

Ηλεκτρονικός Μετρονόμος/Διαπασών

βασισμένος στον PIC16F84

Το άρθρο που ακολουθεί περιγράφει μια 'διπλή' κατασκευή: έναν μετρονόμο και ένα διαπασών. Η απλότητα της σχεδίασής της ήταν ο ένας μόνο από τους στόχους των δημιουργών της. Ο δεύτερος ήταν οι υψηλές προδιαγραφές, που την κάνουν συγκρίσιμη με άλλες εμπορικές πολλαπλάσιου κόστους. Και όλα αυτά με το μυαλό και τα μπράτσα ενός φθηνού μικροελεγκτή.



μας, το ολοκληρωμένο αυτό είναι γνωστό για τις πολλές και διάφορες αρετές του. Μερικές από αυτές συνοψίζονται στα παρακάτω: μνήμη προγράμματος Flash ROM 1 K (λέξεων), μνήμη RAM 68 byte, μνήμη EEPROM 64 byte, 13 γραμμές εισόδου / εξόδου, ενσωματωμένη γεννήτρια χρονισμού, ρολόι πραγματικού χρόνου / μετρητής κλπ. Μια περισσότερη εμπειριστωμένη περιγραφή, συνοδευόμενη από το απαραίτητο ρεπερτόριο εντολών, θα βρείτε στο φύλλο πληροφοριών που διαθέτει η ίδια η Microchip για το προϊόν της. Μπορείτε να το αναζητήσετε στο σχετικό βιβλίο ή στη δικτυακή τοποθεσία της εταιρίας (www.microchip.com) Στον ίδιο τόπο φιλοξενούνται επίσης και πολλά φυλλάδια εφαρμογών, που σας δείχνουν με απλό τρόπο το τι μπορείτε να κάνετε με έναν PIC16F84. Σε αυτά βασιστήκαμε άλλωστε και εμείς για να προχωρήσουμε στην κατασκευή μας. Το πρωτότυπο μοντέλο που συναρμολογήσαμε, δεν έμοιαζε και πολύ με αυτό που φαίνεται στο σχ. 1. Εκτός από το κύ-

Ο PIC16F84, που χρησιμοποιείται στην κατασκευή, είναι εκείνος που κουβαλάει και όλα τα βάρη. Μέσα στις δικαιοδοσίες του περιλαμβάνονται η δημιουργία των σύντομων κύττων του μετρονόμου, η ψηφιακή σύνθεση των ημιτονοειδών κυματομορφών που αποτελούν τους τόνους του διαπασών, όπως επίσης και ο έλεγχος της οθόνης και των απαραίτητων πλήκτρων. Όταν η κατασκευή εργάζεται σαν μετρονόμος, ο μικροελεγκτής παράγει σύντομους και κοφτούς κύττους (tik), που προσομοιώνουν με μεγάλη επιτυχία τους κύττους ενός μηχανικού μετρονόμου. Μια χρήσιμη λειτουργία, που δεν θα τη βρείτε στους παραδοσιακούς μετρονόμους, είναι η διαφοροποίηση του πρώτου κύττου. Είναι πάντα οξύτερος, ενώ ταυτόχρονα ο μικροελεγκτής φροντίζει να ανάψει και ένα LED το οποίο παρέχει οπτική ένδειξη. Κάτι περισσότερο ουσιαστικό είναι η δημιουργία κύττων με ασύμμετρους ρυθμούς 5/4, 7/4 και 8/4 ή και κύττων χωρίς καθό-

λου ρυθμό (κανονικοί κύττοι) ίδιων με αυτούς που παράγουν οι μηχανικοί μετρονόμοι. Όταν η κατασκευή εργάζεται σαν διαπασών, είναι σε θέση να παράγει οποιονδήποτε τόνο (από τον C2 έως τον B7) Οι κυματομορφές που παράγονται είναι καθαρά ημιτονοειδείς με πολύ χαμηλή αρμονική παραμόρφωση, ενώ η συχνότητά τους έχει την ακρίβεια και τη σταθερότητα κρυστάλλου. Και κάτι σημαντικό για όσους φοβούνται τις ρυθμίσεις. Ο ηλεκτρονικός Μετρονόμος / Διαπασών είναι πάντοτε έτοιμος να υπακούσει στις διαταχές μας. Δεν χρειάζεται ποτέ καμία ρύθμιση.

Περιγραφή κυκλώματος

Το θεωρητικό διάγραμμα της κατασκευής φαίνεται στο σχ. 1. Το εξάρτημα, που κερδίζει αμέσως τις εντυπώσεις, είναι αναμφισβήτητα ο μικροελεγκτής PIC16F84 της Microchip. Όπως θα γνωρίζουν ήδη αρκετοί από τους αναγνώστες

κλώμα γύρω από την οθόνη LCD και τα πλήκτρα, όλο το τμήμα του ήχου ήταν διαφορετικό. Βλέποντας όμως, όταν είχαμε φτιάξει όλα αυτά, πως περίσσευαν αρκετές θέσεις μνήμης προγράμματος, σκεφθήκαμε να το βελτιστοποιήσουμε. Το πιεζοηλεκτρικό megάφωνο που είχε τοποθετηθεί αρχικά, δεν αντιπροσώπευε ό,τι καλύτερο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί. Εκτός όμως από αυτό, η οδήγησή του με ορθογώνιους παλμούς είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ήχων με έντονη αρμονική παραμόρφωση, καθόλου ευχάριστη για τα αυτιά ενός επαγγελματία (ή ερασιτέχνη) μουσικού. Έτσι λοιπόν αποφασίσαμε να κάνουμε την κατασκευή μας να θγάζει πιο 'γλυκούς' κύττους, όταν εργαζόταν σαν μετρονόμος και πιο 'καθαρούς' τόνους όταν εργαζόταν σαν διαπασών. Για τις βελτιώσεις αυτές οι περισσότερες επεμβάσεις έγιναν στο επίπεδο του λογισμικού. Δεν σταμάτησαν όμως εκεί. Από τη στιγμή που επαληθεύτηκε η μη γραμμική συμπερι-

