

Το GameBoy ως ηλεκτροκαρδιογράφος



Δεν είναι λίγοι οι αναγνώστες μας που πάντα ήθελαν να φτιάξουν το δικό τους ηλεκτροκαρδιογράφο. Βέβαια, έχοντας γνώση του πόσο δύσκολη είναι η κατασκευή του, το ξέχνουσαν αμέσως (...) αναζητώντας κάτι άλλο για την ενασχόλησή τους. Υπάρχει όμως και μια άλλη μερίδα ενδιαφερόμενων, για τους οποίους μια τέτοια μονάδα αντιπροσωπεύει ένα κρίσιμο και απαραίτητο όργανο για την παρακολούθηση της υγείας τους. Οι τελευταίοι θα ήθελαν σίγουρα να παραδέτουν στο γιατρό τους τα καρδιογραφήματα που πήραν το πρωί, το μεσημέρι ή το βράδυ!

Η ιδέα της χρήσης της δημοφιλούς κονσόλας GameBoy έλκει τις ...ρίζες της από τον ψηφιακό παλμογράφο [1] που δημοσιεύθηκε στο Ελέκτορ πριν από έξι χρόνια γνωρίζοντας μεγάλη επιτυχία. Η συσκευή εκείνη κατάφερε με λιγοστά πρόσθετα να μετατρέπει την κονσόλα σε ένα παλμογράφο με ικανότητα αποθήκευσης κυματομορφών, κάτι ιδιαίτερα χρήσιμο για τους ηλεκτρονικούς. Και μόνο για την ιδέα (αλλά και για την μετέπειτα βοήθειά του) αξίζει ένα μεγάλο 'ευχαριστώ' στον εμπνευστή - σχεδιαστή της Steve Willis.

Ο ηλεκτροκαρδιογράφος που περιγράφουμε στις επόμενες σελίδες χρησιμοποιεί τρία ηλεκτρόδια. Τα δύο από αυτά προορίζονται για τους καρπούς ενώ το τελευταίο τοποθετείται στο αριστερό πόδι. Το πρόσθετο ηλεκτρονικό κύκλωμα συναρμολογείται πάνω σε μια μικρή

πλακέτα που βυσματώνεται γλιστρώντας στο πίσω μέρος του GameBoy. Κύρια εργασία της είναι η δειγματοληψία των ασθενικών ηλεκτρικών κυματομορφών της καρδιάς, η επεξεργασία τους και η κατοπινή απεικόνισή τους με μορφή κυλιόμενου διαγράμματος στην οθόνη LCD της κονσόλας (ρίξτε μια ματιά στις δημοσιευόμενες εικόνες).

Σε ότι αφορά τη λειτουργία του, ο ηλεκτροκαρδιογράφος μας εργάζεται σύμφωνα με τις τακτικές που είχε υποδείξει ο δημιουργός της πρώτης συσκευής αυτού του τύπου: ο M. Einthoven (βλ. σχετικό ένθετο). Αν και διαθέτει τρία ηλεκτρόδια, χρησιμοποιεί μόνο τα δύο αξιοποιώντας το τρίτο για τον καθορισμό της μηδενικής στάθμης των άλλων δύο. Και τα τρία μεταφέρουν μονοπολικά σήματα. Όσο και αν η κατασκευή φαίνεται απλή, τα διαγράμματα που πα-

ρέχει είναι εξαιρετικά καλής ποιότητας και αναντίρρητα αξιοποιήσιμα από έναν καρδιολόγο.

Σε ότι αφορά τη χρησιμότητά του, υπερκαλύπτει το λόγο της σχεδίασής του που δεν ήταν άλλος από την παρακολούθηση ασθενών που υπόκεινται σε φαρμακευτική αγωγή για τη θεραπεία της ελονοσίας.

Για να μπορέσει ένας γιατρός να εκτιμήσει τη συμπεριφορά της καρδιάς ενός ασθενούς θα πρέπει η κατασκευή μας να μετράει το χρονικό διάστημα QT (βλ. σχ. 1) [2] το οποίο οφείλει να διατηρείται σε 'φυσιολογικά' επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα στο σχ. 1 βλέπουμε ένα ηλεκτροκαρδιογράφημα μιας υγιούς καρδιάς σε άμεση αντιστοίχιση με τους επιμέρους κύκλους της λειτουργίας της. Οι κύκλοι αυτοί είναι γνωστοί ως:

- Κύμα P - Κολπική σύσπαση: το αίμα

- που φθάνει από τις φλέβες ωθείται προς τις κοιλίες της καρδιάς.
- Ακολουθία QRS – Σύσπαση κοιλίων: το αίμα που βρίσκεται ήδη μέσα στις κοιλίες ωθείται προς τις αρτηρίες.
 - Και τα δύο αυτά κύματα είναι υπεύθυνα για το ρυθμικό 'ντουπ' – 'ντουπ' της καρδιάς μας.
 - Κύμα T – Επαναπόλωση των κοιλίων: Ο κοιλιακός μυς περνάει στην κατάσταση ηρεμίας.

Το ηλεκτρονικό μέρος

Μετά από αυτήν τη μικρή 'δόση' ιατρικής επιστήμης, καιρός να περάσουμε στα δικά μας που δεν είναι άλλα από τα ηλεκτρονικά! Όπως και με τον Ψηφιακό παλμογράφο (Ελέκτορ Νοεμβρίου και Δεκεμβρίου 2000) [1], έτσι και εδώ όλα τα ηλεκτρονικά κυκλώματα μαζί με το εξειδικευμένο λογισμικό (σε μνήμη Flash) 'στριμώχονται' πάνω σε

μια μικρή πλακέτα που βυσματώνεται στο συνδετήρα του GameBoy.

Τα αναλογικά ηλεκτρονικά κυκλώματα οφείλουν να ενισχύουν τους χαμηλού πλάτους παλμούς της καρδιάς που αναδεικνύουν τα δύο (από τα τρία συνολικά) ενεργά ηλεκτρόδια. Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούμε στην κατασκευή μας έχουν αποκτήσει τα ονόματά τους σύμφωνα με τα σημεία του σώματος στα οποία τοποθετούνται. Έτσι έχουμε το DI, το DII και το DIII (σχ. 2).

Το DI είναι το σημαντικότερο από όλα τα υπόλοιπα.

Λόγω της χαμηλής στάθμης από κο-

Χαρακτηριστικά

- Πλακέτα συμβατή με τις κονσόλες Nintendo GameBoy Classic, Pocket, Colour και Advance
- Μονοπολικές συνδέσεις με χρήση τριών ηλεκτροδίων
- Ευαισθησία: 1,6 mV (πλήρης κλίμακα)
- Απόρριψη κοινού σήματος: 100 dB
- Μνήμη κυματομορφής: 68 sec
- Κυλιόμενη απεικόνιση κυματομορφών
- Εύρος παραθύρου: 2,6 sec (λειτουργία καταγραφής / λήψης), 1, 3 ή 2,6 sec κατά τη διακοπή καταγραφής
- Ηχητική ένδειξη κτύπου καρδιάς
- Τροφοδοσία από μπαταρίες
- Αυτονομία: 2 ώρες περίπου

ρυφή σε κορυφή των ηλεκτρικών σημάτων που αναδεικνύουν στα άκρα τους (της τάξης του 1 mV), οι παραγόμενες τάσεις θα πρέπει να ενισχυθούν αρκετές φορές (περίπου 1000) προτού οδηγηθούν στον οκταψήφιο μετατροπέα Αναλογικού σήματος σε Ψηφιακό (A/D). Η συχνότητα δειγματοληψίας έχει οριστεί

Το ηλεκτροκαρδιογράφημα

Επειδή είναι αδύνατον να περιγράψουμε, έστω και περιληπτικά, μια κατασκευή σαν αυτήν χωρίς να έχουμε στοιχειώδεις ιατρικές γνώσεις, σπεύδουμε να πούμε μερικά πράγματα για την 'καρδιά' της πλακέτας μας αλλά και για τη ...δική μας.

Λίγη ιστορία...

Πριν από 100 χρόνια ο Willem Einthoven ανακάλυψε τη σχέση μεταξύ των καρδιακών μυϊκών συσπάσεων και των ηλεκτρικών σημάτων που αναπτύσσονται από αυτούς. Για την ανακάλυψη αυτή πήρε το βραβείο Νόμπελ το 1924.



Willem Einthoven: ο εφευρέτης του καρδιογράφου

...και λίγη βιολογία

Η καρδιά είναι ένας αυτόνομος μυς, δηλαδή ένας μυς που οι συσπάσεις του δεν ελέγχονται από τον εγκέφαλο. Ο 'κολπικός κόμβος' που βρίσκεται στο δεξιό κόλπο της καρδιάς διεγείρει τα νεύρα που ελέγχουν τους μύες της καρδιάς. Αυτές οι συσπάσεις (εκπολώσεις στην ιατρική ορολογία) αλλά και οι καταστάσεις χαλάρωσης (πολώσεις) επιτρέπουν στην καρδιά να συμπεριφέρεται σαν μια αντλία αίματος ικανή να μας δίνει ζωή. Κάθε μια σύσπαση προκαλείται από μια αλλαγή στην πολικότητα της τάσης που αναπτύσσεται σε κάθε μια πλευρά των κυτταρικών μεμβρανών.

Κατά τη διάρκεια των περιόδων χαλάρωσης τα ηλεκτρικά φορτία καταφέρνουν να αντισταθμιστούν προτού οι μύες διεγερθούν για άλλη μια φορά.

