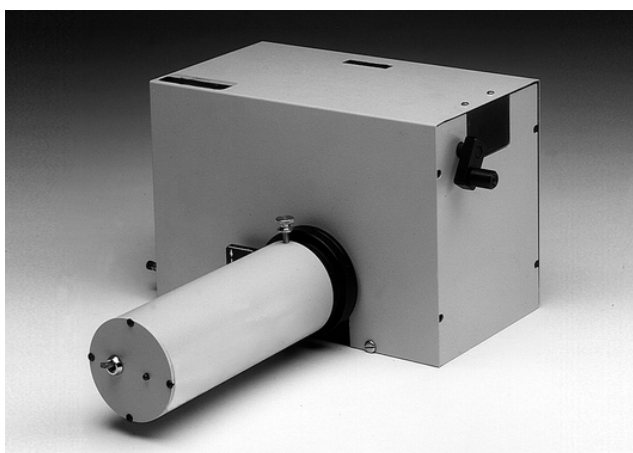


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΜΑ: ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΟΝΟΧΡΩΜΑΤΟΡΑ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ
ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Εισηγητής: Μιχάλης Ταταράκης

Επιμέλεια: Σκορδίλης Νικόλαος-Εμμανουήλ

Σμυρνής Ευάγγελος

ΧΑΝΙΑ 5-5-2005

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	4
1.1 Σκοπός.....	4
1.2 Προτεινόμενη λύση.....	5
1.3 Διάρθρωση της διπλωματικής.....	6
 2. Βασικές θεωρητικές έννοιες.....	7
2.1 Η Διάθλαση.....	7-14
2.2 Η Περίθλαση.....	15-30
2.3 Περίθλαση Ακτίνων Χ.....	31-35
 3. Ο Μονοχρωμάτορας.....	36
3.1 Απόλυτη Βαθμονόμηση.....	37
3.2 Φασματική βαθμονόμηση και διακριτική ικανότητα.....	38
3.3 Σφάλματα που σχετίζονται με την ποιότητα των οργάνων.....	39-41
3.4 Φασματοσκόπιο.....	42-43
3.5 Φασματοσκόπιο Σταθερής Εκτροπής.....	44-46
3.6 Άλλοι Τύποι Φασματοσκοπίων.....	46-47

3.7 Η επίδραση της σχισμής πλάτους και του σχήματος της οπής...	47-48
3.8 Μετασχηματισμός Fourier στη θεωρία διαχωρισμού.....	49-52
3.9 THE GRATING SPECTROMETER.....	52-61
3.10 Διαχωρισμός με κοιλότητες.....	61-62
 4. Μονάδες λειτουργίας του μονοχρωμάτορα.....	63-64
4.1 Αναλογικό κύκλωμα και τρόπος λειτουργίας αυτού.....	65-66
4.2 Ψηφιακό κύκλωμα και τρόπος λειτουργίας αυτού.....	67-68
4.3 Πειραματικές Μετρήσεις	69-73
4.4 Αλγόριθμος του προγράμματος του PC (Visual Basic 6).....	74-76
4.5 Αλγόριθμος του προγράμματος του μικροελεκτή AVR 8535.....	77-78
4.6 Συμπεράσματα.....	79
 5. Βιβλιογραφία.....	80
 6. Παράρτημα Α: DATA SHEET AVR8535, MC3479C, CA3140,.....	81-93
7. Παράρτημα Β: Κώδικας Visual Basic και Πρόγραμμα AVR8535....	94-103
8. Παράρτημα C: PCB Αναλογικού και Ψηφιακού τμήματος.....	104-105

1. Εισαγωγή

Η είσοδος στην εποχή της νέας τεχνολογίας, της αυτοματοποίησης και της παγκοσμιοποίησης, πέρα από την απορρύθμιση των παραδοσιακών μορφών οργάνωσης στην παραγωγή και την εργασία, επηρεάζει και τον τρόπο σκέψης και δράσης των στελεχών όλων σχεδόν των Επιχειρήσεων.

Μπροστά σε αυτήν την διαρκώς μεταβαλλόμενη πραγματικότητα κάθε στέλεχος είναι υποχρεωμένο να παρακολουθεί τις εξελίξεις και να υλοποιεί νέους τρόπους δράσης.

Όλα τα παραπάνω αποτελούν ζητούμενα πλέον για ένα ηλεκτρονικό τόσο σε οργανωτικό όσο και σε τεχνικό επίπεδο. Ιδιαίτερα δε στο τεχνικό επίπεδο οι παραπάνω έννοιες μεταφράζονται σε προγραμματισμό συντήρησης, προγραμματισμό απαιτήσεων υλικών, αυτοματοποίηση, βέλτιστη κατανομή πόρων κ.α.

1.1 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η αυτοματοποίηση του μονοχρωμάτορα. Ο μονοχρωμάτορας είναι μια συσκευή στην οποία με μηχανικό τρόπο καθορίζεται ποια περιοχή φάσματος ακτινοβολίας θα περάσει από την είσοδο στην έξοδο. Εμείς θέλουμε δίνοντας τις κατάλληλες εντολές σε ένα πρόγραμμα να παίρνουμε το φάσμα μιας οπτικής πηγής καθώς και τη χαρακτηριστική εκπομπής ακτινοβολίας μιας LED. Ειδικότερα έχουμε :

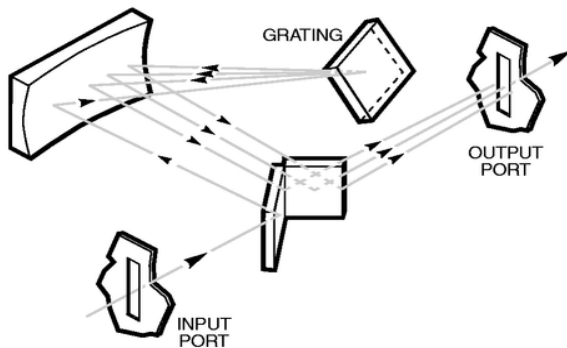
- Μονάδα κινητήρα (stepper motor) με προδιαγραφή τον έλεγχο της ολίσθησης και σύστημα μετάδοσης της κίνησης.
- Μονάδα φωτοανιχνευτή με προδιαγραφή τον έλεγχο της απολαβής του κυκλώματος ενίσχυσης για την αποφυγή του κορεσμού (ψαλίδισμα του σήματος).
- Μονάδα μηχανικής ίριδας στην είσοδο του μονοχρωμάτορα για την επίτευξη της μέγιστης διακριτικής ικανότητας, διατηρώντας τον λόγο σήμα προς θόρυβο στην ελάχιστη επιθυμητή τιμή.
- Μονάδα ψηφιοποίησης δεδομένων.
- Μονάδα επικοινωνίας με το πρόγραμμα του χρήστη μέσω της RS-232

(Ο κεντρικός έλεγχος των παραπάνω μονάδων θα γίνεται με τη βοήθεια micro controller)

Σε ότι αφορά το πρόγραμμα του χρήστη, αυτό παρέχει:

- Δυνατότητα αποθήκευσης και σύγκρισης διάφορων φασματικών αποκρίσεων (π.χ για την εύρεση της εξασθένισης και αλλοίωσης σήματος που διαδίδεται μέσω οπτικής ίνας)
- Δυνατότητα εκτύπωσης διάφορων χαρακτηριστικών σε μορφές διαγράμματος και πίνακα τιμών (π.χ της φασματικής απόκρισης)
- Δυνατότητα υπολογισμού της θεωρητικής τιμής διάφορων μεγεθών και σύγκρισης τους με τις πειραματικές. (π.χ του δν)

1.2 Προτεινόμενη λύση



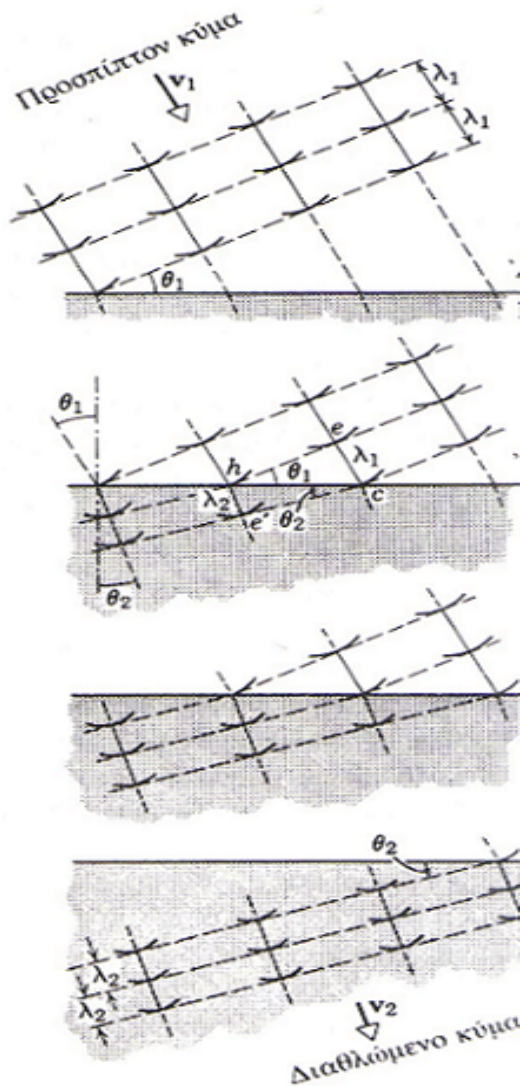
Προκειμένου να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός ελέγχουμε τη θέση του μηχανικού μέρους του μονοχρωμάτορα με ηλεκτρονικό τρόπο και μετατρέπουμε το σήμα οπτικής ακτινοβολίας σε ψηφιακά δεδομένα. Ο έλεγχος από τον χρήστη γίνεται μέσω της Visual Basic 6