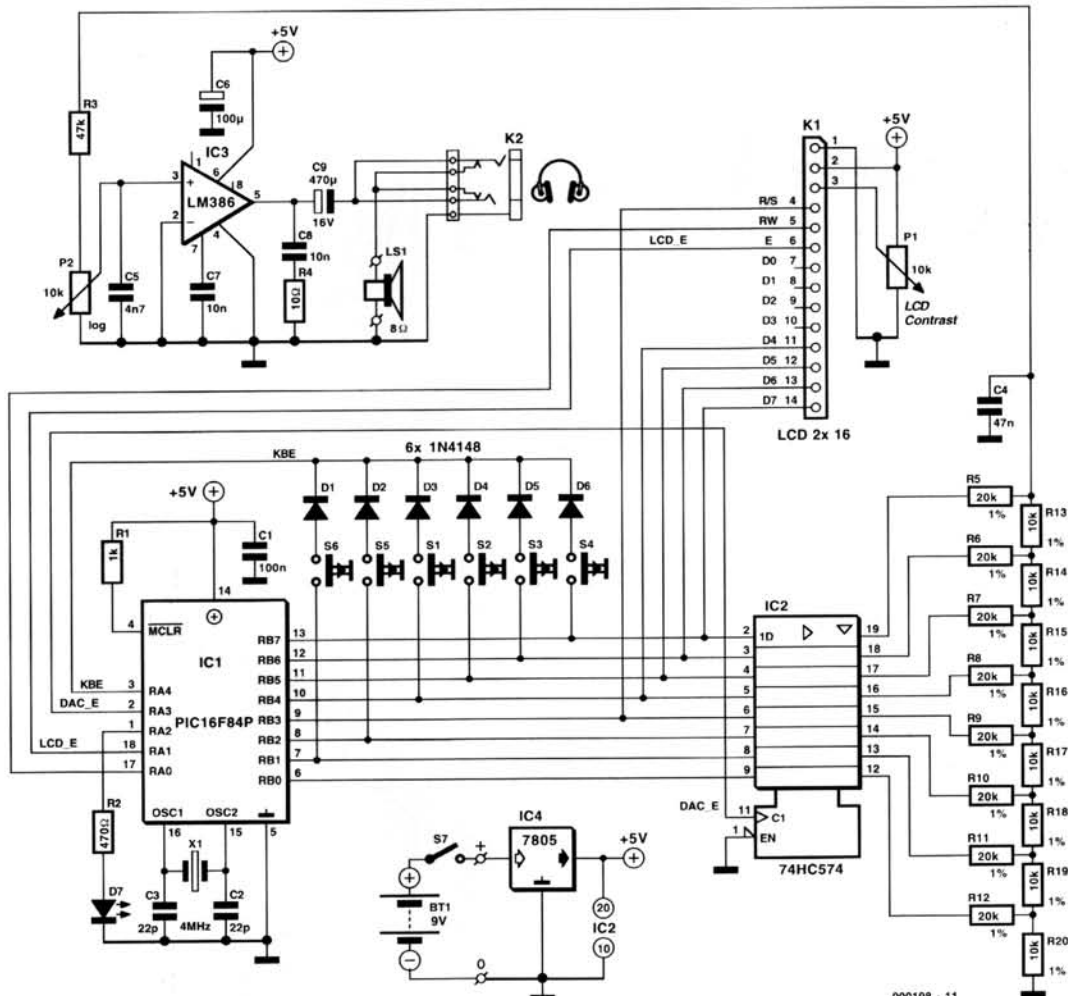
Κύρια χαρακτηριστικά

Λειτουργία Μετρονόμου

- Μεταβλητός ρυθμός μεταξύ 40 και 240 κύπων ανά λεπτό. Υψηλή ακρίβεια στα χρονικά διαστήματα λόγω του χρησιμοποιούμενου κρυστάλλου.
- Οι κύπτοι είναι σύντομοι και κοφτοί, προσομοιώνοντας πλήρως έναν συνηθισμένο μηχανικό μετρονόμο. Ο πρώτος κύππος κάθε μέτρησης έχει υψηλότερη οξύτητα και συνοδεύεται από το άναμμα ενός LED.
- Στην οθόνη εμφανίζονται αριθμοί χαρακτηριστικοί του πλήθους των κύπων. Οι αριθμοί μετακινούνται δίδοντας μια οπτική εικόνα της μπάρας του μηχανικού μετρονόμου.
- Ο ήχος και το LED μπορούν να τεθούν εκτός λειτουργίας ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Η ρύθμισή τους σε κατάσταση αδράνειας δεν διακόπτει τις εσωτερικές υπολογιστικές λειτουργίες του μικροελεγκτή.
- Οι κύπτοι μπορούν να έχουν τυποποιημένο ρυθμό (ρυθμίζεται από 2 έως 7 κύππους), ασύμμετρο (5/4, 7/4 και 8/4) ή τέλος να μην έχουν κανένα ρυθμό (κανονικοί κύπτοι) όπως συμβαίνει στους μηχανικούς μετρονόμους.
- Όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με τις επιλογές του χρήστη φαίνονται στην οθόνη LCD.
- Υποστηρίζεται έξοδος για ακουστικά.

Λειτουργία Διασώων

- Δημιουργία οποιουδήποτε μουσικού τόνου (νότας) από τον C2 έως τον B7. Η επιλογή γίνεται ανά οκτάβα ή με διαδοχικές αυξήσεις από τον ένα τόνο στον άλλο.
- Δυνατότητα επιλογής δύο μουσικών κλιμάκων: πεντάτονης(F) ή equal temperament (T).
- Ο παραγόμενος τόνος είναι καθαρά ημιτονικός με χαμηλή αρμονική παραμόρφωση. Η συχνότητά του έχει τη σταθερότητα και την ακρίβεια του κρυστάλλου που χρησιμοποιεί ο μικροελεγκτής.
- Η οθόνη απεικονίζει πάντα τον επιλεγμένο τόνο και μουσική κλίμακα.
- Υποστήριξη εξόδων ακουστικών για μεγαλύτερη ένταση και καλύτερη ποιότητα. Τα ακουστικά αποτελούν την καλύτερη λύση για τους χαμηλούς τόνους π.χ. από τον C2 έως τον B2.