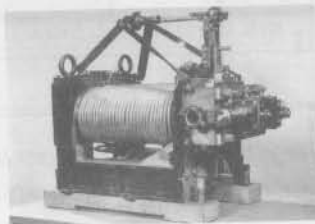
Οι ηλεκτρικές στάθμες που προκαλούνται από τις μεταβολές των φορτίων εμφανίζονται πάνω στο δέρμα. Από εκεί, με τη βοήθεια επιδερμικών ηλεκτροδίων μπορούν και να αξιολογηθούν. Σε αυτό άλλωστε συμβάλλει κατά πολύ η αγωγιμότητα του ίδιου του δέρματος.

Έχοντας τοποθετήσει τα ηλεκτρόδια στις κατάλληλες θέσεις, ένας καρδιολόγος μπορεί να συμπεράνει για το

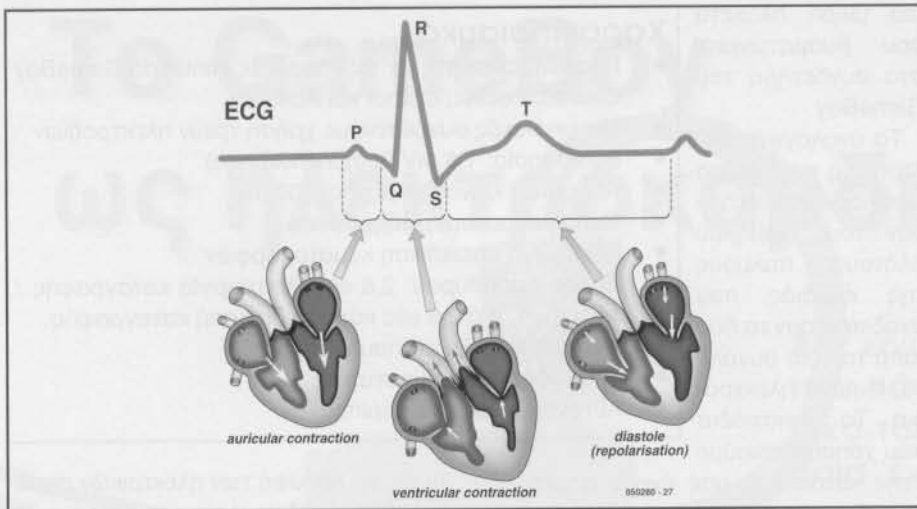


Η τεχνολογία έχει κάνει αρκετά άλματα από τη δεκαετία του '20 έως σήμερα. Οι ασθενείς εκείνης της εποχής ήταν υποχρεωμένοι να έχουν τα χέρια και τα πόδια τους βουτηγμένα σε λεκάνες με αλατόνερο.

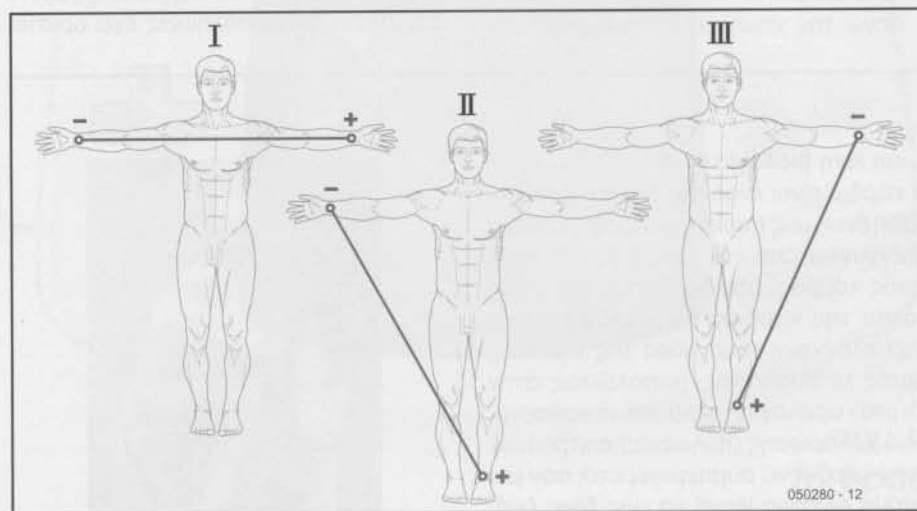
αν η καρδιά του ασθενούς εργάζεται σωστά ή όχι. Αρκεί απλώς να αναλύσει την ηλεκτρική δραστηριότητα που καταγράφει ο καρδιογράφος του.



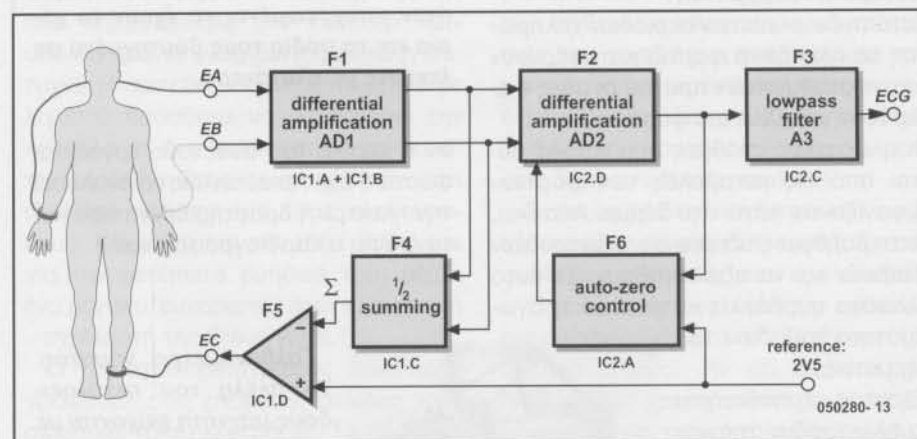
Γαλβανόμετρο νήματος. Τα σκέλη του πεταλοειδούς μαγνήτη ψύχονται με νερό που περνά μέσα από σωλήνα που τα περιβάλλει. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονταν η ψύξη τους



Σχ. 1. Σχέση μεταξύ της καταγραφόμενης ηλεκτρικής δραστηριότητας και των καρδιακών κύκλων.



Σχ. 2. Για την λήψη των ηλεκτρικών σημάτων χρησιμοποιούνται τρία ηλεκτρόδια.



Σχ. 3. Διάγραμμα βαθμίδων του αναλογικού μέρους του κυκλώματος.

στους 477,84 Hz, συχνότητα που κρίνεται επαρκής για τη διατήρηση όλων των φασματικών χαρακτηριστικών των καρδιακών σημάτων.

Στη συνέχεια οι τιμές των δειγμάτων οδηγούνται στον επεξεργαστή της κονσόλας ο οποίος, αφού τα αξιολογήσει, τα αποθηκεύει σε μια μνήμη RAM 8 KByte. Τέλος, ένα βοηθητικό πρόγραμμα τα μεταφέρει σε πραγματικό χρόνο στην οθόνη του GameBoy, απεικονίζοντάς τα με μορφή κυλιόμενου διαγράμματος.

Το αναλογικό μέρος

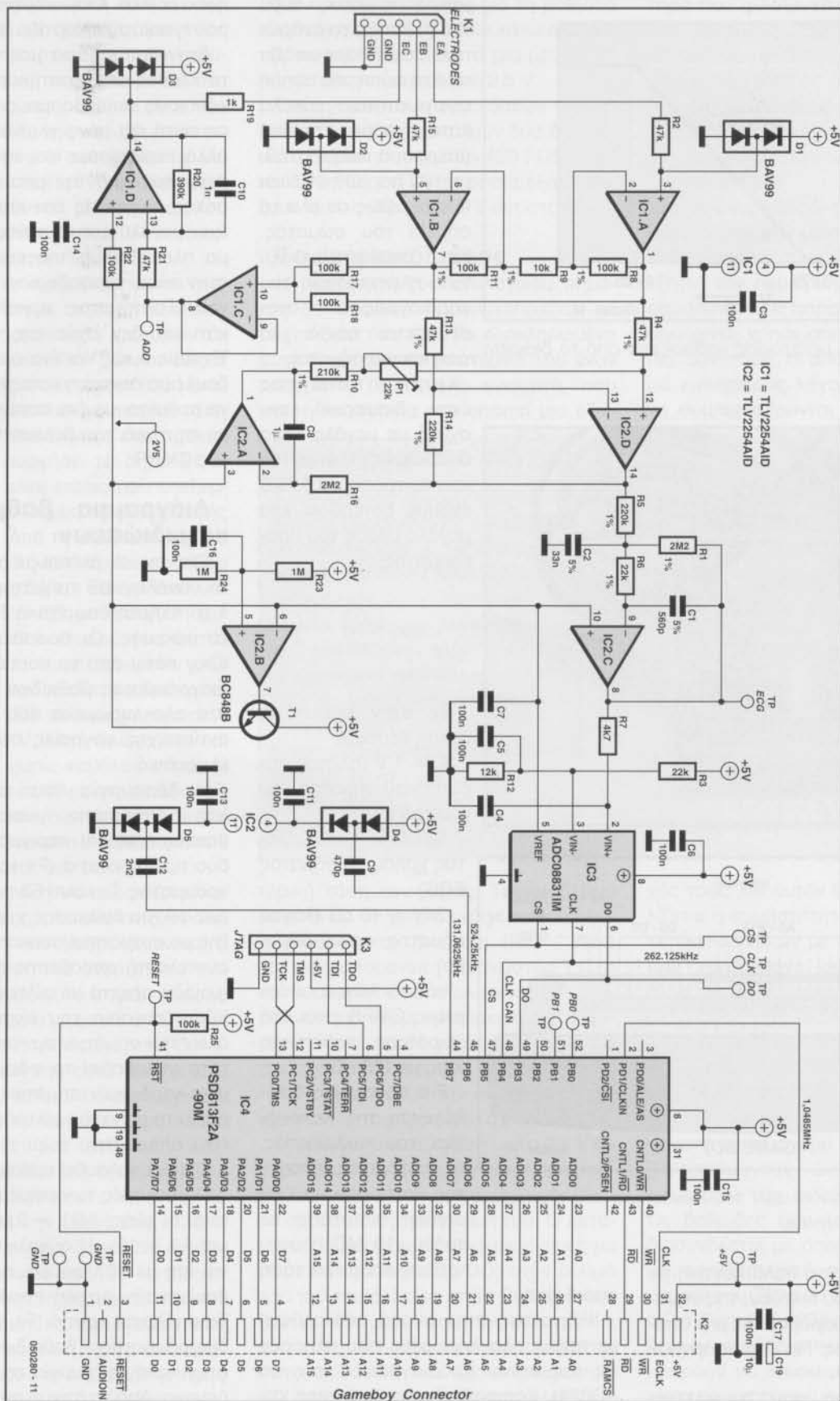
Όσοι έχουν ασχοληθεί με παρόμοιες εφαρμογές θα γνωρίζουν σίγουρα το πόσο δύσκολο είναι να ενισχυθούν και να μετατραπούν σε ψηφιακά τα σήματα της καρδιάς. Θα λέγαμε μάλιστα πως τα κυκλώματα που κάνουν μια τέτοια δουλειά αποτελούν πάντα μια 'πρόκληση' για τον επίδοξο σχεδιαστή, μιας που τα προβλήματα που πρέπει να ξεπεραστούν είναι πολλά και διαφορετικά.