1.3 Διάρθρωση της διπλωματικής

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από πέντε ακόμα κεφάλαια η διάρθρωση των οποίων έχει ως ακολούθως. Στο Κεφάλαιο 2 παρατίθενται βασικές θεωρητικές έννοιες που αφορούν την διάθλαση και την περίθλαση ενώ στο κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά για το μονοχρωμάτορα και τον τρόπο λειτουργίας του. Στο κεφάλαιο 4 γίνεται περιγραφή του τρόπου και των αρχών λειτουργίας του κώδικα ελέγχου τόσο του μικροελεκτή AVR MEGA 8535 όσο και της Visual Basic 6 ενώ γίνεται και αναφορά στα ηλεκτρονικά κυκλώματα ελέγχου καθώς και στον τρόπο λειτουργίας τους. Τέλος στο κεφάλαιο 5 παρατίθενται κάποια συμπεράσματα που βασίζονται στα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

2.1 Η Διάθλαση

Η ΑΡΧΗ ΤΟΥ HUYGENS ΚΑΙ Ο ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ



Το σχήμα 1 δείχνει τέσσερα στάδια της διάθλασης τριών διαδοχικών ισοφασικών επιφανειών επιπέδου κύματος που προσπίπτει πάνω στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ αέρα (μέσο 1) και γυαλιού (μέσο 2) . Για ευκολία μας υποθέτουμε ότι οι προσπίπτουσες ισοφασικές επιφάνειες απέχουν μεταξύ τους κατά λ_1 , όσο δηλαδή είναι το μήκος κύματος στο μέσο 1. Έστω ότι η ταχύτητα του φωτός στον αέρα είναι v_1 και στο γυαλί v_2 . Υποθέτουμε ότι

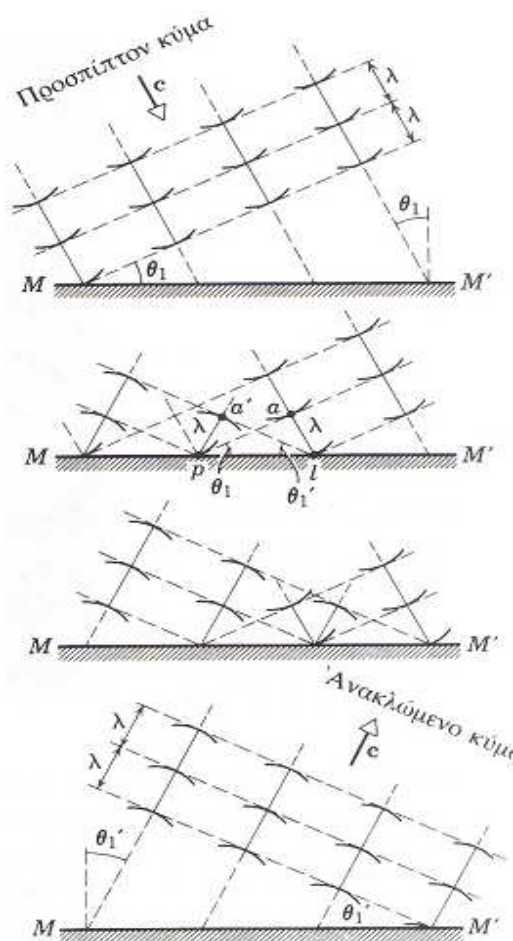
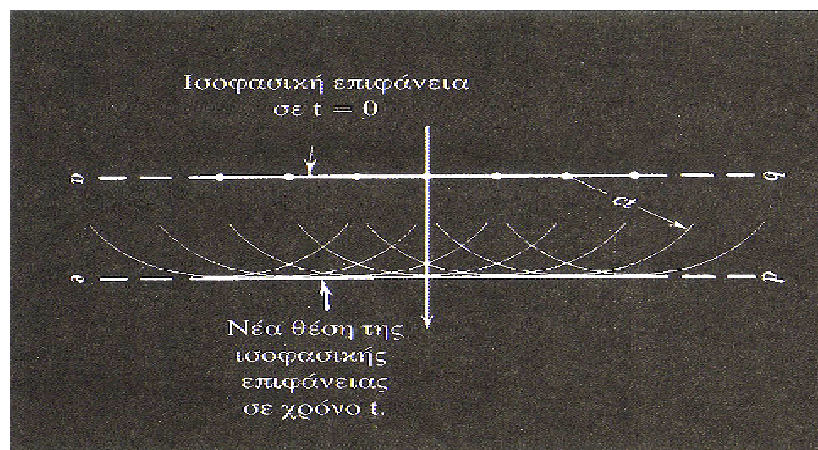
$$v_2 < v_1 \quad (1)$$

Η υπόθεση αυτή είναι σημαντική για την παρακάτω ανάπτυξη. Δεν ήταν δυνατός όμως ο πειραματικός της έλεγχος λόγω τεχνικών δυσκολιών μέχρι το 1850 , οπότε η υπόθεση αναδείχτηκε ορθή από το Foucault.

Οι ισοφασικές επιφάνειες του σχήματος 1α συνδέονται μεταξύ τους με την κατασκευή Huygens του σχήματος 2 .

Σχήμα 1 [3]

Σχήμα2 [3]



Σχήμα 3 [3]

επίσης ότι το μήκος κύματος μέσα στο γυαλί (λ_2) είναι μικρότερο από εκείνο στον αέρα (λ_1).

Όπως στο σχήμα 3 , η θ_1 είναι η γωνία πρόσπτωσης. Στο σχήμα 1β , θεωρήστε το χρόνο ($=\lambda_1/v_1$) μέσα στο οποίο ένα δευτερογενές κύμα φτάνει από το σημείο e στο σημείο c. Το φως από το σημείο h θα διαδίδεται μέσα στο γυαλί με μικρότερη ταχύτητα (εξίσωση) και θα διανύσει μέσα στο χρόνο αυτό μικρότερη απόσταση.

$$\lambda_2 = \lambda_1 \frac{v_2}{v_1} \quad (2)$$

Η ισοφασική επιφάνεια που διαθλάστηκε πρέπει να είναι εφαπτόμενη ενός τόξου ακτίνας λ_2 και κέντρου h. Αφού το c βρίσκεται πάνω στη νέα ισοφασική επιφάνεια, η εφαπτόμενη πρέπει να περνά απ'αυτό. Προσέξτε ότι η θ_2 , η γωνία μεταξύ της διαθλώμενης ισοφασικής επιφάνειας και της διαχωριστικής επιφάνειας αέρα- γυαλιού , ισούται προς τη γωνία μεταξύ της διαθλώμενης ακτίνας και της κάθετης πάνω στην επιφάνεια . Δηλαδή η θ_2 είναι η γωνία διάθλασης. Προσέξτε

Για τα ορθογώνια τρίγωνα μπορούμε να γράψουμε:

$$\sin \theta_1 = \frac{\lambda_1}{hc} \quad (\text{για το } hce)$$

$$\text{Και} \quad \sin \theta_2 = \frac{\lambda_2}{hc} \quad (\text{για το } hce')$$

Διαιρούμε κατά μέλη και , λόγω της εξίσωσης 1 , παίρνουμε :

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = a \text{ σταθερό.} \quad (3)$$

Ο νόμος της διάθλασης όπως διατυπώθηκε στην εξίσωση 4 είναι :

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = n_{21} \quad (4)$$

και έτσι ο n_{21} εμφανίζεται τώρα ως ο λόγος των ταχυτήτων του φωτός μέσα στα δυο μέσα, ή

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} \quad (5)$$

Την εξίσωση 3 μπορούμε να γράψουμε ως :

$$\left(\frac{c}{v_1}\right) \sin \theta_1 = \left(\frac{c}{v_2}\right) \sin \theta_2 \quad , \quad (6)$$

όπου C είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό. Οι ποσότητες (c/v_1) και (c/v_2) είναι οι δείκτες διάθλασης του μέσου 1 και του μέσου 2, αντίστοιχα, ως προς το κενό. Εισάγοντας τα σύμβολα n_1 και n_2 για τις ποσότητες αυτές μπορούμε να γράψουμε το νόμο της διάθλασης ως:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

Αν υποθέσουμε ότι το πάνω από το γυαλί μέσο στο σχήμα 1, είναι το κενό και όχι ο αέρας, η ταχύτητα v_1 γίνεται C και το μήκος κύματος λ_1 του σχήματος 1 παίρνει μια τιμή λ χαρακτηριστική του κύματος στο κενό. Έτσι η εξίσωση 2 μπορεί να γραφεί:

