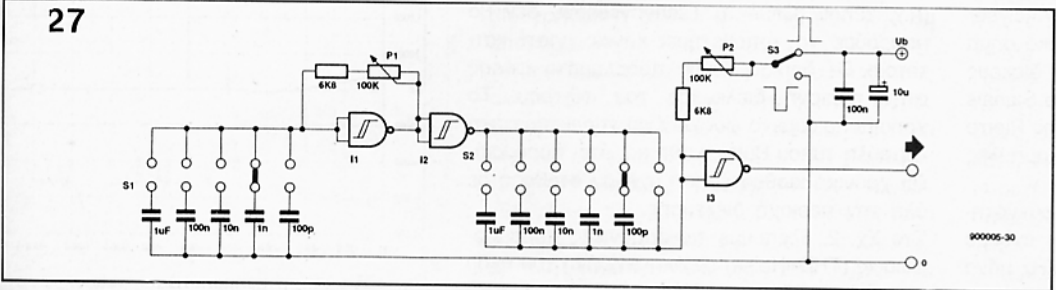
Σχ. 24 Ηλεκτρονικός βοηθητής διαστήματος.



Σχ. 25 Ηλεκτρονική σειρά



Σχ. 26 Συχνόμετρο με αναλογική ένδειξη και περιοχή μέτρησης 10 Hz έως 1 MHz με ρυθμό



Σχ. 27 Παλμογεννήτρια από 10 Hz έως περισσότερα από 1 MHz

Η παλμογεννήτρια 10 Hz...1 MHz (Σχ. 27) αποτελείται από τη γεννήτρια τετραγώνου του Σχ. 10 (i1), από τη διαχωριστική βαθμίδα (i2) και από τον μονοσταθμό πολυδονητή (ανιχνευτής μετώπων) του Σχ. 8. Με τον S1 γίνεται η χονδρική ρύθμιση της συχνότητας, με το P1 γίνεται η μικρομετρική. Με τον S3 αντιστρέφεται η πολικότητα του παλμού εξόδου. Εννοείται ότι η ρυθμιζόμενη διάρκεια παλμού πρέπει να είναι πάντα μικρότερη της περιόδου του τετραγωνικού σήματος. Το κύκλωμα μπορεί να υλοποιηθεί και με τις τέσσερις σειρές Schmitt-Trigger που αναφέραμε. Με ολοκληρωμένα 74HC έχουμε μέτωπα με καλή κλίση, με ολοκληρωμένα της σειράς AC(T) έχουμε μέτωπα με άριστη κλίση. Μια καλή ιδέα, θα ήταν να συνδυάσει κανείς την παλμογεννήτρια με το συχνόμετρο σε μια συσκευή, αφού στο 74HC14 υπάρχουν έτσι κι αλλιώς έξι Schmitt-Trigger!

Νέα σειρά.

Η νέα σειρά λέγεται 74 AC... και είναι σε τεχνολογία ADVANCED CMOS. Τα ολοκληρωμένα αυτά κοστίζουν περίπου τα διπλάσια χρήματα απ' ό,τι τα 74HC... και είναι ακόμα λίγο δυσεύρετα. Αντ' αυτού όμως μπορούν να δώσουν όχι μόνο +4 mA αλλά +24 mA και μάλιστα με συχνότητα μέχρι 80 MHz. Τα άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά και η διάταξη ακίδων είναι ίδια με τα ολοκληρωμένα της σειράς HC. Αν το κύκλωμα σας λοιπόν πρέπει να είναι πολύ γρήγορο ή αν πρέπει να οδηγήσει εξαρτήματα με μεγαλύτερες απαιτήσεις ρεύματος (π.χ. Triac, LED κ.κ.λ.) μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την νέα σειρά.