Διαφορικός ενισχυτής

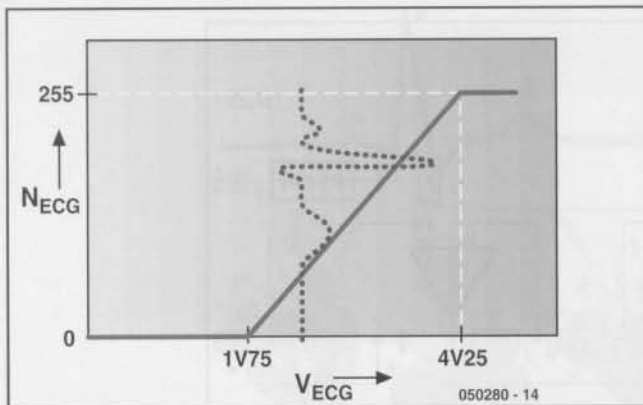
Η τιμή από κορυφή σε κορυφή του ηλεκτρικού σήματος που αναδεικνύεται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων είναι πολύ μικρή. Σε καμία περίπτωση δεν υπερβαίνει τα 2 mV.

Σε αυτό συμβάλλει αρνητικά ή ίδια η φύση του ανθρώπινου σώματος, αλλά και των καλωδίων που καταλήγουν στα ηλεκτρόδια. Τα τελευταία έχουν πάντα τη ...συνήθεια να 'αρπάζουν' με μεγάλη ευκολία όλα τα βιομηχανικά ηλεκτρικά παράσιτα εμφανιζοντάς τα στις εισόδους του ενισχυτή. Με απλά λόγια ακόμα και οι πιο απλές ηλεκτρικές συσκευές, μη εξαιρετέας και της ηλεκτρικής εγκατάστασης του σπιτιού μας, αποτελούν πηγές θορύβου για τον καρδιογράφο μας. Οι χωρητικές ζεύξεις, αν και έχουν πολύ μικρές τιμές, χειροτερεύουν ακόμα πιο πολύ τα πράγματα, επάγοντας στα καλώδια των ηλεκτροδίων τάσεις που φθάνουν έως και το 1 V. Ανεξάρτητα του αν η συχνότητά τους είναι 50 ή 60 Hz, η ζημιά που θα προκαλέσουν είναι αναμφισβήτητη μεγάλη.

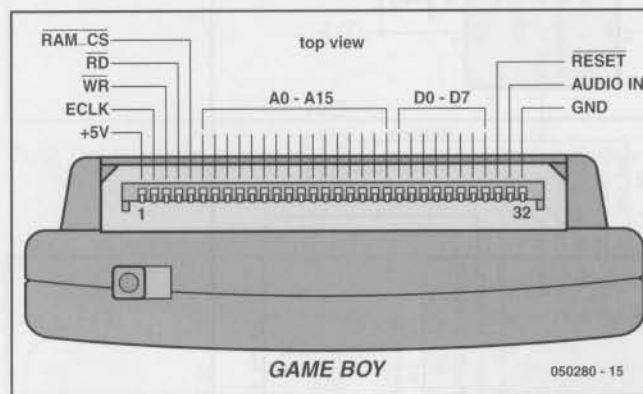
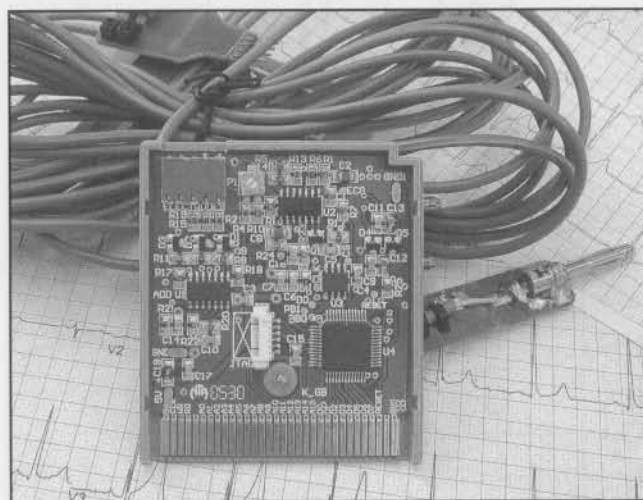
Με την πρώτη ματιά η ανάδειξη του χρήσιμου σήματος είναι μάλλον αδύνατη, μιας που η στάθμη του είναι έως και 1000 φορές μικρότερη από τη στάθμη των παρασιτικών σημάτων. Η λύση του φιλτραρίσματος, που είναι η πρώτη που έρχεται στο μυαλό, καλό είναι να εγκαταλειφθεί μιας που τα σήματα της καρ-



Σχ. 4. Το βάρος της δουλειάς πέφτει στη μνήμη Flash, τα κυκλώματα διασύνδεσης στο εσωτερικό του IC4, στο μετατροπέα A/D (IC3) και τους τελεστικούς ενισχυτές που ενισχύουν τα ασθενικά ηλεκτρικά σήματα. Στο GameBoy έχει ανατεθεί η επεξεργασία και η απεικόνιση.



Σχ. 5. Η συνάρτηση μεταφοράς καθορίζεται από το διαιρέτη R3/ R12.



Σχ. 6. Η σημασία των ακίδων του συνδετήρα του GameBoy, όπως φαίνεται από επάνω.

διάς έχουν συχνότητα πολύ κοντινή με αυτή του ηλεκτρικού δικτύου, της σημαντικότερης πηγής θορύβου. Ας μην απογοητευόμαστε όμως. Για όλα υπάρχουν λύσεις.

Μια παρατήρηση που διευκολύνει κατά πολύ τη λύση του παραπάνω προβλήματος έχει σχέση με την ίδια τη συχνότητα των παρασιτικών σημάτων. Λαμβάνοντας υπόψη πως τα 50 Hz έχουν

μήκος κύματος 6000 Km (!) και ότι το ανθρώπινο σώμα παρουσιάζει από τη φύση του υψηλή αγωγιμότητα, εύκολα καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η στάθμη των παρασίτων είναι ίδια ακριβώς σε όλα τα σημεία του σώματος. Κατά συνέπεια μεταξύ των ηλεκτροδίων του καρδιογράφου αναπτύσσεται πάντα μια τάση κοινού σήματος.

Χρησιμοποιώντας έναν διαφορικό ενισχυτή με μεγάλο λόγο απόρριψης σήματος κοινού τρόπου (CMRR) έχουμε ξεπεράσει ένα μεγάλο μέρος του προβλήματος.

$$CMRR \geq \left[\frac{S_p}{S_{ECG}} \right]_{dB} + \left[\frac{S}{N} \right]_{dB}$$

Αν στην παραπάνω σχέση θέσουμε

$S_p = 1 \text{ V}$ (πλάτος παρασιτικού σήματος κοινού τρόπου)

$SECG = 1 \text{ mV}$ (πλάτος χρήσιμου σήματος ECG)

$S/N = 40 \text{ dB}$ (λόγος σήματος προς θόρυβο)

τότε ο λόγος απόρριψης CMRR είναι στη χειρότερη περίπτωση ίσος με 100 dB

Για περαιτέρω διευκόλυνση της λειτουργίας του κυκλώματος, ο διαφορικός ενισχυτής θα πρέπει να έχει μεγάλη αντίσταση εισόδου (10 MΩ ή υψηλότερη) και μικρή τάση

απόκλισης.

Ψάχνοντας στην αγορά ανακαλύψαμε πολλά ολοκληρωμένα που πληρούν τις παραπάνω προδιαγραφές (π.χ. το AD624). Χαρακτηρίζονται από τους κατασκευαστές τους σαν ενισχυτές υψηλής απόδοσης, δεν χρειάζονται καμία απολύτως ρύθμιση, αλλά το ...κόστος τους είναι απαγορευτικό για το μέσο

ηλεκτρονικό. Αναμενόμενο, βέβαια, μιας που η ποιότητα κοστίζει πάντα.

Στην προσπάθειά μας να μειώσουμε το κόστος αναγκαστήκαμε να κάνουμε κάποιους συμβιβασμούς. Με την κίνηση αυτή όχι μόνο γλυτώσαμε χρήματα αλλά περιορίσαμε και την κατανάλωση ρεύματος από την μπαταρία της κονσόλας, κάνοντας τον καρδιογράφο να έχει μεγαλύτερη αυτονομία. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της επιλογής αφορά στην τάση τροφοδοσίας του επιλεγμένου εξαρτήματος: αρκείται στα +5 V κάτι που δεν ισχύει π.χ. για το AD624. Έχουμε όμως και ένα αρνητικό: για να δουλέψει σωστά η κατασκευή θα πρέπει να ρυθμίσουμε ένα ποτενσιόμετρο, που με τη σειρά του βελτιστοποιεί την τιμή του CMRR.