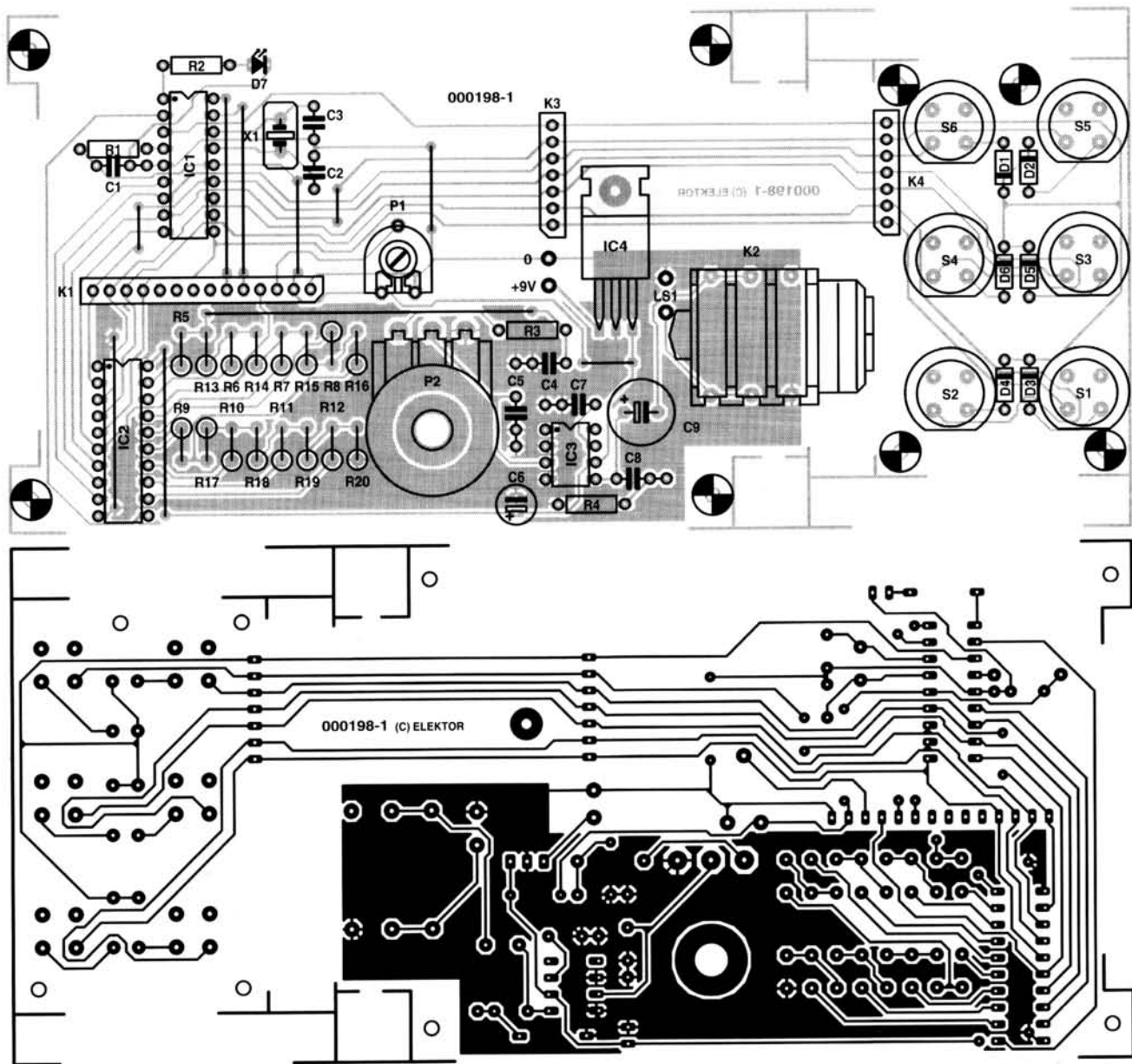
000198 - 11

Σχ. 1. Το θεωρητικό διάγραμμα της κατασκευής.

φορά του πιεζοηλεκτρικού μεγαφώνου, όλο το κύκλωμα του ενισχυτή ήχου αντικαταστάθηκε με αυτό που βλέπετε στο διάγραμμα. Ήταν παράλογο σε μερικούς τόνους η τρίτη αρμονική να είχε μεγαλύτερο πλάτος από τη βασική που μας ενδιέφερε. Και φυσικά, από τη λαίλαπα της αναβάθμισης δεν ξέφυγε ούτε το πιεζοηλεκτρικό μεγαφώνο, που αντικαταστάθηκε με ένα συνθημιμένο κώνου. Στο ανανεωμένο κύκλωμα προστέθηκε επίσης ένας μετατροπέας ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (DAC), έτσι ώστε όταν η κατασκευή συμπεριφέρεται σαν διαπασών να παράγει καθαρούς ημιτοννοειδείς τόνους. Ας δούμε όμως το διάγραμμα περισσότερο προσεκτικά. Εκτός από τον μικροελεγκτή, το κύκλωμα αποτελείται από μια οθόνη LCD, έξι πιστωτικούς διακόπτες (πληκτρα), ένα μετατροπέα ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (σχεδιασμένο γύρω από το IC2) και από έναν ολοκληρωμένο ενισχυτή ισχύος ακουστικών συχνοτήτων βασισμένο στο LM386 (IC3). Ο μετατροπέας χρησιμοποιεί ένα

εξωτερικό δικτύωμα R-2R βασισμένο σε αντιστάσεις συνηθισμένων τιμών. Η πρωτοτυπία της σχεδίασης βρίσκεται στον τρόπο που έχουν αξιοποιηθεί οι ακίδες της θύρας RB0-RB7, έτσι ώστε τα σήματά της να δημιουργούν έναν διαυλο δεδομένων. Αν ρίξετε μια περισσότερο επισταμένη ματιά στο κύκλωμα, θα διαπιστώσετε πως πάνω στον διαυλο αυτό συνδέονται η οθόνη LCD, ο καταχωρητής 74HC574 (IC2) που σχηματίζει τον μετατροπέα, αλλά και οι διακόπτες που συνθέτουν το στοιχειώδες πληκτρολόγιο της κατασκευής. Φυσικά, για να μην 'μπερδεύονται' τα δεδομένα που κινούνται μέσα στον διαυλο, πρέπει κάθε φορά που γίνεται μετάδοση πληροφορίας, να είναι ενεργή μόνο μία από αυτές τις τρεις περιφερειακές μονάδες. Οι δύο πρώτες μονάδες διαθέτουν εισόδους επιλογής (LCD_E, DAC_E), αντίθετα από την τρίτη (πληκτρολόγιο) που στερείται μιας ανάλογης ακίδας. Και εδώ όμως βρήκαμε τη λύση. Αντί οι έξι διακόπτες να συνδέονται άμεσα στην ακίδα RA4 (KBE)