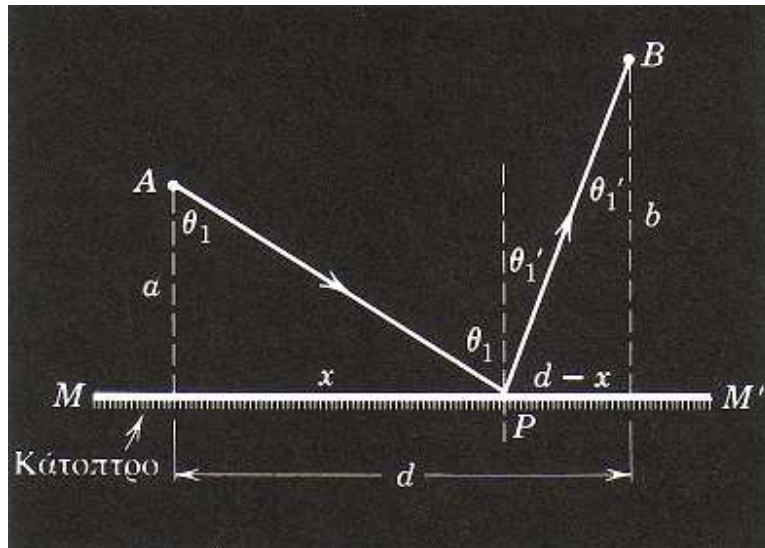
$$\lambda_2 = \lambda \frac{v_2}{c} = \frac{\lambda}{n_2} \quad (7)$$

ή

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$$

Αυτό δείχνει σαφώς ότι το μήκος κύματος του φωτός σε ένα υλικό μέσο είναι μικρότερο από εκείνο στο κενό. Στο σχήμα 1 δείχνει καθαρά τη διαφορά των μηκών κύματος στα δυο μέσα.

Η εφαρμογή της αρχής του Huygens στη διάθλαση ορίζει ότι αν μια ακτίνα φωτός που περνά από τον αέρα σε ένα οπτικά πυκνότερο μέσο κάμπτεται προς την κάθετη τότε η ταχύτητα του φωτός στο μέσο αυτό (γυαλί $\pi\chi$) πρέπει να είναι μικρότερη απ'ότι στον αέρα. Βλέπε εξίσωση 1. Η απαίτηση αυτή ισχύει σε όλες τις κυματικές θεωρίες του φωτός. Στη σωματιδιακή θεωρία του Newton η διάθλαση μπορεί να εξηγηθεί μόνο αν η ταχύτητα του φωτός στο μέσο μέσα στο οποίο η ακτίνα κάμπτεται προς την κάθετη είναι μεγαλύτερη από εκείνη στον αέρα. Το πυκνότερο μέσο θεωρείτο ότι άσκουσε ελκτικές δυνάμεις πάνω στα μόρια του φωτός όταν αυτά πλησίαζαν προς την επιφάνεια και επιταχύνοντας τα, τα ανάγκαζε να αλλάξουν πορεία και να σχηματίσουν μικρότερη γωνιά με την κάθετη.



Σχήμα 5 [3]

Οι νόμοι της ανάκλασης προκύπτουν εύκολα από την αρχή αυτή. Το σχήμα 5 δείχνει δυο σταθερά σημεία A και B και μια ακτίνα APB που τα ενώνει. Το ολικό μήκος l της ακτίνας αυτής είναι:

$$l = \sqrt{a^2 + x^2} + \sqrt{b^2 + (d-x)^2}$$

όπου το x προσδιορίζει το σημείο P στο οποίο η ακτίνα συναντά το κάτοπτρο. Σύμφωνα με την αρχή του Fermat, το P πρέπει να έχει τέτοια θέση ώστε ο χρόνος που απαιτείται για τη διαδρομή να είναι ελάχιστος (ή μέγιστος ή να παραμείνει αμετάβλητος). Αλλιώς, το ολικό μήκος l της ακτίνας πρέπει να είναι ελάχιστο (ή μέγιστο ή να παραμείνει αμετάβλητο). Για όλες τις περιπτώσεις απαιτείται το dl/dx να είναι μηδέν. Παίρνοντας την παράγωγο αυτή έχουμε:

$$\frac{dl}{dx} = \left(\frac{1}{2}\right)(a^2 + x^2)^{-1/2}(2x) + \frac{1}{2}[b^2 + (d-x)^2]^{-1/2}(2)(d-x)(-1) = 0$$

που γράφεται

$$\frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \frac{d - x}{\sqrt{b^2 + (d - x)^2}}$$

Συγκρίνοντας με το σχήμα 5 , μπορούμε να γράψουμε

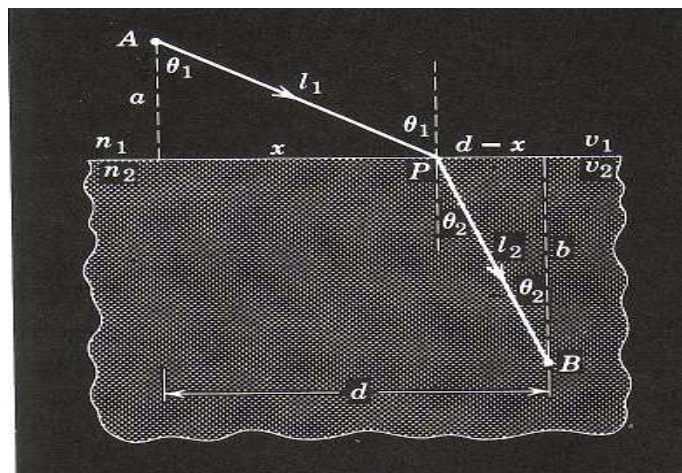
$$\sin\theta_1 = \sin\theta_1'$$

ή

$$\theta_1 = \theta_1'$$

που είναι ο νόμος της ανάκλασης.

Για την απόδειξη του νόμου της διάθλασης με την αρχή του Fermat, θεωρήστε το σχήμα 6, που δείχνει δυο σημεία A και B σε δυο διαφορετικά μέσα και μια ακτίνα που τα συνδέει.



Σχήμα 6 [3]

Ο χρόνος t δίνεται από την

$$t = \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2}$$

Λόγω της σχέσης $n = c / v$ αυτή μπορεί να γραφτεί ως:

$$t = \frac{n_1 l_1 + n_2 l_2}{c} = \frac{l}{c}$$

Η ποσότητα $l (= n_1 l_1 + n_2 l_2)$ ονομάζεται μήκος του οπτικού δρόμου της ακτίνας. Η εξίσωση 8 ($\lambda n = \lambda / n$) δείχνει ότι το μήκος του οπτικού δρόμου ισούται προς το μήκος που θα είχε ο ίδιος ο αριθμός κυμάτων αν το μέσο ήταν το κενό. Το μήκος του οπτικού δρόμου δεν πρέπει να ταυτίζεται με το γεωμετρικό δρόμο, που ισούται με $l_1 + l_2$. Η αρχή του Fermat απαιτεί το l να είναι ελάχιστο (ή μέγιστο ή να παραμένει αμετάβλητο) που στη συνέχεια απαιτεί το x να είναι τέτοιο ώστε $dl / dx = 0$. Ο οπτικός δρόμος είναι:

$$l = n_1 l_1 + n_2 l_2 = n_1 \sqrt{a^2 + x^2} + n_2 \sqrt{b^2 + (d - x)^2}$$

Η παραγωγή δίνει:

$$\frac{dl}{dx} = n_1 \left(\frac{1}{2}\right)(a^2 + x^2)^{-1/2} (2x) + n_2 \left(\frac{1}{2}\right)[b^2 + (d - x)^2]^{-1/2} (2)(d - x)(-1) = 0$$

που γράφεται και

$$n_1 \frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = n_2 \frac{d - x}{\sqrt{b^2 + (d - x)^2}}$$

Συγκρίνοντας με το σχήμα 6 μπορούμε να γράψουμε

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 ,$$

που είναι ο νόμος της διάθλασης. Και στα δυο παραδείγματα της παραγράφου αυτής ο απαιτούμενος χρόνος ή , ισοδύναμα, το μήκος του οπτικού δρόμου αποδεικνύεται ότι είναι ένα ελάχιστο.

2.2 Η Περίθλαση

1. ΓΕΝΙΚΑ.

Τα φαινόμενα που οφείλονται στην υπέρθεση δύο ή περισσότερων κυμάτων που έχουν την ίδια συχνότητα και συνυπάρχουν στο αυτό σημείο του χώρου, ονομάζονται **φαινόμενα συμβολής**. Ένα τέτοιο φαινόμενο είναι η δημιουργία στάσιμου κύματος που προέρχεται από την υπέρθεση δύο δευτερευόντων κυμάτων τα οποία διαδίδονται σε αντίθετες κατευθύνσεις¹. Τα **φαινόμενα περίθλασης** οφείλονται στην "ικανότητα" των κυμάτων να παρακάμπτουν εμπόδια που συναντούν στο δρόμο τους, έτσι ώστε να παρατηρούνται και σε περιοχές του χώρου, πίσω από τα εμπόδια, οι οποίες θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν σαν περιοχές **γεωμετρικής σκιάς**². Στην ουσία τους τα φαινόμενα περίθλασης είναι και αυτά φαινόμενα συμβολής, οφείλονται δηλαδή στην υπέρθεση κυμάτων της ίδιας συχνότητας που συνυπάρχουν στο αυτό σημείο του χώρου. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτύξουμε κάποιες χαρακτηριστικές περιπτώσεις περίθλασης από σχισμές, παρέχοντας μόνο μια απλή προσέγγιση του φαινομένου.