Διάγραμμα βαθμίδων και καλωδιώσεων

Στα σχ. 3 βλέπουμε το διάγραμμα του αναλογικού τμήματος ενώ στο σχ. 4 το πλήρες θεωρητικό διάγραμμα της κατασκευής. Οι προσδιορισμοί τύπου ICx,y κάτω από τα κουτιά του πρώτου διαγράμματος βαθμίδων παραπέμπουν στα ολοκληρωμένα που επιτελούν τις αντίστοιχες εργασίες στο πλήρες κυκλωματικό.

Η λειτουργία του ενισχυτή υψηλής απόρριψης κοινού σήματος (Instrumentation) περιγράφεται από τα δύο πρώτα κουτιά (F1 και F2) του διαγράμματος. Το κουτί F3 αντιπροσωπεύει ένα φίλτρο διέλευσης χαμηλών 2ης τάξης με συχνότητα αποκοπής 170 Hz και συντελεστή απόσβεσης m ίσο με 0,73 (μοιάζει αρκετά με φίλτρο Butterworth). Κύρια εργασία του είναι η απόρριψη όλων των σημάτων των οποίων η συχνότητα υπερβαίνει το φάσμα των χρησιμων καρδιακών σημάτων. Ταυτόχρονα, παίζει το ρόλο του φίλτρου anti-alias που είναι απαραίτητο 'ταίρι' του μετατροπέα A/D που ακολουθεί αμέσως μετά.

Ο απολαβές των επιμέρους βαθμίδων είναι οι εξής: AD1 = 21x, AD2 = 4,7x και AD3 = 10x. Η συνολική ενίσχυση είναι ίση με 987 φορές, τιμή που επιβεβαιώνει την αρχική προδιαγραφή μας. Τα υπόλοιπα κουτιά (F4, F5 και F6) του διαγράμματος βαθμίδων συντελούν στην καλή λειτουργία του ενισχυτή για όργανα. Από τη στιγμή που οι τελεστικοί ενισχυτές τροφοδοτούνται με τάση +5 V, η τάση ηρεμίας τους στις ακίδες τους οφείλει να είναι ίση με +2,5 V. Η τάση αυτή παράγεται εύκολα με τη βοήθεια

ενός απλού διαιρέτη (R23, R24) ο οποίος αναλαμβάνει να τροφοδοτήσει τους 'δεξιότερους' τελεστικούς του διαγράμματος. Για αυτούς που βρίσκονται στο αριστερό μέρος, τα πράγματα είναι λίγο πιο δύσκολα λόγω της υψηλής αντίστασης εισόδου τους. Η τελευταία, με κανένα τρόπο, δεν πρέπει να υποβιβαστεί. Το πρόβλημα λύνεται με τη χρήση του τρίτου ηλεκτροδίου (βλ. σχ. 3) και τα κυκλώματα των κουτιών F4 και F5.

Από το ίδιο το σχήμα προκύπτει πως η τάση Σ είναι ίση με το μισό του αθροίσματος των τάσεων που παρέχουν τα δύο βασικά ηλεκτρόδια EC και EB. Η τάση αυτή συγκρίνεται με την τάση αναφοράς των +2,5 V παράγοντας μια τάση σφάλματος, η οποία ενισχύεται προκειμένου να δημιουργήσει το σήμα ECG. Το σήμα αυτό είναι εκείνο που επεξεργάζεται κατόπιν ο μικροεπεξεργαστής του GameBoy. Από τη στιγμή που μέσα από τα ηλεκτρόδια δεν περνάει καθόλου ρεύμα, οι τάσεις EA και EB οφείλουν να είναι ίσες με την EC με απόκλιση μερικών mV το πολύ. Θεωρώντας ότι το ανθρώπινο σώμα συμπεριφέρεται σαν μια αντίσταση που κλείνει το βρόχο, οι τάσεις EA και EB τείνουν να προσεγγίσουν τα +2,5 V. Αυτό όμως ήταν και το ζητούμενο: χωρίς καθόλου σήμα, οι τάσεις ηρεμίας σε όλες τις εισόδους / εξόδους των ενισχυτών να διατηρούνται στα 2,5 V χωρίς κανένα υποβιβασμό των συνθέτων αντιστάσεων εισόδου.

Στο όλο όμως σκηνικό εμφανίζεται και ένας απρόσμενος ...επισκέπτης. Η διαφορετική φύση των ηλεκτροδίων και η διαφορετική φύση του ανθρώπινου σώματος δημιουργούν στο σημείο επαφής μια μικρή 'μπαταρία', η οποία αναδεικνύει μια παρασιτική ηλεκτρεγερτική δύναμη (EMF). Η τιμή της είναι πολύ μικρή, της τάξης των mV, αλλά είναι αρκετά ενοχλητική για το κύκλωμα μιας που ο ενισχυτής για όργανα αντί να την εξαλείφει (όπως θα θέλαμε) την ενισχύει!

Οι βαθμίδες των κουτιών F4 και F5 προσπαθούν να την μειώσουν, αλλά η απόκλιση, στα σημεία S1 και S2 αγγίζει το 1 V (διαφορικός τρόπος λειτουργίας). Για να αντισταθμίσουμε αυτήν την υπερβολική τάση καταφεύγουμε στις υπηρεσίες του κουτιού F6. Τα κυκλώματά του συγκρίνουν το σήμα μέσης τιμής S3 με την τάση των 2,5 V. Η τάση σφάλματος ολοκληρώνεται από το δικτύωμα R16 / C8 (σταθερά χρόνου: 2,2 sec) παρέχοντας τελικά το σήμα μηδενισμού (ZERO). Η τάση αυτή αποτελεί μια ηθε-

λημένη τάση απόκλισης για τη βαθμίδα ανάδειξης του S3, η οποία κάτω από αυτές τις συνθήκες αποκτά μια μέση τιμή που σταθεροποιείται στα 2,5 V.

Για τη διεύρυνση των τάσεων τροφοδοσίας του IC2 φροντίζουν δύο δικτύωματα διόδων / πυκνωτών (C9 / D5 / C11 και C12 / D5 / C13) τα οποία εξασφαλίζουν τάσεις -3 V και +8 V αντίστοιχα.

Το ψηφιακό μέρος

Η μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό πραγματοποιείται με τη βοήθεια του IC3. Το ολοκληρωμένο αυτό διαθέτει στο εσωτερικό του έναν πραγματικό διαφορικό ενισχυτή, που για τη λειτουργία του απαιτεί μια εξω-

Λίγα λόγια για το συγγραφέα

Ο συγγραφέας, Marcel Cremmel είναι καθηγητής Ηλεκτρολογίας (με ειδικευση στα ηλεκτρονικά) από το 1979, οπότε πήρε το αντίστοιχο κρατικό Γαλλικό δίπλωμα. Αμέσως μετά το πρώτο διορισμό του στο σχολείο μηχανικών Mahamedia στο Ραμπάτ του Μαρόκου όπου ήταν συνεργάτης σε ερευνητικό πρόγραμμα, μετατέθηκε το 1982 στο Louis Couffignal High School του Στρασβούργου.

Αν και η θέση που κατέχει τον θέλει να ασχολείται με θέματα γενικής ηλεκτρονικής, ο Marcell αρέσκεται περισσότερο σε εφαρμογές τηλεπικοινωνιών, βίντεο, μικροελεγκτών

τήρα που φιλοξενείται στο πίσω μέρος της κονσόλας. Στο συνδετήρα αυτόν καταλήγουν οι δίαυλοι του μικροεπεξεργαστή, που είναι οι:

- Δίαυλος Δεδομένων: D0 – D7
- Δίαυλος Διευθύνσεων: A0 – A15
- Δίαυλος Ελέγχου: ECLK, \WR, \RD και \RESET

Οι πρώτες κονσόλες GameBoy χρησιμοποιούσαν σαν μικροεπεξεργαστή τον (ξεπερασμένο πια) Z80, γεγονός που εξηγεί τον περιορισμένο αριθμών των σημάτων στους παραπάνω δίαυλους. Οι σημερινές χρησιμοποιούν άλλους πολύ πιο 'δυνατούς', οι οποίοι όμως για καθαρά εμπορικούς λόγους, εξακολουθούν να συμπεριφέρονται όπως ο προκάτο-

(MSP430 και PIC) και προγραμματιζόμενων ολοκληρωμένων (Altera). Εκτός από τα ηλεκτρονικά, η αμέσως επόμενη αδυναμία του είναι οι μοτοσικλέτες σε όλες τους τις παραλλαγές: ταξιδιάρικες (...), αγωνιστικές κλπ.

Ο προσωπικός του δικτυακός τόπος βρίσκεται στη διεύθυνση:

<http://electronique.marcel.free.fr/>



τερική τάση αναφοράς. Το πρόβλημα λύνεται με τη χρήση ενός (ακόμα) εξωτερικού ωμικού διαιρέτη (R23 / R24) και ενός απομονωτή (τρανζίστορ T1), ο συνδυασμός των οποίων αν και δεν αναδεικνύει μια θερμοκρασιακά αντισταθμισμένη τάση, αποδεικνύεται επαρκής για την παρούσα εφαρμογή. Ο διαιρέτης R3 / R12 προσδιορίζει την απαραίτητη συνάρτηση μεταφοράς (βλ. σχ. 5).