του μικροελεγκτή, καταλήγουν σε αυτήν μέσω των διόδων D1-D6. Ο ρόλος των διόδων είναι διπλός. Κατά πρώτον εξασφαλίζουν ότι, στην περίπτωση που πιεστούν ταυτόχρονα δύο πλήκτρα, αποκλείεται να βραχυκυκλωθούν μεταξύ τους οι γραμμές του μικροελεγκτή που καταλήγουν σε αυτά. Κατά δεύτερο λόγο, όταν η γραμμή KBE οδηγηθεί σε υψηλή στάθμη, το πληκτρολόγιο αδρανοποιείται, αφήνοντας τον μικροελεγκτή να επικοινωνήσει με κάποια από τις δύο άλλες περιφερειακές μονάδες. Η γραμμή KBE δηλαδή, αποτελεί το σήμα επιλογής του πληκτρολογίου. Το μεγαφώνο, που συνδέεται στην έξοδο του ενισχυτή, έχει και αυτό επίσης μεγάλη σημασία. Προσπαθώντας να βρούμε το καλύτερο, δοκιμάσαμε αρκετά, για να καταλήξουμε στο συμπέρασμα πως ακόμα και αυτά που ανήκαν στον ίδιο τύπο παρουσίαζαν διαφορές μεταξύ τους. Οι διαφορές εντοπιζόνταν τόσο στην ποιότητα όσο και στην ευαισθησία. Θα περίμενε κάποιος οι αδυναμίες τους να γίνονταν περισσό-



Σχ. 2. Το τυπωμένο κύκλωμα και η τοποθέτηση των υλικών (η πλακέτα διατίθεται από τα γραφεία του περιοδικού).

τερο φανερός στη λειτουργία του διαπασών, εκεί όπου παράγονται καθαροί ημιτονοειδείς ήχοι, αλλά τα γεγονότα απέδειξαν το αντίθετο. Υπήρχαν μεγάφωνα που σε κάθε κτύπο 'έφτιαχναν' έναν ξερό κρότο, ενώ κάποια άλλα ένα σύντομο μαλακό κτύπημα. Για τους παραπάνω λόγους, σας προτείνουμε να δοκιμάσετε όσα περισσότερα μεγάφωνα μπορείτε, για να κρατήσετε τελικά εκείνο που είναι το πλέον ταιριαστό. Υπάρχει φυσικά και μια άλλη λύση, που θα εξηγητηθεί πιο πολύ τους περίοικους. Αξιοποιήστε την έξοδο ακουστικών (K2) που υποστηρίζει η κατασκευή. Τα ακουστικά είναι συνήθως ποιοτικότερα και συνάμα περισσότερο διακριτικά. Ένα ακόμα σημείο, που αξίζει να συζητήσουμε, είναι το φίλτρο διέλευσης χαμηλών, που ακολουθεί τον μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό. Σχηματίζεται από τα C4, R3, P2 και C5 και έχει σαν σκοπό να εξομαλύνει τις κοφτές μεταβολές στάθμης που υφίστανται στην έξοδο του μετατροπέα. Όπως

αντιλαμβάνεστε, η συνεισφορά του στην απαιτούμενη εργασία κάθε άλλο παρά σαν ουσιαστική μπορεί να θεωρηθεί. Αν πραγματικά θέλαμε να έπαιζε κάποιο σημαντικότερο ρόλο, θα έπρεπε να το είχαμε εξοπλίσει με πολύ περισσότερα εξαρτήματα. Παρ' όλα αυτά αποδεικνύεται επαρκές, ενώ από την άλλη μεριά αλλοιώνει ελάχιστα τους κτύπους, όταν η κατασκευή εργάζεται σαν μετρονόμος. Στη λειτουργία αυτή το μεγάφωνο πρέπει να οδηγείται από μια σύντομη ακολουθία ορθογώνιων παλμών (τριών ή τεσσάρων). Μόνο έτσι καταφέρνει να πάλλεται ομαλά, προσομοιώνοντας τον κτύπο του μηχανικού μετρονόμου. Για να γίνει αυτό όμως, πρέπει οι παλμοί να είναι 'κοφτοί', κάτι που με τη σειρά του προϋποθέτει υψηλό ποσοστό αρμονικών. Το φίλτρο που χρησιμοποιείται αποτελεί τη χρυσή τομή στις απαιτήσεις των δύο διαφορετικών λειτουργιών. Αφήνει να περάσουν λίγες αρμονικές όταν η κατασκευή εργάζεται σαν διαπασών και αρκε-

τές όταν εργάζεται σαν μετρονόμος. Ο σταθεροποιητής τάσης 7805 (IC4) υποβιβάζει την τάση της μπαταρίας στα +5 V.

Περιγραφή προγράμματος

Οι επιμέρους λειτουργίες του προγράμματος, που φιλοξενείται στο εσωτερικό του PIC16F84, είναι σχετικά λίγες και υλοποιούνται εύκολα. Μπορείτε να το προμηθευτείτε σε μορφή δισκέτας (κατόπιν παραγγελίας) από τα γραφεία του περιοδικού (κωδικός 000198-11) ή να το 'κατεβάσετε' δωρεάν από τη Δικτυακή τοποθεσία του Ελέκτορ (www.elektor-electronics.co.uk).