Σύμφωνα με τη γεωμετρική οπτική, όταν ένα αδιαφανές αντικείμενο τοποθετηθεί μεταξύ μιας σημειακής φωτεινής πηγής και ενός πετάσματος, η σκιά του αντικειμένου διαμορφώνει ένα περίγραμμα που διακρίνεται με απόλυτη σαφήνεια. Δεν προσπίπτει καθόλου φως στο πέτασμα σε σημεία μέσα στη σκιά, ενώ η εκτός σκιάς περιοχή φωτίζεται σχεδόν ομοιόμορφα. Παρατηρούμε δηλαδή ότι η κυματική φύση του φωτός προκαλεί φαινόμενα που δεν μπορούν να εξηγηθούν βάση του απλού μοντέλου της γεωμετρικής οπτικής. Μια σημαντική κατηγορία των φαινομένων αυτών εκδηλώνεται όταν το φως προσπίπτει σε ένα εμπόδιο με ένα άνοιγμα ή μια ακμή. Τα διαμορφώματα συμβολής που προκύπτουν υπό τις συνθήκες αυτές συμπεριλαμβάνονται στα πειράματα που ταξινομούνται υπό τον τίτλο **φαινόμενα περίθλασης**. Διαμορφώματα περίθλασης δεν παρατηρούνται συχνά στην καθημερινή μας ζωή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι περισσότερες κοινές πηγές φωτός δεν είναι ούτε μονοχρωματικές, ούτε σημειακές φωτεινές πηγές. Η περίθλαση περιγράφεται πολλές φορές ως «η παράκαμψη του φωτός γύρω από ένα εμπόδιο». Εν τούτοις η διαδικασία που προκαλεί φαινόμενα περίθλασης ενυπάρχει στη διάδοση κάθε κύματος. Όταν ένα μέρος του κύματος αποκόπτεται από ένα εμπόδιο, παρατηρούμε φαινόμενα περίθλασης που προκύπτουν από τη συμβολή των

υπολοίπων μερών των μετώπων του κύματος. Κάθε οπτικό όργανο χρησιμοποιεί ένα περιορισμένο τμήμα του κύματος, για παράδειγμα ένα τηλεσκόπιο χρησιμοποιεί μόνο το μέρος του κύματος που εισχωρεί στο σύστημα μέσω του αντικειμενικού φακού του. Επομένως η περίθλαση παίζει ρόλο σε όλα σχεδόν τα οπτικά φαινόμενα.

5. ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΣΧΙΣΜΗ.

Στα φαινόμενα συμβολής που περιγράψαμε στα προηγούμενα εδάφια, θεωρήσαμε τις πηγές σημειακές. Όταν μια πηγή είναι εκτεταμένη και οι διαφορές φάσης των κυμάτων που εκπέμπονται από τα διάφορα σημεία της είναι καθορισμένες, τότε προκειμένου να υπολογίσουμε το αποτέλεσμα των φαινομένων συμβολής σε κάποιο σημείο P του χώρου, θα πρέπει να βρούμε τη συνεισφορά dE ενός απειροστού τμήματος της πηγής με επιφάνεια ds , στο συνολικό πεδίο E που παρατηρείται στη θέση P και να ολοκληρώσουμε πάνω σ' όλη την επιφάνεια s της πηγής. Την ίδια ακριβώς μέθοδο εφαρμόζουμε στην περίπτωση του υπολογισμού των αποτελεσμάτων συμβολής που προκαλούνται από σχισμές για τις οποίες είναι ορισμένη σε κάθε σημείο του ανοίγματός τους η συνάρτηση που περιγράφει το πεδίο. Για τους λόγους που έχουμε εκθέσει στο εδάφιο 1, φαινόμενα συμβολής που ανήκουν στην κατηγορία αυτή, ονομάζονται

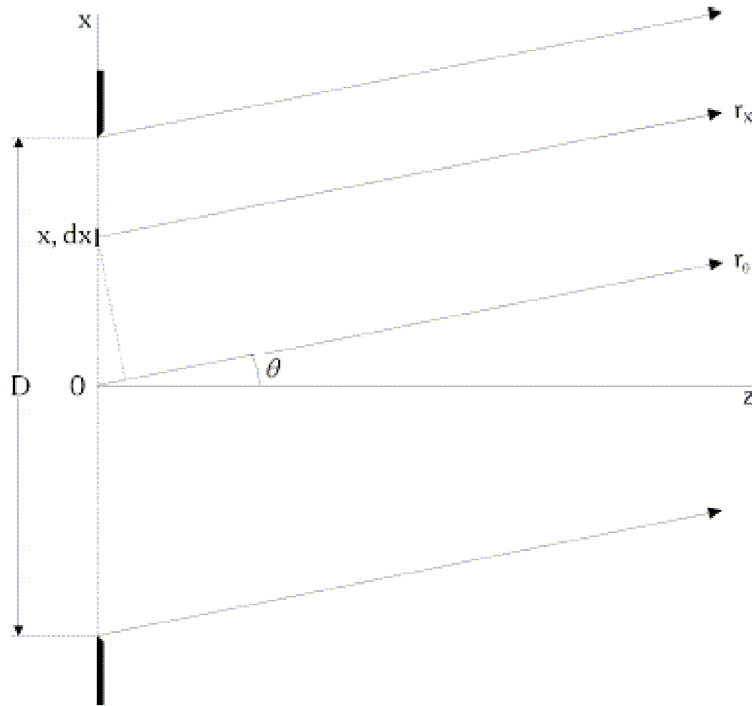
φαινόμενα περίθλασης. Θα εξετάσουμε τώρα την απλή περίπτωση περίθλασης από μια σχισμή απείρου μήκους και εύρους D . Πρακτικά αυτό επιτυγχάνεται εφ' όσον το μήκος μιας σχισμής είναι πολύ μεγαλύτερο από το εύρος της. Ας υποθέσουμε ότι η σχισμή κείται στο επίπεδο xy και ότι σε όλη την έκτασή της το ηλεκτρικό πεδίο έχει σταθερό πλάτος E_0 και περιγράφεται από τη συνάρτηση

$$E(x, y, t) = E_0 e^{i\omega t}$$

Το σχήμα 7, που δείχνει μια τομή της σχισμής με το επίπεδο xz , θα μας βοηθήσει στους υπολογισμούς. Προφανώς η σχισμή εκτείνεται κατά μήκος της διεύθυνσης y . Αν το σημείο παρατήρησης βρίσκεται στη διεύθυνση θ ως προς τον άξονα z και σε απόσταση $ro \gg D$ από τον άξονα της σχισμής, τότε όλες οι ευθείες που άγονται από κάθε σημείο του άξονα x (μέσα στα όρια της σχισμής) προς το σημείο παρατήρησης θα είναι πρακτικά παράλληλες. Εφ' όσον κάθε σημείο της σχισμής θεωρηθεί σαν σημειακή πηγή, τότε το πεδίο στο σημείο παρατήρησης που οφείλεται στα κύματα που φτάνουν εκεί από ένα στοιχειώδες μήκος dx , που απέχει κατά x από το 0, μπορεί να γραφεί

$$dE = \frac{E_0}{r_x} e^{i(\omega t - kr_x)} dx \quad (9)$$

Και εδώ θα θεωρήσουμε αμελητέα τη μεταβολή του πλάτους του πεδίου για μικρές μεταβολές του rx στον παρονομαστή της παραπάνω



Σχήμα 7

σχέσης όταν το $rx \gg D$ και θα δεχτούμε (μόνο για τον παρονομαστή) ότι $rx \approx r_0$. Επειδή όμως η φάση είναι πολύ ευαίσθητη και σε μικρές ακόμη μεταβολές του rx , μπορούμε σε πρώτη προσέγγιση να θέσουμε

$$r_x \cong r_0 - \sin \theta \quad (10)$$

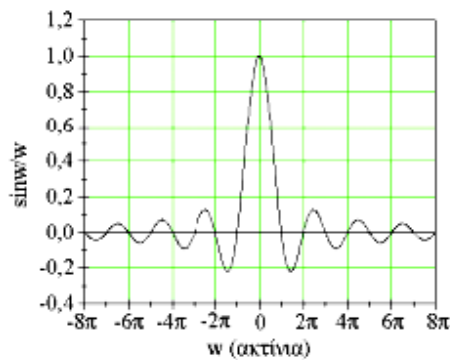
και η σχέση (9) γίνεται

$$dE = \frac{E_0}{r_0} e^{i(\omega t - kr_0 + kx \sin \theta)} dx \quad (11)$$

Προφανώς το συνολικό πεδίο στο σημείο παρατήρησης - σε απόσταση r_0 από το 0, στη διεύθυνση θ - θα προκύπτει σαν υπέρθεση όλων των στοιχειωδών συνεισφορών, επομένως με ολοκλήρωση της σχέσης (11) καθώς το x μεταβάλλεται από την τιμή $-D/2$ ως την τιμή $D/2$. Θα είναι λοιπόν

$$E(r_0, \theta, t) = \frac{E_0}{r_0} e^{i(\omega t - kr_0)} \int_{-D/2}^{D/2} e^{ikx \sin \theta} dx$$