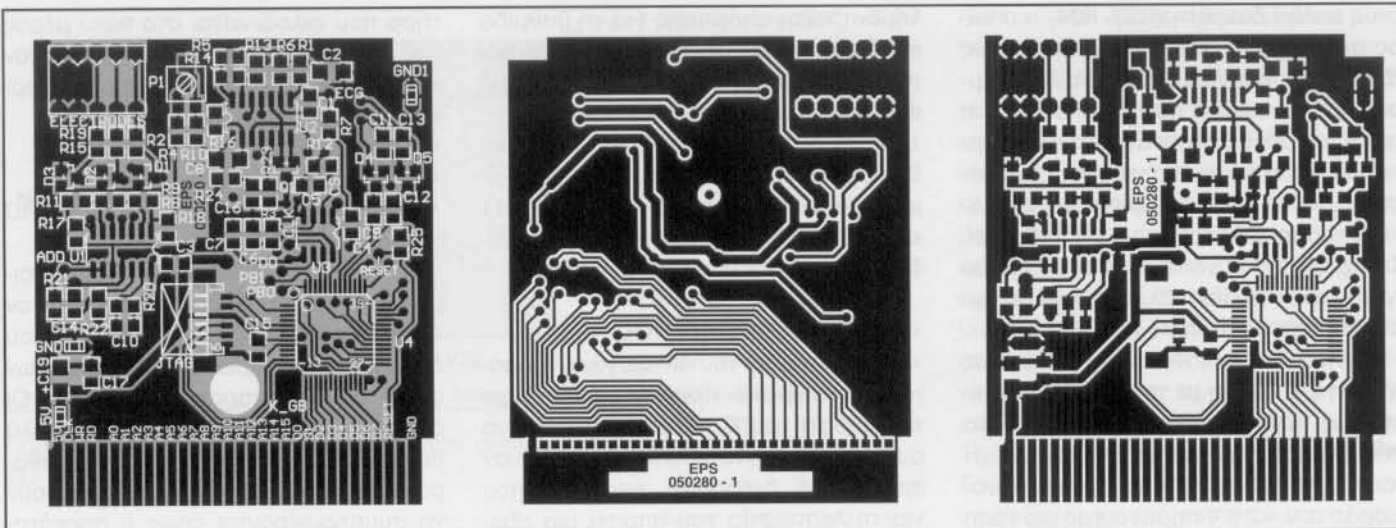
Η ασυμμετρία σε σχέση με τα 2,5 V δικαιολογείται από τη μη συμμετρική μορφή του ίδιου του καρδιογραφήματος σε σχέση με την μέση τιμή του. Ο μετατροπέας παρέχει τις ψηφιακές τιμές με σειριακό τρόπο (ακίδα DO) στον ρυθμό που του επιβάλλει το σήμα CLK. Η έναρξη της κάθε μιας μέτρησης καθορίζεται από τους παλμούς που εφαρμόζονται στην ακίδα CS και έχουν συχνότητα 477,84 Hz (συχνότητα δειγματοληψίας).

Το PSD813F2

Όλες οι πλακέτες παιχνιδιών του GameBoy βυσματώνονται σε ένα συνδε-

χός τους. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η συμβατότητα των παλιών πλακετών παιχνιδιών με τις νέες κονσόλες, ενώ ταυτόχρονα υποστηρίζονται και άλλα πιο 'εξελιγμένα' παιχνίδια. Ο καρδιογράφος μας ακολουθεί το πρότυπο των παλαιότερων πλακετών.

Κυρίαρχο εξάρτημα στην πλακέτα του, τουλάχιστον για το αυξημένο πλήθος των ακίδων του, είναι το PSD813F2, γνωστό με το όνομα 'Interface Adaptor' (Προσαρμογέας Διασυνδέσεων). Στο εσωτερικό του φιλοξενεί όλες εκείνες τις βαθμίδες που του επιτρέπουν να διασυνδέεται με οποιοδήποτε σύστημα μικροεπεξεργαστή, συμπεριλαμβανομένου και του Z80 που χρησιμοποιεί η κονσόλα GameBoy. Όσοι αναγνώστες μας θέλουν να μάθουν περισσότερα γι' αυτό μπορούν να επισκεφθούν το δικτυακό τόπο του κατασκευαστή του [3]. Προς το παρόν, και λόγω του περιορισμένου χώρου που μας παρέχει το περιοδικό, θα περιοριστούμε σε μια σύντομη περιγραφή του. Πιο συγκεκριμένα λοιπόν, το



Σχ. 7. Το τυπωμένο κύκλωμα (δύο όψεις) και η τοποθέτηση των υλικών. Λόγω της δυσκολίας συγκόλλησης των εξαρτημάτων SMD, διαθέτουμε την πλακέτα συναρμολογημένη και ελεγμένη σε κάθε ενδιαφερόμενο αναγνώστη.

Κατάλογος υλικών

(όλα τα εξαρτήματα είναι SMD εκτός από τον K1)

Αντιστάσεις

(όλες σε θήκη 0805)

R1 = 2,2MΩ 1%

R2, R15, R21 = 47KΩ

R3 = 22KΩ

R4, R13 = 47KΩ 1%

R5, R14 = 220KΩ 1%

R6 = 22KΩ 1%

R7 = 4,7KΩ

R8, R11 = 100KΩ 1%

R9 = 10KΩ

R10 = 210KΩ 1%

R12 = 12KΩ

R16 = 2,2MΩ

R17, R18, R22, R25 = 100KΩ

R19 = 1KΩ

R20 = 390KΩ

R23, R24 = 1MΩ

P1 = 22KΩ ρυθμιστική (Bourns 314G)

Πυκνωτές:

(όλοι σε θήκη 0805 εκτός από τον C8 και τον C19)

C1 = 560pF 5%

C2 = 33nF 5%

C3-C7, C11, C13-C17 = 100nF

C8 = 1μF (1208)

C9 = 470pF

C10 = 1nF

C12 = 2,2nF

C18 = δεν τοποθετείται

C19 = 10μF (1208P)

Ημιαγωγοί:

IC1, IC2 = TLV2254AID

IC3 = ADC08831 IM (Analog Devices) ή TLC0831CD (Texas Instruments)

IC4 = PSD813F2A-90M (STMicroelectronics) προγραμματιζόμενο, κωδικός παραγγελίας: 050280-41

D1-D5 = BAV99

TI = BC848B

Διάφορα:

K1 = συνδετήρας Molex 5 ακίδων, Dubox 89882-405, Digkey # 90148-1102-ND

Συνδετήρες προγραμματισμού:

K3 = συνδετήρας Molex 6 αγωγών με απόσταση ακίδων 1,25mm, τύπου 53261-0671 (Digkey # WM7624CT-ND)

Προαιρετικά: συνδετήρας προγραμματισμού FlashLink:

Θηλυκός συνδετήρας Molex 6 αγωγών με απόσταση ακίδων 1,25mm, τύπου 53261-0671 (Digkey # WM 1724ND)

6 κομμάτια καλωδίου τερματισμένα σε υποδοχές για συνδετήρες Molex (Digkey # WM1775-ND)

Ηλεκτρόδια:

Ακίδες κατάλληλες για επαφή με το δέρμα ή τα σχετικά κλιπ θα βρείτε στα καταστήματα πώλησης ιατρικών οργάνων.

Σειρά 5 ακίδων (SIL)

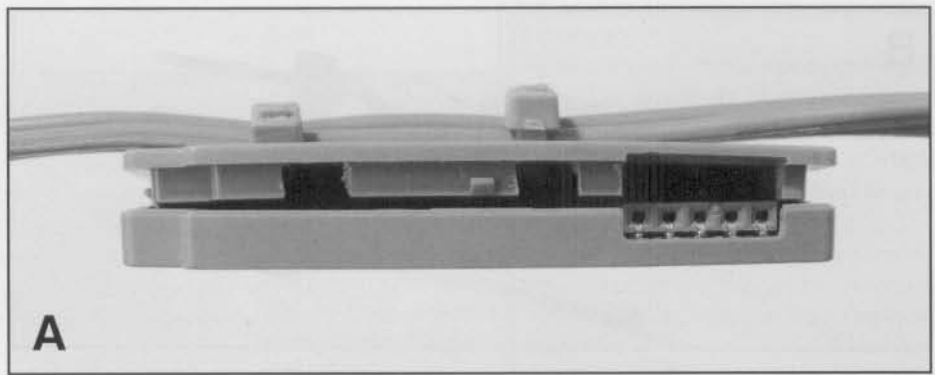
Πλάκες 4 mm (3 κομμάτια)

Θωρακισμένο καλώδιο ήχου (μπλεντάζ) 6 m

Πλακέτα συναρμολογημένη με όλα τα εξαρτήματα και ελεγμένη, κωδικός παραγγελίας: 050280-91

PSD813F2 περιέχει:

- προγραμματιζόμενο κύκλωμα διασύνδεσης με (οποιοδήποτε) μικροεπεξεργαστή
- 128 Kbyte μνήμης Flash, από τα οποία το GameBoy μπορεί να 'βλέπει' μόνο τα 32. Τα υπόλοιπα μπορούν να αξιοποιηθούν για άλλες εφαρμογές (...)
- Προγραμματιζόμενη Λογική Βαθμίδα (PLD) απαραίτητη για τη διαχείριση και αποκωδικοποίηση των σημάτων του διαύλου διευθύνσεων
- Σύνθετη Προγραμματιζόμενη Λογική Βαθμίδα (CPLD) εφοδιασμένη με 16 μακρο-κυψέλες που έχει σαν κύρια εργασία της την μετατροπή των σειριακών σημάτων του μετατροπέα A/D σε ισοδύναμα παράλληλης μορφής. Παράγει επίσης και τα ορθογώνια σήματα με τα οποία τα δικτυώματα διόδων / πυκνωτών που αναφέραμε προηγουμένως, παράγουν τις τάσεις λειτουργίας του IC2.
- 27 ακίδες εισόδου / εξόδου γενικής χρήσης
- 2 Kbyte μνήμης RAM (δεν χρησιμοποιούνται)



Ο συνδετήρας K3 που ξεχωρίζει στο αριστερό μέρος του ολοκληρωμένου, μεταφέρει σήματα JTAG μέσω των οποίων μπορούν να προγραμματισθούν οι βαθμίδες του εξαρτήματος. Για να γίνει βέβαια, δυνατός ο προγραμματισμός χρειάζεται να 'κατεβάσετε' το Ολοκληρωμένο Περιβάλλον Ανάπτυξης PSDSoftExpress, που διανέμεται δωρεάν από τον κατασκευαστή του PSD813F2. Αναζητήστε το στο δικτυακό τόπο του.