Λειτουργία Μετρονόμου

Με την εκκίνηση του συστήματος τοποθετούνται αι όλες οι απαραίτητες μεταβλητές και μετρητές, ενώ ταυτόχρονα εμφανίζεται για ένα δευτερόλεπτο ένα μήνυμα καλωσορίσματος. Αμέ-

Κατάλογος υλικών

Αντιστάσεις:

R1 = 1KΩ

R2 = 470Ω

R3 = 47KΩ

R4 = 10Ω

R5-R12 = 20KΩ 1%

R13-R20 = 10KΩ 1%

P1 = 10KΩ ρυθμιστικό

P2 = 10KΩ λογαριθμικό ποτενσιόμετρο

Πυκνωτές:

C1 = 100nF

C2,C3 = 22pF

C4 = 47nF

C5 = 4,7nF

C6 = 100μF 16V κατακόρυφος

C7,C8 = 10nF

C9 = 470μF 16V κατακόρυφος

Ημιαγωγοί:

D1-D6 = 1N4148

D7 = κόκκινο LED υψηλής απόδοσης

IC1 = PIC16F84-04/P, προγρ/νο

κωδικός παραγγελίας 000198-41

IC2 = 74HC574

IC3 = LM386

IC4 = 7805

Διάφορα:

S1-S6 = πιεστικοί διακόπτες π.χ.

CTL4 με καπάκι D6K0 της Multimec

K2 = υποδοχή τζακ ακουστικών 6,3 mm για τυπωμένο

Οθόνη LCD δύο γραμμών / 16 χαρακτήρων π.χ. PCF1602

Κλιπ μπαταρίας τύπου PP3 (9 V)

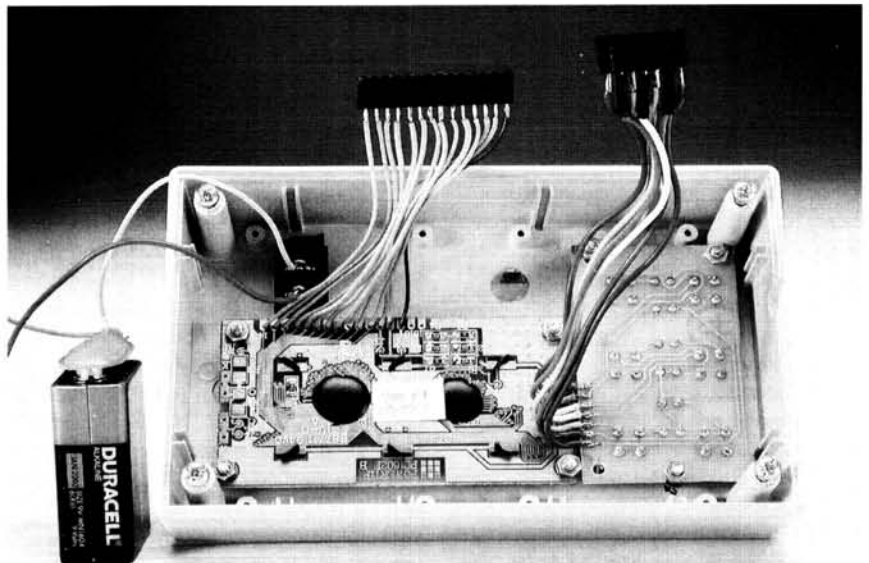
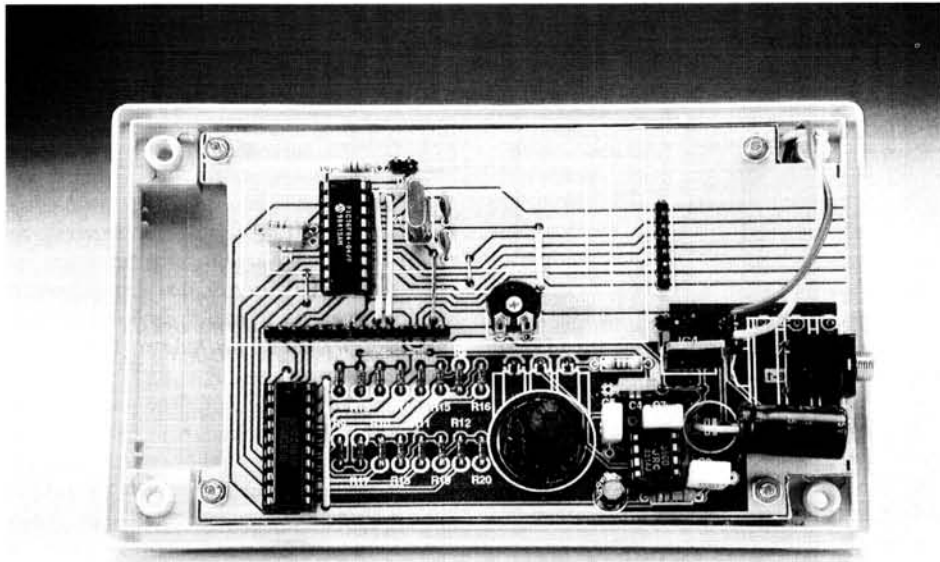
Κουτί διαστάσεων 145 x 90 x 45 mm (Retex)

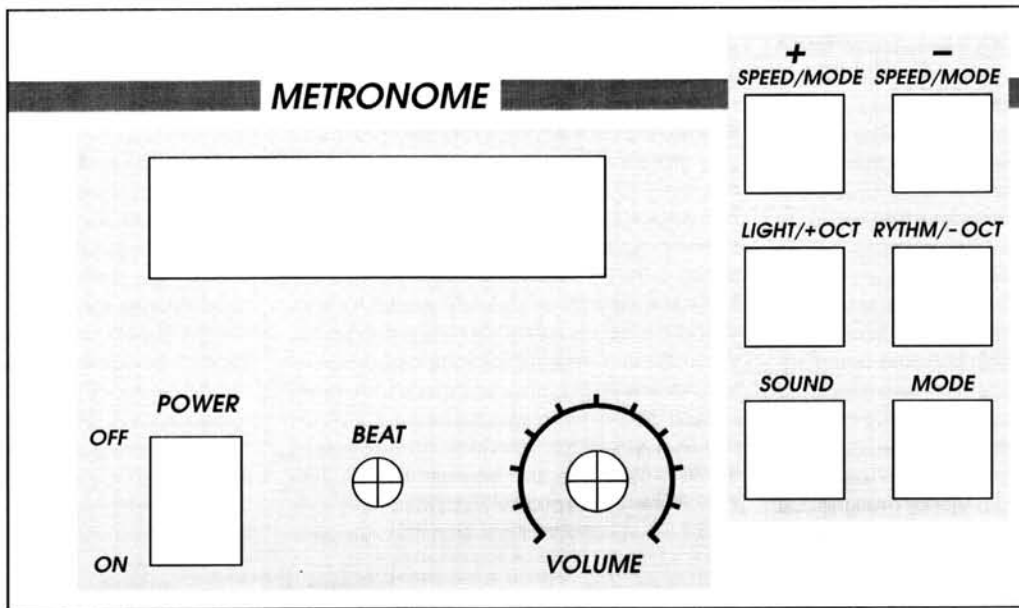
Τυπωμένο κύκλωμα,

κωδικός παραγγελίας 000198-1

Λογισμικό σε δισκέτα, κωδικός

παραγγελίας 000198-11





Σχ. 3. Προτεινόμενη πρόσοψη (φυσικό μέγεθος).