όπου προφανώς θέσαμε έξω από το ολοκλήρωμα τους σταθερούς



Σχήμα 8

παράγοντες. Για το ολοκλήρωμα έχουμε

$$\int_{-D/2}^{D/2} e^{ikx \sin \theta} dx = \frac{e^{ik \sin \theta}}{ik \sin \theta} \Big|_{-D/2}^{+D/2} = \frac{e^{i/2 k D \sin \theta} - e^{-i/2 k D \sin \theta}}{ik \sin \theta} = \frac{2i \sin(1/2 k D \sin \theta)}{ik \sin \theta} = D \frac{\sin w}{w}$$

όπου

$$w = \frac{1}{2} k D \sin \theta \quad (12)$$

Άρα παίρνουμε τελικά για το πεδίο στο σημείο παρατήρησης

$$E(r_0, \theta, t) = E_0 \frac{D}{r_0} \frac{\sin w}{w} e^{i(\omega t - kr_0)} \quad (13)$$

Η σχέση αυτή περιγράφει ένα σφαιρικό κύμα που εκπέμπεται από το σημείο 0 με πλάτος που διαμορφώνεται στο χώρο σύμφωνα με τον παράγοντα $\sin w/w$. Η συνάρτηση $\sin w/w$ παρουσιάζει μέγιστο ίσο με τη μονάδα για $w = 0$ και μηδενίζεται για $w = m\pi$, όπου $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ και έχει τη μορφή που απεικονίζεται στο σχήμα 8. Θα υπολογίσουμε τώρα την ένταση στο σημείο παρατήρησης με τη βοήθεια της σχέσης (12) στην οποία σαν πλάτος θα θέσουμε το συντελεστή του εκθετικού όρου της σχέσης (13). Θα είναι

$$I(r_0, \theta) = \frac{1}{2} E_0^2 \frac{D^2}{r_0^2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \frac{\sin^2 w}{w^2} \quad (14)$$

Για $\theta=0$ είναι $w=0$ και η ένταση τότε είναι

$$I(r_0, 0) = I_0 = \frac{1}{2} E_0^2 \frac{D^2}{r_0^2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \quad (15)$$

όπου I_0 είναι προφανώς η ένταση σε απόσταση r_0 από τη σχισμή, στη διεύθυνση $\theta=0$, δηλαδή απέναντι ακριβώς από τη σχισμή. Έτσι γράφουμε τελικά τη σχέση (14) με τη μορφή

$$I(\theta) = I_0 \frac{\sin^2 w}{w^2}$$

$$w = \frac{1}{2} k D \sin \theta \quad (16)$$

Μηδενισμός της έντασης θα παρατηρείται σε εκείνες τις διευθύνσεις θ , για τις οποίες $w=m\pi$, όπου $m=\pm 1, \pm 2, \dots$ (Στο $m=0$ αντιστοιχεί το μέγιστο I_0 της έντασης). Επομένως μηδενισμούς της έντασης θα έχουμε, σύμφωνα με τη δεύτερη από τις σχέσεις (16) θέτοντας $k=2\pi/\lambda$, όταν

$$\sin \theta_m = m \frac{\lambda}{D}, m = \pm 1, \pm 2, \dots \quad (17)$$

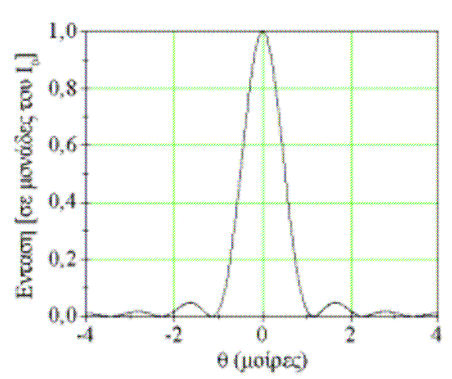
Τα μέγιστα της έντασης προφανώς θα αντιστοιχούν στα ακρότατα της συνάρτησης $\sin w/w$. Παραγωγίζοντάς την και εξισώνοντας με το μηδέν θα πάρουμε την τριγωνομετρική εξίσωση

$$w = \tan w$$

η επίλυση της οποίας παρέχει τις τιμές του w που αντιστοιχούν σε μέγιστα της έντασης. Με τη βοήθεια της δεύτερης από τις σχέσεις (16), μπορούμε κατόπιν, για κάποιο συγκεκριμένο πρόβλημα στο οποίο είναι γνωστός ο κυματικός αριθμός k (ή το μήκος κύματος λ) και το εύρος D της σχισμής, να υπολογίσουμε τις διευθύνσεις θ στις οποίες αντιστοιχούν αυτά τα μέγιστα. Στο σχήμα 18 απεικονίζεται η κατανομή της έντασης συναρτήσει της γωνίας θ , για μια σχισμή το εύρος της οποίας είναι 50 φορές μεγαλύτερο από το μήκος κύματος ($D/\lambda=50$).

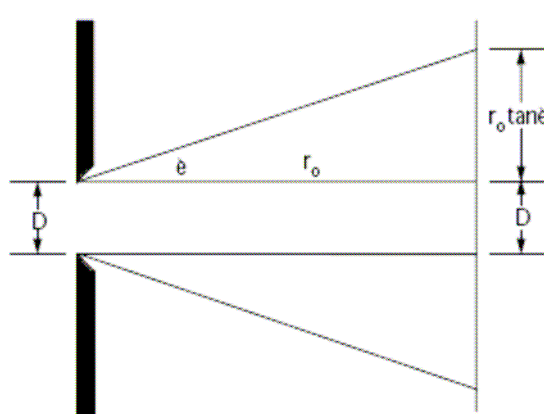
6. ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ FRAUNHOFER.

Στο εδάφιο 5, προκειμένου να αναλύσουμε το φαινόμενο της περίθλασης κυμάτων από σχισμή εύρους D , υποθέσαμε ότι το σημείο στο οποίο παρατηρούνται τα περιθλαστικά φαινόμενα βρίσκεται πολύ μακριά



Σχήμα 9

από τη σχισμή, δεχόμενοι ότι η απόσταση $ro \gg D$. Θα προσπαθήσουμε τώρα να αναδείξουμε ένα ασφαλέστερο και ακριβέστερο κριτήριο για την εφαρμογή όσων αναπτύξαμε στο εδάφιο 5. Ας υποθέσουμε ότι σε μια σχισμή εύρους D προσπίπτει μια παράλληλη δέσμη κυμάτων, όπως



Σχήμα 10

δείχνει το σχήμα 10. Αν μετρηθεί η ένταση σε απόσταση r_0 , ο πρώτος μηδενισμός της λόγω περίθλασης, θα παρατηρηθεί σύμφωνα με τη σχέση (17) στη διεύθυνση με $\sin\theta=\lambda/D$. Για να είναι έντονα εμφανές το φαινόμενο της περίθλασης, θα πρέπει η θέση στην οποία παρατηρούμε τον πρώτο κατά σειρά μηδενισμό της έντασης να είναι πολύ μακριά από τα όρια της περιοχής με εύρος D , απέναντι ακριβώς από τη σχισμή, στην οποία θα έφταναν τα κύματα αν ακολουθούσαν ευθύγραμμη πορεία. Η θέση του πρώτου μηδενισμού της έντασης σε ένα πέτασμα τοποθετημένο σε απόσταση r_0 από τη σχισμή θα απέχει, σύμφωνα με το σχήμα 10, κατά $r_0 \tan\theta$ από τα όρια της περιοχής με εύρος D . Επομένως θα πρέπει να είναι

$$r_0 \tan\theta \gg D \quad (19)$$

Αν το μήκος κύματος λ είναι πολύ μικρότερο από το εύρος D της σχισμής, τότε σύμφωνα με τη σχέση (17) η γωνία θ πρέπει να είναι πολύ μικρή και επομένως $\tan\theta \approx \theta$ και $\theta \approx \lambda/D$. Επομένως η σχέση (19) μπορεί τελικά να γραφεί

$$r_0 \gg \frac{D^2}{\lambda} \quad (20)$$

Αυτό ακριβώς είναι και το ζητούμενο κριτήριο για την ισχύ όσων αναπτύξαμε στο εδάφιο 5, εφ' όσον φυσικά, όπως δεχτήκαμε παραπάνω, είναι $\lambda \ll D$. Όταν ικανοποιείται το κριτήριο (20), η περίθλαση φέρει το όνομα **περίθλαση Fraunhofer**. Πρέπει να σημειώσουμε ότι το κριτήριο αυτό ικανοποιείται πολύ εύκολα στη περίπτωση κυμάτων φωτός που περιθλώνται από στενή σχισμή.

7. ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΠΟΛΛΕΣ ΣΧΙΣΜΕΣ.