Σε ότι αφορά τη σύνδεση του ολοκληρωμένου και κατ' επέκταση της πλακέτας του καρδιογράφου με την κονσόλα του GameBoy, ακολουθείται ένας απλός κανόνας. Όλες οι ακίδες του εξαρτήματος ενώνονται με εκείνες της κονσόλες

που έχουν το ίδιο όνομα. Εξαιρέση (και όχι σχεδιαστικό σφάλμα!) αποτελούν οι ακίδες του διαύλου δεδομένων D0 - D7 που έχουν συνδεθεί ...ανάποδα. Αυτό έγινε σκόπιμα προκειμένου να διευκολυνθεί η σχεδίαση του τυπωμένου κυκλώματος και γενικά για να ελαχιστοποιηθεί το μήκος των χαλκοδιαδρόμων. Η αλλαγή αυτή έχει ληφθεί υπόψη στη συνολική σχεδίαση του υλικού / λογισμικού του συστήματος.

Το λογισμικό

Το λογισμικό της κατασκευής έχει γραφτεί εξ ολοκλήρου σε συμβολική γλώσσα. Ο συγγραφέας βασίστηκε στο δωρεάν διανεμόμενο 'GameBoy

Τα ηλεκτρόδια

Για την λήψη ενός καλού καρδιογραφήματος, εκτός από το μηχάνημα, χρειαζόμαστε και ένα σύνολο καλών ηλεκτροδίων τοποθετημένων στα κατάλληλα σημεία του σώματος. Η σύνδεση τους με τη βοήθεια θωρακισμένων αγωγών κάνει τα πράγματα ακόμα καλύτερα μιας που με αυτόν τον τρόπο περιορίζονται κατά πολύ οι παρασιτικοί θόρυβοι. Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται στις ηχητικές εγκαταστάσεις έχουν αποδειχθεί τα κατάλληλα, αλλά κατά γενική ομολογία είναι 'εύθραυστα'. Για το λόγο αυτό προτείνουμε τη χρήση μικρών προσαρμογέων, πάνω στους οποίους θα μπο-

ρούν να κουμπώνουν ελαχιστοποιώντας το κίνδυνο κάποιου 'σπασίματος' (βλ. Φωτογραφία F).

Θα παρατηρήσετε επίσης ότι η θωράκιση συνδέεται στο δυναμικό της γης μόνο από τη μεριά της πλακέτας, ενώ δεν καταλήγει πουθενά από τη μεριά του ηλεκτροδίου. Αυτό είναι απαραίτητο για να αποφευχθεί μια ενδεχόμενη επαφή με το δέρμα.

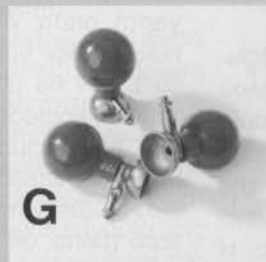
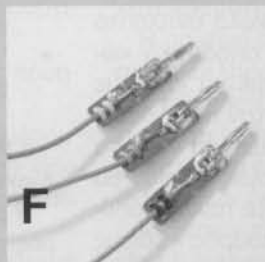
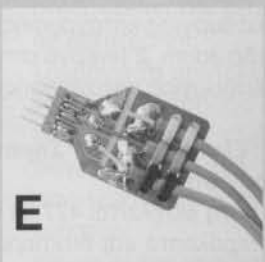
Αν επιλέξετε υποδοχές των 4 mm μπορείτε να χρησιμοποιήσετε έτοιμα εμπορικά ηλεκτρόδια (βλ. Φωτογραφία G).

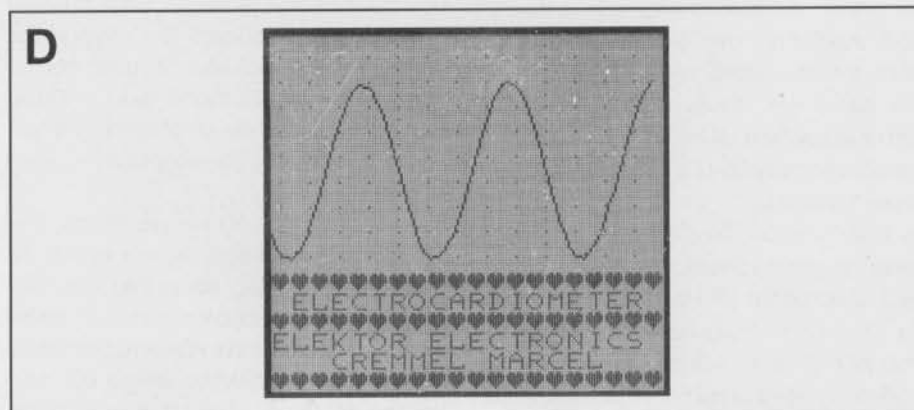
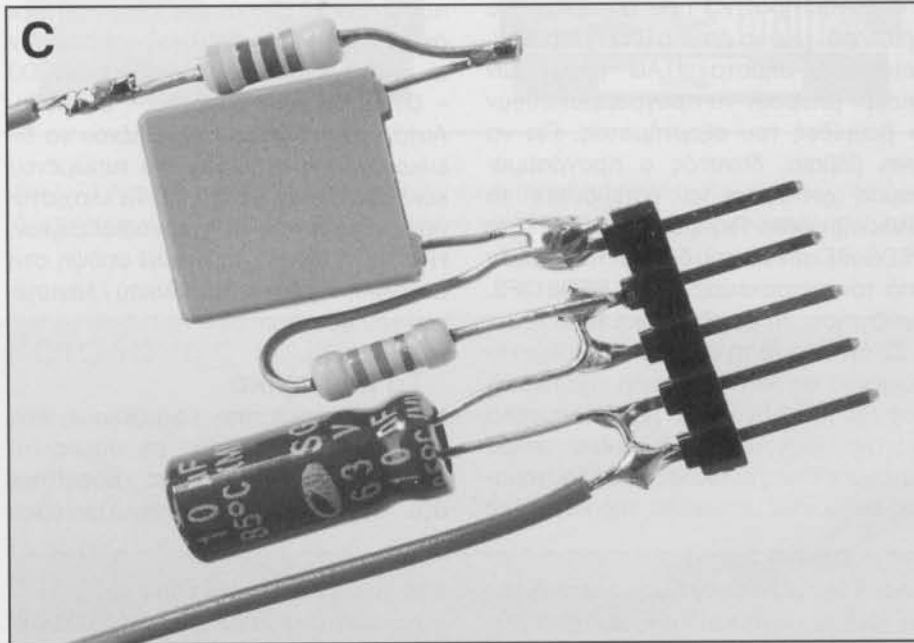
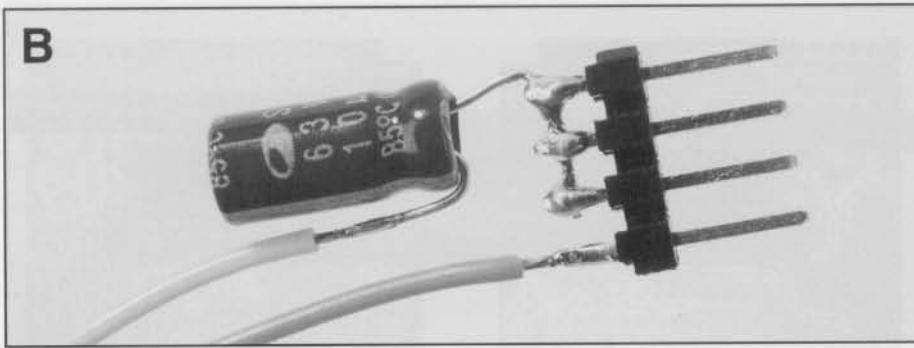
Τα κλιπ είναι πολύ πρακτικά και προσαρμόζονται πολύ εύκολα ακόμα και σε παιδιά. Το κακό είναι ότι το κόστος ενός τέτοιου ηλεκτροδίου είναι της τάξης των 10 € και δεν πρέπει να ξεχνούμε

πως χρειαζόμαστε τρία από αυτά.

Τα ιδιοκατασκευασμένα ηλεκτρόδια φτάνουν πολύ εύκολα χρησιμοποιώντας νομίσματα όπως φαίνεται στην αμέσως επόμενη φωτογραφία. Ο συγγραφέας χρησιμοποίησε Γαλλικά φλορίνια που είναι κατασκευασμένα από νικέλιο. Πάνω σε αυτά κόλλησε μια υποδοχή των 4 mm και το ηλεκτρόδιο (Φωτογραφία H) είναι έτοιμο για χρήση!

Το μόνο που χρειάζεται για τη στερέωσή τους στους καρπούς και στο κάτω μέρος της γάμπας, αρκεί ένα ελαστικό βραχιόλι. Τα βραχιόλια αυτά μπορείτε να τα κατασκευάσετε κόβοντας λεπτούς ιμάντες στο κατάλληλο μήκος και ενώνοντας τα άκρα τους με αυτοκόλλητη ταινία.