000198 - F

ως μετά, το πρόγραμμα εισέρχεται στον βασικό βρόχο περιμένοντας την πίεση κάποιου πλήκτρου. Ο βρόχος φιλοξενεί εντολές που πρέπει να εκτελούν (ψευδο)ταυτόχρονα τέσσερις διαφορετικές υπολειτουργίες: 1) να παράγουν τους χαρακτηριστικούς κτύπους του μετρονόμου ανάβοντας ταυτόχρονα και το ενδεικτικό LED, 2) να ενημερώνουν τα μηνύματα της οθόνης LCD, 3) να σαρώνουν το πληκτρολόγιο και να εκτελούν την υπορουτίνα που σχετίζεται με το πιεσμένο πλήκτρο (αν κάποιο από αυτά έχει πιεσθεί) και 4) να ενημερώνουν τους μετρητές χρόνου που σχετίζονται με την παραγωγή των κτύπων. Η τελευταία υπολειτουργία είναι και η πλέον σημαντική για το μετρονόμο, αφού και το μικρότερο σφάλμα είναι ικανό να αλλάξει το ρυθμό που έχει οριστεί. Οι υπόλοιπες τρεις αποδεικνύονται λιγότερο σημαντικές, σε ότι αφορά στο χρόνο που θα εκτελεστούν. Καθυστερήση μερικών msec δεν γίνεται καθόλου αντιληπτή από τον χρήστη της κατασκευής και φυσικά ουδόλως επηρεάζει τη συνολική λειτουργία της. Όλα τα παραπάνω γίνονται δυνατά με τη χρήση του εσωτερικού χρονιστή Timer0 του PIC16F84. Ο χρονιστής αυτός παράγει συνεχώς σήματα διακοπής κάθε 256 msec δίνοντας την καλύτερη δυνατή αίσθηση του χρόνου. Η υπορουτίνα διαχείρισης σημάτων διακοπής αναλαμβάνει να ενημερώσει ένα σύνολο μετρητών και φυσικά να ελέγξει αν πρέπει ή όχι να παραχθεί ένας καινούργιος κτύπος. Στην περίπτωση που πρέπει, θέτει σε υψηλή στάθμη ένα ψηφίο-σημεία υπολοίπου στο επίπεδο του λογισμικού. Αμέσως μετά τον τερματισμό της ρουτίνας εξυπηρέτησης, ο έλεγχος του προγράμματος επιστρέφει στο βασικό βρόχο, για να εκτελεστούν οι εντολές που σχετίζονται με τις υπόλοιπες υπολειτουργίες.

Λειτουργία Διαπασών

Η λειτουργία αυτή 'κουράζει' λιγότερο τον

μικροελεγκτή, αφού αντί για τέσσερις υπολειτουργίες, τώρα καλείται να ανταποκριθεί σε δύο. Η πρώτη έχει να κάνει με την παραγωγή αυτής καθ' αυτής της κυματομορφής που οδηγείται στο μεγάφωνο, ενώ η δεύτερη με τη διαχείριση του πληκτρολογίου. Η τεχνική, που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία των ημιτονοειδών περιόδων, δεν είναι άλλη από την γνωστή DDS (Direct Digital Synthesis, Άμεση Ψηφιακή Σύνθεση). Σύμφωνα με αυτήν ένας μετρητής (συσσωρευτής φάσης) 'δείχνει' κάθε φορά την τιμή της περιβάλλουσας που αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη φασική γωνία. Η τιμή αυτή οδηγείται κατόπιν στον μετατροπέα ψηφιακού σήματος σε αναλογικό. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, ο μετρητής αυτός αποτελείται από 16 ψηφία και υλοποιείται στο επίπεδο του λογισμικού. Μέσα στο πρόγραμμα αναφέρεται σαν nPhase. Λόγω της αρχιτεκτονικής των 8 ψηφίων του μικροελεγκτή, είναι χωρισμένοι σε δύο μέρη: τον nPhaseH και τον nPhaseL. Σε κάθε ανακύκλωση του βρόχου προστίθεται στην ήδη υπάρχουσα τιμή του μετρητή, η τιμή της σταθεράς nPhaseInc. Οι ποσότητες nPhase και nPhaseInc μπορούν να θεωρηθούν ότι αποτελούν το ακέραιο (i) και το κλασματικό μέρος (f) ενός πραγματικού αριθμού (i,f). Το ακέραιο μέρος του σχηματίζει έναν δείκτη, ο οποίος δείχνει σε εκείνη τη θέση μνήμης που βρίσκεται η τρέχουσα τιμή της περιβάλλουσας της παραγόμενης κυματομορφής. Η τιμή αυτή οδηγείται στον μετατροπέα. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, ο βασικός βρόχος είναι υπεύθυνος για δύο υπολειτουργίες. Η μία από αυτές έχει να κάνει με την υποστήριξη του πληκτρολογίου. Πιο συγκεκριμένα, οι εντολές που περιλαμβάνει ελέγχουν το αν έχει πιεσθεί κάποιο πλήκτρο. Αν πράγματι έχει συμβεί κάτι τέτοιο, καλείται μια υπορουτίνα εντοπισμού του, που ενδεχομένως εμποδίζει την παραγωγή της ημιτονοειδούς κυματομορφής. Η καθυστέρηση στη δημιουργία της