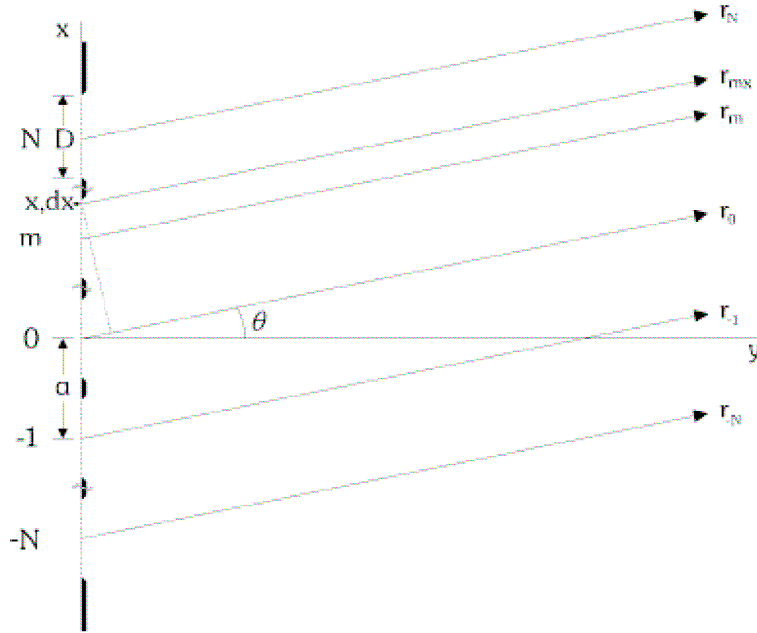
Ας θεωρήσουμε ένα πλήθος από $2N+1$ παράλληλες μεταξύ τους σχισμές εύρους D , που η απόστασή τους από κέντρο σε κέντρο είναι a και τις οποίες έχουμε αριθμήσει από $-N$ έως N . Μια τέτοια διάταξη σχισμών ονομάζεται **φράγμα περίθλασης**. Θα δεχτούμε ότι ικανοποιείται επαρκώς το κριτήριο για περίθλαση Fraunhofer και θα αναζητήσουμε τη σχέση που δίνει την ένταση. Ας θεωρήσουμε τη m -στή σχισμή. Το κέντρο της βρίσκεται στη θέση $x=ma$, το κάτω όριό της στη θέση $x=ma-D/2$ και το άνω όριό της στη θέση $x=ma+D/2$. Αν το σημείο στο οποίο παρατηρούνται τα περιθλαστικά φαινόμενα βρίσκεται πολύ μακριά, στη διεύθυνση θ σε απόσταση ro από το κέντρο της σχισμής με αριθμό 0 και η απόσταση ενός σημείου x της m -στής σχισμής από το σημείο παρατήρησης είναι rmx , μπορούμε σε πρώτη προσέγγιση να γράψουμε

$$r_{mx} \cong r_0 - x \sin \theta \quad (21)$$

Και εδώ θα δεχτούμε ότι η μεταβολή του πλάτους των κυμάτων για μικρές μεταβολές της απόστασης είναι αμελητέα και ότι στο σημείο παρατήρησης το πλάτος είναι ίσο με Eo/ro , όπου Eo =σταθ., είναι το πλάτος στο επίπεδο των σχισμών. Αν dE είναι η συνεισφορά στο συνολικό πεδίο ενός στοιχείου της m -στής σχισμής με μήκος dx , που βρίσκεται στη θέση x , τότε σύμφωνα με τη σχέση (11) του εδαφίου 5 θα είναι

$$dE = \frac{E_0}{r_0} e^{i(\omega t - kr_0 + kx \sin \theta)} dx \quad (22)$$

Η συνεισφορά στο συνολικό πεδίο από τη m -στή σχισμή θα προκύπτει σαν υπέρθεση όλων των στοιχειωδών συνεισφορών από τη σχισμή αυτή,



Σχήμα 11

επομένως με ολοκλήρωση της σχέσης (22), καθώς το x μεταβάλλεται από την τιμή $ma-D/2$ ως την τιμή $ma+D/2$. Θα έχουμε λοιπόν

$$E(r_0, \theta, t) = \frac{E_0}{r_0} e^{i(\omega t - kr_0)} \int_{ma-D/2}^{ma+D/2} e^{ikx \sin \theta} dx$$

όπου προφανώς θέσαμε έξω από το ολοκλήρωμα τους σταθερούς παράγοντες. Για το ολοκλήρωμα έχουμε

όπου

$$\int_{ma-D/2}^{ma+D/2} e^{ikx \sin \theta} dx = \frac{e^{ikx \sin \theta}}{ik \sin \theta} \Big|_{ma-D/2}^{ma+D/2} = \frac{e^{\frac{i}{2}kD \sin \theta} - e^{-\frac{i}{2}kD \sin \theta}}{ik \sin \theta}$$

$$= \frac{2i \sin(\frac{1}{2} kD \sin \theta)}{ik \sin \theta} e^{imka \sin \theta} = D \frac{\sin w}{w} e^{imka \sin \theta}$$

$$w = \frac{1}{2} kD \sin \theta \quad (23)$$

Άρα η συνεισφορά της m -στής σχισμής στο συνολικό πεδίο είναι

$$E_m(r_0, \theta, t) = E_0 \frac{D \sin w}{r_0 w} e^{imka \sin \theta} e^{i(\omega t - kr_0)} \quad (24)$$

Το συνολικό πεδίο θα προκύπτει σαν υπέρθεση των συνεισφορών από τις $2N+1$ σχισμές και επομένως θα δίνεται από το άθροισμα όρων της μορφής (24) για $-N \leq m \leq N$. Έτσι το συνολικό πεδίο στο σημείο παρατήρησης είναι

$$E(r_0, \theta, t) = \sum_{m=-N}^N E_m(r_0, \theta, t) = E_0 \frac{D \sin w}{r_0 w} e^{i(\omega t - kr_0)} \sum_{m=-N}^N e^{imka \sin \theta} \quad (25)$$

Παρατηρούμε ότι οι όροι του αθροίσματος στο δεξί μέλος της τελευταίας σχέσης αποτελούν γεωμετρική πρόοδο με πρώτον όρο το $e^{-iNka \sin \theta}$, λόγο $e^{ika \sin \theta}$ και πλήθος όρων $2N+1$. Αν θέσουμε

$$ka \sin \theta = 2u \quad (26)$$

παίρνουμε για το άθροισμα αυτό

$$\sum_{m=-N}^N e^{2imu} = \frac{e^{-2iNu} [e^{2i(2N+1)u} - 1]}{e^{2iu} - 1} = \frac{e^{i(2N+1)u} - e^{-i(2N+1)u}}{e^{iu} - e^{-iu}} = \frac{\sin[(2N+1)u]}{\sin u}$$

Επομένως το συνολικό πεδίο στη θέση παρατήρησης των περιθλαστικών φαινομένων, θα είναι:

$$E(r_0, \theta, t) = E_0 \frac{D \sin Mu}{r_0 \sin u} e^{i(\omega t - kr_0)} \quad (27)$$

Τα w και u δίνονται από τις σχέσεις

$$\begin{aligned} w &= \frac{1}{2} kD \sin \theta = \frac{\pi D \sin \theta}{\lambda} \\ u &= \frac{1}{2} ka \sin \theta = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} \end{aligned} \quad (28)$$

Έχουμε θέσει για το πλήθος των σχισμών $M=2N+1$. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η σχέση (27) ισχύει για οποιοδήποτε ακέραιο $M \geq 1$. Η αρχική επιλογή μιας διάταξης περιττού πλήθους σχισμών, έγινε για λόγους συμμετρίας και μόνο, προκειμένου να γίνουν ευχερέστεροι οι υπολογισμοί. Παρατηρούμε στη σχέση (27), ότι το πλάτος του πεδίου στις= διάφορες διευθύνσεις θ , διαμορφώνεται από τον παράγοντα $\sin w/w$ που περιγράφει την περίθλαση από μια σχισμή και από τον παράγοντα $\sin Mu/\sin u$ που περιγράφει τη συμβολή από M πηγές. Ας υπολογίσουμε τώρα την ένταση στο σημείο παρατήρησης. Με τη βοήθεια της σχέσης (29), αν λάβουμε το πλάτος ίσο με τον συντελεστή του εκθετικού παράγοντα της σχέσης (27) θα έχουμε

$$I(r_0, \theta) = \frac{1}{2} E_0^2 \frac{D^2}{r_0^2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \frac{\sin^2 w}{w^2} \frac{\sin^2 Mu}{\sin^2 u} \quad (29)$$

Παρατηρούμε ότι η ποσότητα

$$I_0 = \frac{1}{2} E_0^2 \frac{D^2}{r_0^2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}}$$

είναι σύμφωνα με τη σχέση (15), η ένταση σε απόσταση r_0 στη διεύθυνση $\theta = 0$, από μια μόνο σχισμή. Έτσι μπορούμε τελικά να γράψουμε για την ένταση στο σημείο παρατήρησης

$$I(\theta) = I_0 \frac{\sin^2 w}{w^2} \frac{\sin^2 Mu}{\sin^2 u} \quad (30)$$

Τη συμπεριφορά των δύο παραγόντων στο δεξί μέλος της σχέσης (30), έχουμε διερευνήσει στα εδάφια 5 και 4 αντίστοιχα. Επομένως το φαινόμενο της περίθλασης από ένα πλήθος σχισμών, είναι συνδυασμός περίθλασης από σχισμή και συμβολής από πολλές σημειακές πηγές. Παρατηρούνται κροσσοί συμβολής στις διευθύνσεις για τις οποίες μηδενίζεται η ποσότητα $\sin u$, όπως ακριβώς έχουμε περιγράψει στο εδάφιο 4, η ένταση των οποίων καθορίζεται από τον παράγοντα $\sin 2w/w^2$ τον οποίο διερευνήσαμε στο εδάφιο 5. Η μέγιστη ένταση (εφ' όσον τα κύματα προσπίπτουν κάθετα στο επίπεδο των