Assembler Studio' του Nicklas Larsson [4] προκειμένου να φέρει σε πέρας την εργασία του

Ο λόγος που προτιμήθηκε η συμβολική γλώσσα και όχι κάποια άλλη υψηλού επιπέδου έχει να κάνει με την αδυναμία του υλικού να καλύψει αποδοτικά τους γρήγορους ρυθμούς ανανέωσης της οθόνης LCD που απαιτεί η κυλιόμενη απεικόνιση του καρδιογραφήματος. Η διαχείριση της οθόνης 'δεσμεύει', κάτω

από τις βέλτιστες συνθήκες, το 80% της υπολογιστικής ισχύος του μικροεπεξεργαστή, οπότε γίνεται εύκολα αντιληπτό πως αν δεν γράψουμε αποδοτικό κώδικα, δεν θα μπορέσουμε να κάνουμε τίποτα περισσότερο με τον παλιό καλό Z80. Αν χρησιμοποιούσαμε μια γλώσσα υψηλού επιπέδου, το τελικό προϊόν θα διαχειριζόταν την οθόνη με πολύ βραδύτερο τρόπο, απ' ότι ο καθαρός κώδικας της συμβολικής γλώσσας. Αιτία γι' αυ-

τές τις αδυναμίες αποτελεί η παλιομοδίτικη οργάνωση του υποσυστήματος απεικόνισης που προβλέπει τη χρήση ξεχωριστής μνήμης οθόνης και μνήμης χαρακτήρων.

Από λειτουργική άποψη το λογισμικό χωρίζεται σε τέσσερις ενότητες:

1. Αρχικοποίηση

Το συγκεκριμένο τμήμα του λογισμικού εκτελείται κάθε φορά που τίθεται σε λειτουργία η κονσόλα ή, γενικότερα, παράγεται σήμα εκκίνησης. Οι εργασίες που εκτελεί, είναι οι εξής:

- καθορισμός αρχικών τιμών των μεταβλητών.
- ορισμός της κατεύθυνσης ροής των δεδομένων στις ακίδες Εισόδου / Εξόδου
- αρχικοποίηση της οθόνης LCD. Η οθόνη έχει ανάλυση 160 x 144 εικονοστοιχείων, αλλά για τεχνικούς λόγους για την απεικόνιση του καρδιογραφήματος χρησιμοποιείται μόνο ένα τμήμα της διαστάσεων 160 x 96 εικονοστοιχείων. Το υπόλοιπο των 160 x 48 αξιοποιείται για την απεικόνιση αλφαριθμητικών μηνυμάτων.
- αρχικοποίηση του εσωτερικού χρονιστή. Η μονάδα αυτή ρυθμίζεται ώστε να παράγει σήματα διακοπής με συχνότητα 477,84 Hz (συχνότητα δειγματοληψίας του μετατροπέα A/D).
- προετοιμασία της γεννήτριας ήχου έτσι ώστε να μπορεί να παράγει το χαρακτηριστικό 'μπιπ' των καρδιογράφων.

2. Κύριος βρόχος

Ο κύριος βρόχος του προγράμματος επιτηρεί τα πλήκτρα της κονσόλας και τροποποιεί σύμφωνα με αυτά τη λειτουργία της κατασκευής. Τα πλήκτρα αποκτούν τις παρακάτω σημασίες:

- Start: λειτουργία λήψης / καταγραφής κυματομορφής
- Stop: διακοπή λειτουργίας καταγραφής
- '↑': επίπεδο zoom_1 (ενεργό στη διακοπή λειτουργίας καταγραφής)
- '↓': επίπεδο zoom_2 (ενεργό στη διακοπή λειτουργίας καταγραφής)

3. Ρουτίνα Εξυπηρέτησης Σημάτων Διακοπής Χρονιστή

Η ρουτίνα αυτή εκτελείται 477,84 φορές ανά δευτερόλεπτο και διεκπεραιώνει τις παρακάτω εργασίες:

Οδηγίες χρήσης

Τοποθέτηση των ηλεκτροδίων

Προτού τοποθετήσετε τα ηλεκτρόδια στο σώμα του ασθενούς πρέπει να τα έχετε καθαρίσει με ένα βαμβάκι εμβαπτισμένο σε αιθέρα ή οινόπνευμα. Σε αντίθετη περίπτωση, η ηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται μεταξύ ηλεκτροδίου – σώματος είναι πιθανό να προκαλέσει τον κορεσμό του διαφορικού ενισχυτή.

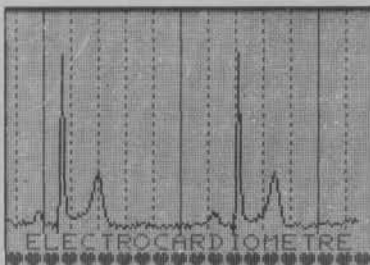
Το βασικό ηλεκτρόδιο είναι το D1.

- το ηλεκτρόδιο EA τοποθετείται στον δεξί καρπό
- το ηλεκτρόδιο EB τοποθετείται στον αριστερό καρπό
- το ηλεκτρόδιο EC τοποθετείται στο κάτω μέρος της γάμπας

Επαφές κατασκευασμένες από χλωριούχο κάλλιο βελτιώνουν κατά πολύ την ποιότητα των μετρήσεων. Τα καλύτερα καρδιογραφήματα τα έχετε όταν ο ασθενής είναι ήρεμος είναι ξαπλωμένος. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ο μόνος μυς που συσπάται είναι αυτός της καρδιάς.

Λειτουργία

- Περιμένετε ώσπου να εμφανιστεί το μήνυμα καλωσορίσματος.
- Πηγαίνετε στην οθόνη Καταγραφής / Λήψης (Acquisition) και πιέστε Start (Έναρξη), A, B, ή Select (Επιλογή).
- Με την προϋπόθεση ότι τα ηλεκτρόδια έχουν τοποθετηθεί σωστά και ο ασθενής είναι ήρεμος, το καρδιογράφημα θα σταθεροποιηθεί μετά από μερικά δευτερόλεπτα. Θα πρέπει να μοιάζει με αυτό που φαίνεται στο σχήμα.



Κατά τη λειτουργία διακοπής καταγραφής:

- σαρώνει τα πλήκτρα της κονσόλας εντοπίζοντας το ποια από αυτά είναι πιεσμένα (χρήση αλγορίθμων κατάπνιξης αναπηδήσεων)

Κατά τη λειτουργία λήψης / καταγραφής:

- σηματοδοτεί την έναρξη καινούργιας μετατροπής
- λαμβάνει το αποτέλεσμα της προηγούμενης μέτρησης
- υπολογίζει την τιμή του 'μέσου' δείγματος, δηλαδή τον μέσο όρο των τεσσάρων προηγούμενων μετρήσεων
- ανιχνεύει την χαρακτηριστική αιχμή R (κύμα R) για να θέσει σε λειτουργία

για τη γεννήτρια του καρδιακού τόνου (παραγωγή χαρακτηριστικού 'μπιπ')

- φορτώνει την κυκλική μνήμη των 8 Kbyte με το μέσο όρο των τελευταίων τεσσάρων μετρήσεων.

4.Ρουτίνα εξυπηρέτησης διακοπής κατακόρυφης αμαύρωσης

Η ρουτίνα αυτή εκτελείται κάθε φορά που ολοκληρώνεται μια πλήρης σάρωση της οθόνης LCD. Η συχνότητα κλήσης της είναι ίση με 59,73 Hz ή, αλλιώς, ίση με το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ οκτώ διαδοχικών δειγματοληψιών (παραγωγή δύο μέσων τιμών). Κύρια εργασία της είναι η ανανέωση των περιεχομένων της οθόνης έτσι ώστε στην επόμενη σάρω-

Προσοχή

Η κατασκευή που παρουσιάσαμε δεν έχει καμία απολύτως έγκριση από τους αρμόδιους ιατρικούς / φαρμακευτικούς φορείς και γι' αυτό το λόγο δεν θεωρείται επαγγελματικό εργαλείο.

Θα πρέπει πάντοτε να τροφοδοτείται από μπαταρίες ώστε να πληρούνται οι κανόνες ασφαλείας κατηγορίας III.

Μη χρησιμοποιήσετε το παρόν καρδιογράφημα σαν αναφορά. Οι κυματομορφές που εμφανίζονται μπορεί αν είναι διαφορετικές σε κάθε μια περίοδο.

Αν μέσα σε 30 δευτερόλεπτα δεν έχετε δει καμία απολύτως κυματομορφή, τότε διακόψτε τη λειτουργία της κατασκευής και καθαρίστε το δέρμα κάτω από τα ηλεκτρόδια με αιθέρα ή οινόπνευμα.

Οι πάσης φύσεως ανωμαλίες περιορίζονται δραστικά όταν το ηλεκτρόδιο ακουμπάει 'καλά' πάνω στο δέρμα.

Πιέζοντας το πλήκτρο Select (Επιλογή) διακόπτεται η λήψη των μετρήσεων. Μπορείτε τότε να μελετήσετε το καρδιογράφημα ζουμάροντας στην οθόνη LCD οποιαδήποτε χρονική περίοδο της λήψης. Υπενθυμίζουμε πως η μνήμη 'χωράει' 68,6 sec.

'↑': zoom ίσο με 1

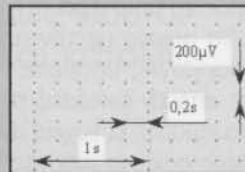
'↓': zoom ίσο με 2

'→': ολίσηση κυματομορφής προς τα εμπρός

'←': ολίσηση κυματομορφής προς τα πίσω

Κάθε φορά που εντοπίζεται μια θετική αιχμή (κύμα R) η ενσωματωμένη γεννήτρια παράγει ένα σύντομο 'μπιπ'. Μπορείτε να ρυθμίσετε την ένταση του μέσω του ρυθμιστικού ήχου της κονσόλας.