κυματομορφής είναι οίγουρα παράγοντας παραμόρφωσης, στην πράξη όμως δεν προκαλεί κανένα αντιληπτό αποτέλεσμα. Αιτία γι' αυτό αποτελεί η εξαιρετικά υψηλή συχνότητα (>20 KHz) παροχής των δειγμάτων που χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση. Εναλλακτικά θα μπορούσε η ρουτίνα εντοπισμού πιεσμένου πλήκτρου να καλείται σαν υπορουτίνα εξυπηρέτησης διακοπής, αφού οι ακίδες RB0 έως RB3 είναι σε θέση να προκαλέσουν σήματα διακοπής. Αποφεύχθηκε όμως μια τέτοια προσέγγιση, πρώτον γιατί τα πλήκτρα είναι έξι ενώ οι διαθέσιμες ακίδες τέσσερις και δεύτερον γιατί η θύρα RB έχει πολλαπλό χαρακτήρα (δικειπεριώνει πολλές λειτουργίες). Το κατά πόσο θα αυξάνεται η φάση της παραγόμενης κυματομορφής, κάθε φορά που πρέπει να ενημερωθεί ο μετατροπέας, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Αύξηση φάσης} = 256 \times f_{\text{ζητούμενη}} \times T_{\text{δειγματοληψίας}}$$

Ο αριθμός 256 έχει διορθωτικό χαρακτήρα, προσδιορίζοντας το σύνολο των δειγμάτων που αντιστοιχούν σε μια ολόκληρη περίοδο (γωνία φάσης 2π ακτινίων). Επειδή στη συγκεκριμένη εφαρμογή ο συσσωρευτής φάσης σχηματίζεται από 16 δυαδικά ψηφία, ο σταθερός αριθμός της προηγούμενης σχέσης παίρνει τιμή ίση με 65536. Θεωρώντας επίσης δεδομένο ότι η συχνότητα δειγματοληψίας είναι ίση με 25 KHz, η περίοδος δειγματοληψίας (Τδειγματοληψίας) είναι ίση με 40 msec. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η προηγούμενη σχέση μετασχηματίζεται στην:

$$\text{Αύξηση φάσης} = (\text{int})(65536,0 \times 40,0e-6 \times f_{\text{ζητούμενη}})$$

Θεωρώντας σαν μεταβλητή την τιμή fζητούμενη υπολογίσαμε, με τη βοήθεια του προγράμ-

ματος PHASETBL.C, την αύξηση φάσης για κάθε ζητούμενη συχνότητα. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών καταχωρήθηκαν αυτόματα στο αρχείο PTBL.INC που πήραμε σαν έξοδο από το πρόγραμμα εφαρμογής PHASETBL.EXE. Ο πίνακας, που σχημάτισαν τα δεδομένα εξόδου, επισυνάφθηκε στο πηγαίο πρόγραμμα του μικροελεγκτή δημιουργώντας τον πίνακα φάσεων. Στην πραγματικότητα ο πίνακας φάσεων δεν είναι ένας, αλλά δύο: ο πρώτος αναφέρεται στο 'equal temperament tuning mode' και ο δεύτερος στο 'tuned by fifths'. Από τη στιγμή που είναι γνωστή η μεταβολή της φάσης για κάθε επιθυμητή συχνότητα, το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της στιγμιαίας τιμής της περιβάλλουσας που αντιστοιχεί σε αυτήν. Και εδώ προτιμήσαμε να χρησιμοποιήσουμε έναν πίνακα τιμών καταχωρημένο στη μνήμη του μικροελεγκτή. Για κάθε μια τιμή εισόδου αντιστοιχήσαμε έναν οκταψήφιο δυαδικό αριθμό (τιμή από 00H έως FFH). Οι τιμές του πίνακα έχουν κανονικοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζουν μια ημιτονοειδή κυματομορφή με μέγιστη και ελάχιστη τιμή ίση με +1 και -1 αντίστοιχα. Κάτω από κανονικές συνθήκες ο πίνακας αυτός θα καταλάμβανε 256 θέσεις. Λόγω όμως της συμμετρίας της ημιτονοειδούς συνάρτησης, περιοριστήκαμε στις 64 περιγράφοντας στην πραγματικότητα μόνο τις 90° μιας ολόκληρης περιόδου. Με αυτόν τον τρόπο κάναμε αρκετή οικονομία στη μνήμη. Οι τιμές, που είναι αποθηκευμένες σε κάθε μια θέση του πίνακα, είναι οκταψήφιος μεταφέροντας στο πιο σημαντικό ψηφίο πληροφορία προσδιορισμού αρνητικής ή θετικής ημιπεριόδου. Η απόλυτη τιμή της περιβάλλουσας προσδιορίζεται από τα υπόλοιπα επτά ψηφία. Οι τιμές που φιλοξενούνται στον πίνακα υπολογίστηκαν από τη σχέση:

$$127 * \sin(\text{phase} * 2 * \pi / 256)$$

όπου η μεταβλητή phase παίρνει τιμές από 0

έως 255. Για να γλιτώσουμε τον χώρο των κελών πράξεων, φτιάξαμε το πρόγραμμα SINE-TBL.C, το οποίο υπολόγισε για λογαριασμό μας όλες τις τιμές που χρειαζόνταν. Το προϊόν της δουλειάς του μας το έδωσε στο αρχείο STBL.INC, το οποίο επισυνάφθηκε και αυτό στον πηγαίο κώδικα του μικροελεγκτή. Ας επιστρέψουμε όμως στην περιγραφή του προγράμματος. Όταν η συσκευή εργάζεται σαν διαπασών, ο χρονιστής παύει να παράγει σήματα διακοπής. Αφού γίνουν ορισμένες αρχικές τοποθετήσεις, ο μικροελεγκτής οδηγείται σε έναν βρόχο, ο οποίος οφείλει να υποστηρίξει κατά σειρά τις παρακάτω τέσσερις δραστηριότητες:

Ανανέωση του μετρητή φάσης (διάρκεια 6 msec)

Υπολογισμός της τρέχουσας τιμής της κυματομορφής με τη βοήθεια του ανάλογου πίνακα (διάρκεια 14 msec)

Αποστολή της τιμής στο μετατροπέα (διάρκεια 5 msec)