σχισμών) παρατηρείται στη διεύθυνση $\theta=0$ και είναι ίση, όπως εύκολα προκύπτει από τη σχέση (30), με $M I_0$. Θα ολοκληρώσουμε την ανάλυσή μας με μια αριθμητική εφαρμογή. Έστω ότι ένα φράγμα περίθλασης αποτελείται από $M=5$ όμοιες σχισμές με εύρος $D=1\mu m=10^{-4}cm$ που απέχουν μεταξύ τους κατά μια απόσταση $a=5\mu m=5 \cdot 10^{-4}cm$. Στο φράγμα προσπίπτει κάθετα μια δέσμη κυμάτων φωτός με μήκος κύματος $\lambda=0,5\mu m=5 \cdot 10^{-5}cm$. Από τις σχέσεις (28) παίρνουμε

$$w = \frac{\pi D \sin \theta}{\lambda} = \pi \frac{10^{-4}}{5 \cdot 10^{-5}} \sin \theta = 2\pi \sin \theta$$

$$u = \frac{\pi D \sin \theta}{\lambda} = \pi \frac{10^{-4}}{5 \cdot 10^{-5}} \sin \theta = 10\pi \sin \theta \quad (31)$$

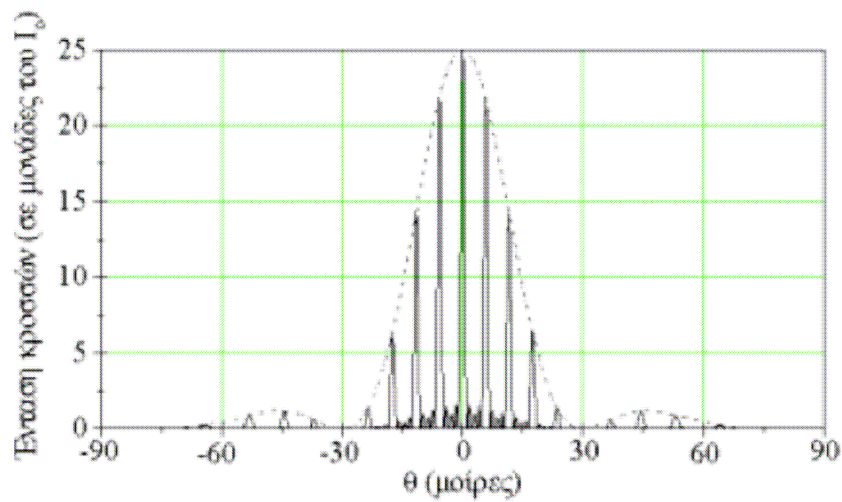
Οι κροσσοί συμβολής (δηλαδή τα κύρια μέγιστα της έντασης) θα αντιστοιχούν, σύμφωνα με όσα έχουμε εκθέσει στο εδάφιο 4, στις διευθύνσεις θm για τις οποίες $u = m\pi$, όπου m ακέραιος αριθμός. Σε συνδυασμό με τη δεύτερη από τις σχέσεις (31), για τις διευθύνσεις αυτές θα είναι

$$\sin \theta_m = m/10$$

Επειδή $\sin \theta m \leq 1$, συνάγεται ότι πρέπει να είναι $-10 \leq m \leq 10$. Μπορούμε δηλαδή θεωρητικά να παρατηρήσουμε συνολικά το πολύ μέχρι 21 κροσσούς (10 το πολύ κροσσούς εκατέρωθεν του κεντρικού κυρίου μεγίστου που είναι ο κροσσός μηδενικής τάξης). Μηδενισμούς της έντασης λόγω περίθλασης θα έχουμε, σύμφωνα με όσα αναπτύξαμε στο εδάφιο 5, στις διευθύνσεις θs για τις οποίες $w = s\pi$, όπου s ακέραιος. Τότε, σε συνδυασμό με την πρώτη από τις σχέσεις (31), για τις διευθύνσεις αυτές θα είναι:

$$\sin \theta_s = s/2$$

Επειδή $\sin \theta m \leq 1$, συνάγεται ότι μηδενισμό της έντασης λόγω περίθλασης μπορούμε να έχουμε μόνο για $s = -2, -1, +1, +2$. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε γωνίες $\theta -2 = -90^\circ$, $\theta -1 = -30^\circ$, $\theta 1 = 30^\circ$ και $\theta 2 = 90^\circ$. Για να είναι ίσες οι γωνίες θm και θs , πρέπει να είναι $m/10 = s/2$, δηλαδή $m = 5s$. Επομένως κροσσοί τάξης $m = -10, -5, +5, +10$, που αντιστοιχούν σε γωνίες $\theta -10 = -90^\circ$, $\theta -5 = -30^\circ$, $\theta 5 = 30^\circ$ και $\theta 10 = 90^\circ$, συμπίπτουν με τους μηδενισμούς της έντασης λόγω περίθλασης και θα απουσιάζουν από την εικόνα της συμβολής. Φυσικά τα συμπεράσματα αυτά ισχύουν μόνο για το συγκεκριμένο παράδειγμα που αναλύουμε εδώ. Η απουσία των κροσσών με τάξη $m = -10, -5, +5, +10$, οφείλεται, όπως εύκολα φαίνεται από τις σχέσεις (31), στο λόγο a/D που εδώ έχει την τιμή 5. Είναι προφανές ότι για να απουσιάζουν κροσσοί από την εικόνα συμβολής λόγω σύμπτωσής τους με μηδενισμούς της έντασης από περίθλαση, θα πρέπει ο λόγος a/D να είναι ακέραιος. Στο σχήμα 12 έχουμε παραστήσει γραφικά τη σχέση (30) για την κατανομή της έντασης στο χώρο, δίνοντας στις διάφορες παραμέτρους τις τιμές που χρησιμοποιήσαμε στην αριθμητική εφαρμογή που αναπτύξαμε παραπάνω.



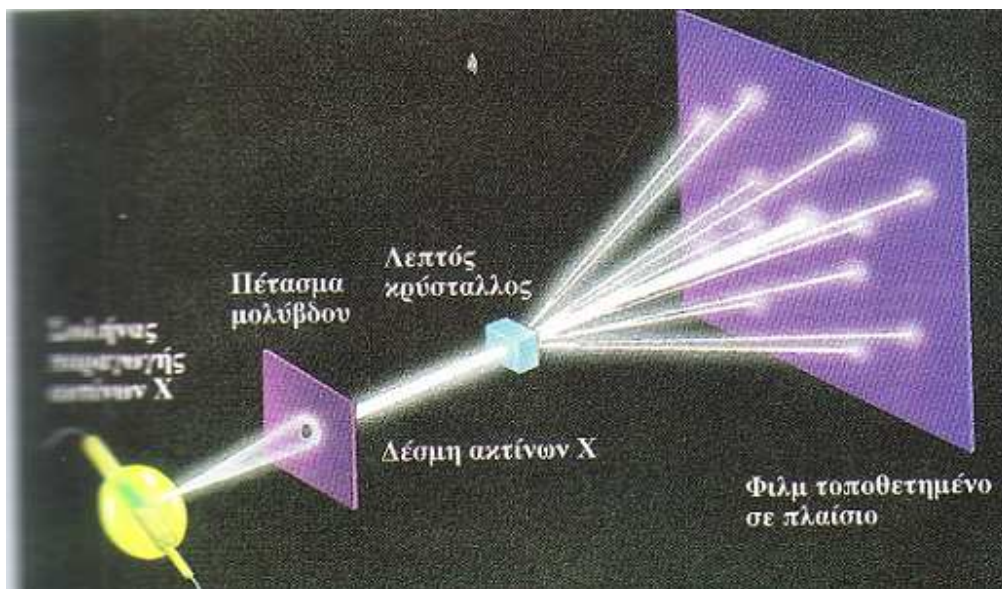
Σχήμα 12

Η εστιγμένη γραμμή που περιβάλλει τους κροσσούς αντιστοιχεί στον παράγοντα της περίθλασης. Παρατηρούμε ότι οι μηδενισμοί του παράγοντα αυτού αντιστοιχούν στις γωνίες που αναφέραμε παραπάνω, με αποτέλεσμα να απουσιάζουν οι κροσσοί 5ης τάξης. Οι κροσσοί 10^{ης} τάξης απουσιάζουν επίσης, επειδή όμως αντιστοιχούν σε γωνίες $\theta = \pm 90^\circ$, ακόμη και στην περίπτωση που δεν υπήρχε εκεί μηδενισμός της έντασης λόγω περίθλασης, στην πράξη η παρατήρησή τους θα ήταν προβληματική.