Προσοχή: Η μνήμη οθόνης χάνει τα περιεχόμενά της κάθε φορά που θέτετε την κατασκευή εκτός λειτουργίας.



ση να φαίνονται οι τιμές των καινούργιων δειγμάτων. Πιο συγκεκριμένα:

- Κατά τη λειτουργία λήψης / καταγραφής: Πάνω στην οθόνη φαίνονται με μορφή κουκίδων οι τελευταίες 320 τιμές της μνήμης RAM. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε 1280 δείγματα (παράγεται μια τιμή για κάθε τέσσερα δείγματα) που λήφθηκαν τα προηγούμενα 2,68 sec.
- Κατά τη λειτουργία διακοπής καταγραφής: Ανάλογα με το επιλεγμένη μεγέθυνση (zoom_1, zoom_2) η ρουτίνα εμφανίζει πάνω στην οθόνη είτε 320 μέσες τιμές είτε 160. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε χρονικά διαστήματα 2,68 ή 1,34 sec αντίστοιχα.

Από τη στιγμή που έχει καταγραφεί ένα καρδιογράφημα και οι τιμές των δειγμάτων του είναι στη μνήμη, ο χρήστης μπορεί κάνοντας χρήση των πλήκτρων '←' και '→' να τις ανακαλέσει, εξετάζοντας οποιοδήποτε υποσύνολό τους στην οθόνη (Λειτουργία διακοπής καταγραφής).

Κατά τη διάρκεια της απεικόνισης του καρδιογραφήματος στην οθόνη του GameBoy, εμφανίζονται ταυτόχρονα και απαραίτητες οριζόντιες και κατακόρυφες διαβαθμίσεις, οι οποίες 'ακολουθούν' το γράφημα καθώς ολισθαίνει προς τα αριστερά.

Το αρχείο με τον πηγαίο κώδικα της εφαρμογής μπορείτε να το 'κατεβάσετε' από το δικτυακό τόπο του Ελέκτορ. Θα είμαστε ευτυχείς αν μας στείλετε τις ιδέες σας για πιθανές τροποποιήσεις ή βελτιώσεις.

Η κατασκευή

Με δοσμένο ότι η κατασκευή μας βασίζεται εξ ολοκλήρου σε εξαρτήματα Επιφανειακής Στήριξης (SMD) και ότι από το κάτω μέρος της πλακέτας δεν πρέπει να προεξέχει απολύτως τίποτα, είναι βέβαιο πως η συναρμολόγησή της θα προβληματίσει τους περισσότερους αναγνώστες μας. Για το λόγο αυτό σπεύσαμε να συναρμολογήσουμε αρκετές πλακέτες και να τις διαθέσουμε σε κάθε ενδιαφερόμενο έναντι μιας προσιτής τιμής. Επικοινωνήστε με τα γραφεία μας ζητώντας τις με τον κωδικό 050280-91. Σημειώνουμε ότι το PSD813F2 είναι εκ των προτέρων προγραμματισμένο, άρα δεν χρειάζεται να αναζητήσετε συσκευή προγραμματισμού JTAG.

Έχοντας στα χέρια σας την έτοιμη πλακέτα, το μόνο που μένει να κάνετε είναι να βρείτε ένα παλιό παιγνίδι GameBoy και να την τοποθετήσετε προσεκτικά μέσα σε αυτό. Προτού το κάνετε, καλό είναι να συμβουλευθείτε τη Φωτογραφία Α για να δείτε το πόσο πρέπει να κόψετε τα δύο καπάκια του ώστε να 'κουμπώνουν' εύκολα συγκρατώντας την πλακέτα ανάμεσά τους. Θα χρειαστεί να επέμβετε λίγο περισσότερο στο πάνω καπάκι, έτσι ώστε να χωρέσει το ρυθμιστικό ποτενσιόμετρο P1.

Ρυθμίσεις

Η μόνη ρύθμιση που έχετε να κάνετε, είναι αυτή της βελτιστοποίησης του CMRR του διαφορικού ενισχυτή εισόδου. Για την πραγματοποίησή της θα χρειαστείτε μια γεννήτρια συναρτήσεων

και ένα καλό παλμογράφο ή βολτόμετρο AC. Ξεκινήστε συναρμολογώντας το κύκλωμα της Φωτογραφίας Β. Ο πυκνωτής που χρησιμοποιείται έχει χωρητικότητα 10 μF, ενώ η σημασία των επιμέρους ακίδων της σειράς, από πάνω προς τα κάτω, είναι: EA, EB, EC και GND.

Εισάγεται τη σειρά στην αντίστοιχη υποδοχή εισόδου της πλακέτας και αφού επιβεβαιώσετε τον ορθό προσανατολισμό της συνδέστε τη γεννήτρια. Με αυτήν τη συνδεσμολογία, όλες οι εισοδοί του καρδιογράφου δέχονται το ίδιο σήμα. Άρα μπορούμε να ελέγξουμε εύκολα την απόρριψη του κοινού σήματος. Ρυθμίστε τη γεννήτρια για παραγωγή ημιτονοειδούς σήματος πλάτους 1 V και συχνότητας 50 Hz. Κυλήστε την πλακέτα στους οδηγούς της κονσόλας έως ότου αυτή 'κουμπώσει' στον εσωτερικό συνδετήρα. Φροντίστε να έχετε αφαιρέσει από πριν το πάνω καπάκι του κουτιού ώστε να μπορείτε εύκολα να μετρήσετε στα προβλεπόμενα σημεία ελέγχου. Τροφοδοτήστε την κονσόλα και τη γεννήτρια και μετρήστε το σήμα στην έξοδο του διαφορικού ενισχυτή. Ρυθμίστε την P1 έτσι ώστε η μετρούμενη τιμή να γίνει μικρότερη των 25 mV. Η στάθμη αυτή αντιστοιχεί σε λόγο απόρριψης της τάξης των 40 dB.

Τελικοί έλεγχοι

Αν μέχρι τώρα όλα έχουν πάει καλά, ο ηλεκτροκαρδιογράφος είναι έτοιμος για χρήση. Ωστόσο μπορείτε να κάνετε ένα ακόμα έλεγχο για να είστε απόλυτα βέβαιοι για τη λειτουργία του. Εισάγετε ένα ασθενές σήμα και επιβεβαιώστε την απεικόνισή του στην οθόνη. Αν και αυτός ο έλεγχος δώσει θετικά αποτελέσματα τότε όλα είναι εντάξει.

Επειδή οι περισσότερες εργαστηριακές γεννήτριες αδυνατούν να παράγουν σήματα πολύ χαμηλής στάθμης που απαιτούνται από την κατασκευή μας, προτείνουμε να χρησιμοποιήσετε το κύκλωμα της Φωτογραφίας C. Πρόκειται για έναν απλό ωμικό διαιρέτη δια 100, στην είσοδο του οποίου εφαρμόζεται ένα εναλλασσόμενο σήμα συχνότητας 1 Hz ταυτόχρονα με ένα συνεχές στάθμης +140 mV. Κάτω από αυτές τις προϋποθέσεις, το γράφημα που θα φαίνεται στην οθόνη του GameBoy θα πρέπει να είναι ίδιο με αυτό της Φωτογραφίας D.

Το ημιτονοειδές σήμα παραμένει ευθυγραμμισμένο με την πρώτη εστιγμένη γραμμή, ενώ ταυτόχρονα είναι 'καθισμένο' σε μια συνεχή συνιστώσα ίση με 7

υποδιαιρέσεις, ή αλλιώς $7 \times 200 \mu V = 1,4 \text{ mV}$ (140 mV / 100).

Έχοντας ολοκληρώσει την κατασκευή, παρατηρήσαμε πως ο συνδετήρας K1, εκ των πραγμάτων, δεν μπορεί να στερεωθεί πάνω στην πλακέτα τόσο καλά όσο θα θέλαμε. Για να περιορίσουμε τον κίνδυνο παραμόρφωσής του ή το σπάσιμο του φροντίσαμε να στερεώσουμε τα καλώδια που καταλήγουν σε αυτόν πάνω στο ίδιο το κουτί της κατασκευής. Ρίξτε μια ματιά στις συνοδευτικές φωτογραφίες για να πάρετε μια ιδέα του πως το κάναμε.

Τα στηρικτικά που χρησιμοποιήσαμε απαιτούσαν το άνοιγμα τεσσάρων οπών διαμέτρου 2 mm στο κουτί της κατασκευής, οι οποίες δεν παρεμποδίζουν σε τίποτα την ομαλή λειτουργία του κυκλώματος. (050080-1)

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους καθηγητές Schlij και Maan του Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου του Leiden της Ολλανδίας για την τόσο σημαντική βοήθεια τους.

Βιβλιογραφία

- Ψηφιακός παλμογράφος με το GameBoy, Ελέκτορ, Νοέμβριος - Δεκέμβριος 2000.

Αναφορές στο Διαδίκτυο και σύνδεσμοί

- <http://chem.ch.huji.ac.il/~eugeniik/history/einthoven.htm/>
- <http://www.e-cardiologie.com/examens/ex-electro2.shtml>
- <http://www.st.com/stonline/products/>
- <http://www.devrs.com/gb/>

Πρόσθετα έγγραφα και προγράμματα

- <http://www.elektor.gr>
- <http://www.infoscience.fr/histoire/biograph!biograph.php3?Ref=128>

Τεχνικό εγχειρίδιο PSD813 datasheet

- <http://www.st.com/stonline/products/literature/dsj7833.pdf>

Τεχνικό εγχειρίδιο ADC08831IM

- <http://www.ortodoxism.ro/datasheets2/6/orcoik1yuwhx1dj20g8wid7sfcy.pdf>