Έλεγχος της πίεσης κάποιου πλήκτρου (διάρκεια 15 msec). Αν δεν έχει πιεσθεί κανένα πλήκτρο επαναλαμβάνεται ο βρόχος. Στην περίπτωση που το πληκτρολόγιο βρίσκεται στην κατάσταση ηρεμίας, ο συνολικός βρόχος διαρκεί ακριβώς 40 msec. Αυτό σημαίνει πως η συχνότητα με την οποία ανανεώνεται η ψηφιακή πληροφορία στις εισόδους του μετατροπέα είναι ίση με 25 KHz. Η τιμή αυτή κρίνεται επαρκής για τον σχηματισμό των ημιτονοειδών κυματομορφών που οδηγούνται στο μεγάφωνο. Ακόμα και για τον (υψηλότερο) τόνο B7, που έχει συχνότητα 8 KHz, αποδεικνύεται ότι δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα. Τέλος, η υψηλή συχνότητα των δειγμάτων κάνει περιττή τη χρήση ενός βαθυπερατού φίλτρου με κοφτή καμπύλη στην περιοχή της αποκοπής του. Τη στιγμή που πιέζεται κάποιο πλήκτρο, η ομαλή εναλλαγή των εντολών του βρόχου διακόπτεται, για να κληθεί η υπορουτίνα εξυπηρέτησης του πλήκτρου.

Κατασκευή

Το τυπωμένο κύκλωμα και η τοποθέτηση των υλικών φαίνονται στο σχ. 2. Δεν υπάρχει κανένα 'δύσκολο' σημείο, ενώ η κατασκευή δουλεύει αμέσως μόλις συναρμολογηθεί. Η μοναδική ρύθμιση που είναι απαραίτητο να γίνει, είναι αυτή που αφορά την αντίθεση της οθόνης LCD. Τα πλήκτρα μπορείτε να τα κολλήσετε ή να μην τα κολλήσετε πάνω στην πλακέτα. Αυτό θα εξαρτηθεί από τον τύπο του κουτιού που θα χρησιμοποιήσετε. Σε ότι αφορά στις αντιστάσεις, αν χρησιμοποιήσετε μεγάλων διαστάσεων θα πρέπει να τις τοποθετήσετε όρθιες. Αν βρείτε μικρές, τότε μπορείτε να τις κολλήσετε οριζόντια, πετυχαίνοντας ένα καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα. Ελέγξτε τον προσανατολισμό όλων των εξαρτημάτων που έχουν πολικότητα. Δώστε ιδιαίτερη προσοχή στις διόδους του πληκτρολογίου. Στη θέση της οθόνης μπορείτε να τοποθετήσετε οποιαδήποτε των 2 γραμμών / 16 χαρακτήρων που χρησιμοποιεί τον ελεγκτή HD44780 της Hitachi. Στην περίπτωση που διαλέξετε μια που διαθέτει εσωτερικό φωτισμό, μην παραλείψετε να συνδέσετε τις ακίδες που προορίζονται για αυτόν τον σκοπό στις γραμμές τροφοδοσίας. Η συχνότητα του κρυστάλλου μπορεί να ρυθμιστεί (σε πολύ στενά περιθώρια), αν αντικαταστήσουμε τον C2 ή τον C3 με ένα τρίμερ των 40 pF. Μια τέτοια επέμβαση έχει σαν αποτέλεσμα την τροποποίηση της συχνότητας των παραγόμενων τόνων. Μόνο όμως ένα ψηφιακό όργανο μπορεί να αντιληφθεί τις ανεπαίσθητες μεταβολές. Τέλος, στο σχ. 3 βλέπετε μια πρόσοψη που φτιάξαμε για την πρωτότυπη κατασκευή. Μπορείτε να την χρησιμοποιήσετε ως έχει ή να βασισθείτε σε αυτήν για να φτιάξετε τη δική σας. (Δεν προσφέρεται από τα γραφεία του περιοδικού).

Λειτουργία

Μόλις θέσετε σε λειτουργία την κατασκευή, θα δείτε στην οθόνη για ένα δευτερόλεπτο περίπου το μήνυμα καλωσορίσματος. Αμέσως μετά, ο μικροελεγκτής επιλέγει αυτόματα τη λειτουργία του μετρονόμου ορίζοντας ρυθμό 120 κτύπων ανά λεπτό. Ο χρήστης μπορεί τότε να επέμβει με τα πλήκτρα τροποποιώντας την αρχική ρύθμιση. Η σημασία των πλήκτρων απομνημονεύεται εύκολα μετά από χρήση μερικών ωρών. Μπορείτε όμως να κολλήσετε μικρές ετικέτες πάνω σε αυτά, που θα σας υπενθυμίζουν τη σημασία τους. Προσέξτε όμως να σημειώσετε σε κάθε μία δύο διαφορετικές λειτουργίες, αφού η κατασκευή συμπεριφέρεται με δύο τρόπους (μετρονόμος και διαπασών). Η σημασία των πλήκτρων στους δύο τρόπους λειτουργίας σημειώνεται στον Πίνακα 1 (μετρονόμος) και στον Πίνακα 2 (διαπασών). (000198-1)

Πίνακας 1. Η σημασία των πλήκτρων στη λειτουργία του μετρονόμου

Πλήκτρο	Επεξήγηση
+	Αύξηση ρυθμού (bpm). Μέγιστοι κτύποι ανα λεπτό 240 bpm
-	Μείωση ρυθμού. Ελάχιστη τιμή τα 40 bpm
Light / -Oct	Θέτει εντός / εκτός λειτουργίας το LED
Rhythm/ +Oct	Επιλέγει κυκλικά τους ρυθμούς: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 5/4, 7/4, 8/4
Sound	Θέτει εντός / εκτός λειτουργίας τη βαθμίδα ήχου
Mode	Αλλάζει τη λειτουργία σε διαπασών (μουσική κλίμακα equal temperament)

Πίνακας 2. Η σημασία των πλήκτρων στη λειτουργία του διαπασών

Πλήκτρο	Επεξήγηση
+	Αύξηση συχνότητας παραγόμενου τόνου. Ο μέγιστος είναι ο B7
-	Μείωση τόνου. Ο ελάχιστος είναι ο C2
Light /Oct	Μείωση οκτάβας (αν π.χ. ο τρέχον τόνος είναι ο G4, θα γίνει G3)
Rhythm/ +Oct	Αύξηση οκτάβας
Sound	Θέτει εντός / εκτός λειτουργίας τη βαθμίδα ήχου
Mode	Αλλάζει τη μουσική κλίμακα από equal temperament σε fifths και στη συνέχεια σε λειτουργία μετρονόμου