2.3 Περίθλαση Ακτίνων X

Οι ακτίνες X ανακαλύφθηκαν από τον Wilhelm Rontgen το 1895, ενώ τα αρχικά πειράματα απέδειξαν ότι επρόκειτο για ηλεκτρομαγνητικά κύματα μήκους τάξης των 10^{-10} m . Κατά την ίδια περίπου περίοδο άρχισε να μορφοποιείται η ιδέα στην επιστημονική κοινότητα ότι τα άτομα σε ένα κρυσταλλικό στερεό είναι διευθετημένα στις θέσεις ενός πλέγματος , σε μια κατά κανονικά διαστήματα επαναλαμβανόμενη περιοδική διάταξη , ενώ η εκτίμηση για την τάξη μεγέθους της απόστασης μεταξύ γειτονικών ατόμων ήταν τα 10^{-10} m. Συνδυάζοντας τις δυο αυτές ιδέες , ο MAX von Laue πρότεινε το 1912 ότι θα ήταν δυνατό ένας κρύσταλλος να αποτελέσει ένα είδος τρισδιάστατου φράγματος περίθλασης των ακτίνων X. Επομένως μια δέσμη ακτίνων X θα μπορούσε να υποστεί σκέδαση από τα μεμονωμένα άτομα ενός κρυστάλλου, ενώ τα σκεδασθέντα κύματα θα μπορούσαν να συμβάλουν , όπως ακριβώς συμβάλλουν τα φωτεινά κύματα από ένα φράγμα περίθλασης.

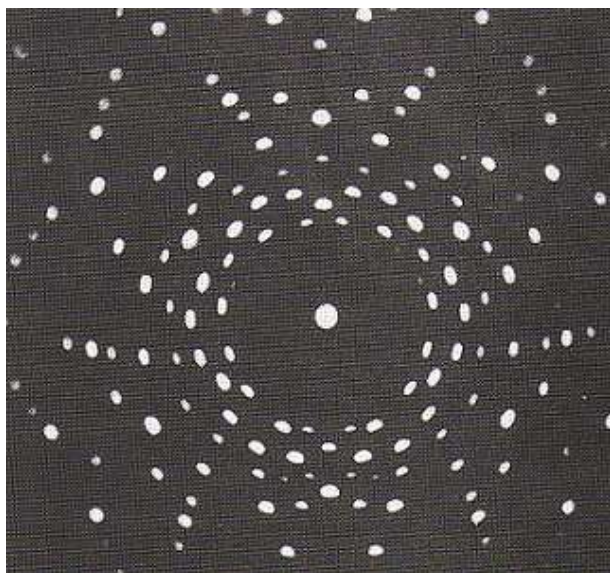
Τα πρώτα πειράματα περίθλασης ακτίνων X πραγματοποιήθηκαν το 1912 από τον Friederich Knipping και από τον von Laue ενώ χρησιμοποιήθηκε η πειραματική διάταξη , που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 30 .



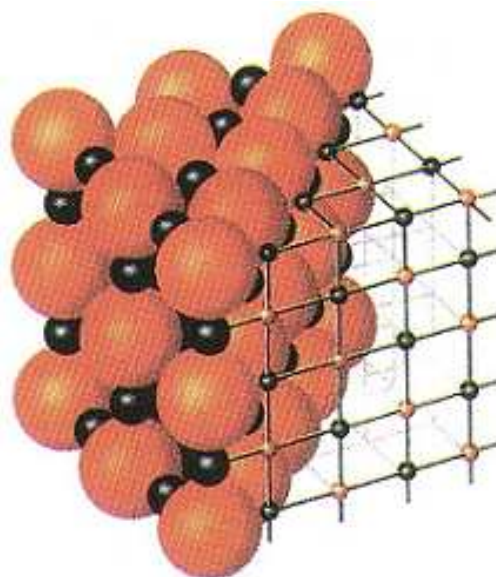
Σχήμα 30 [2]

Οι σκεδαζόμενες ακτίνες X πράγματι σχημάτισαν ένα διαμόρφωμα περίθλασης, που αποτύπωσαν σε φωτογραφικό φιλμ.

Το σχήμα 31 είναι μια φωτογραφία ενός διαφράγματος αυτού του είδους. Τα πειράματα αυτά επιβεβαίωσαν ότι οι ακτίνες X είναι κύματα , η τουλάχιστον ότι έχουν κυματικές ιδιότητες, καθώς επίσης και ότι τα άτομα σε ένα κρύσταλλο πράγματι είναι διευθετημένα σε μια κανονική διάταξη(σχήμα 32).



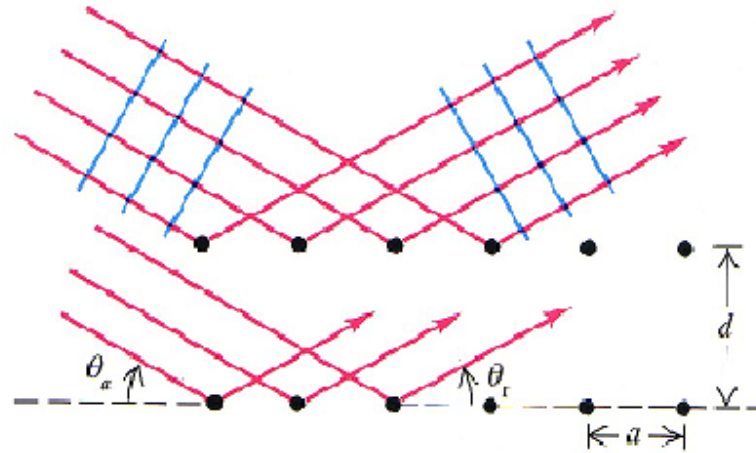
Σχήμα 31



Σχήμα 32 [2]

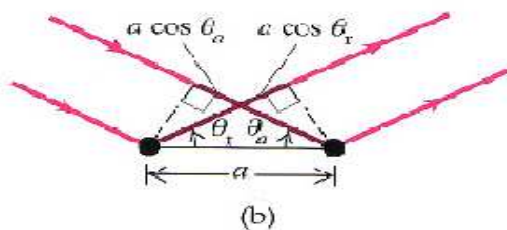
Έκτοτε η περίθλαση ακτίνων X έχει περίτρανα αποδείξει την χρησιμότητα της: πρόκειται για ένα ανεκτίμητο ερευνητικό εργαλείο , τόσο για τη μέτρηση του μήκους κύματος των ακτίνων X όσο και για την μελέτη της κρυσταλλικής δομής των υλικών.

Για να εισάγουμε τις βασικές έννοιες, θεωρούμε καταρχήν τη διάταξη σκέδασης δυο διαστάσεων, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 33,



Σχήμα 33

όπου ένα επίπεδο κύμα προσπίπτει σε ένα διδιάστατο ορθογώνιο πλέγμα κέντρων σκέδασης. Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να είναι η υδάτινη επιφάνεια με κυματοειδή κίνηση μιας δεξαμενής στην οποία έχει τοποθετηθεί μια διδιάστατη συστοιχία μικρών στύλων, ή η πρόσπτωση μικροκυμάτων μήκους κύματος 3 cm επί μιας διδιάστατης συστοιχίας μικρών αγωγίμων σφαιρών, ή η πρόσπτωση ακτίνων X επί μιας διδιάστατης συστοιχίας ατόμων. Στην περίπτωση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το κύμα επάγει μια ταλαντούμενη ηλεκτρική διπολική ροπή σε κάθε σκεδαστή. Τα δίπολα αυτά δρουν σαν μικρές κεραίες εκπέμποντας σκεδαζόμενα κύματα. Το προκύπτον διαμόρφωμα συμβολής είναι η υπέρθεση (επαλληλία) όλων αυτών των σκεδαζόμενων κυμάτων. Η περίπτωση είναι διαφορετική από την περίπτωση του φράγματος περίθλασης, στο οποίο



Σχήμα 34

υπολογίσουμε το διαμόρφωμα συμβολής πρέπει να θεωρήσουμε τις συνολικές διαφορές

τα κύματα που προέρχονται από όλες τις σχισμές εκπέμπονται σε φάση (αν πρόκειται για επίπεδο κύμα που προσπίπτει κάθετα στο φράγμα). Εδώ τα σκεδαζόμενα κύματα δεν είναι όλα σε φάση, αφού οι αποστάσεις τους από την πηγή είναι διαφορετικές. Για να

δρόμου για τα σκεδαζόμενα κύματα, συμπεριλαμβανομένων τόσο της απόστασης πηγής-σκεδαστή όσο και της απόστασης σκεδαστή-παρατηρητή.

Όπως δείχνει το σχήμα 34 , αν οι γωνίες Θ_a και Θ_r είναι ίσες, το μήκος του δρόμου από την πηγή ως τον σκεδαστή είναι το ίδιο για όλους τους σκεδαστές της ίδιας σειράς.



Σχήμα 35

Η σκεδαζόμενη ακτινοβολία από γειτονικές σειρές είναι επίσης σε φάση αν η διαφορά δρόμου, για γειτονικές σειρές , είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματος. Το σχήμα 35 δείχνει ότι αυτή η διαφορά δρόμου είναι ίση προς $2 \cdot d \cdot \sin \theta$.

Επομένως οι συνθήκες που επιτρέπουν στην ακτινοβολία που προέρχεται από όλη τη διδιάστατη συστοιχία να φθάσει στον παρατηρητή σε φάση είναι οι εξής: (1) Η γωνία πρόσπτωσης πρέπει να είναι ίση προς τη γωνία σκέδασης και (2) η διαφορά δρόμου για δυο γειτονικές σειρές πρέπει να είναι ίση προς $m \cdot \lambda$, όπου ο αριθμός m είναι ακέραιος.

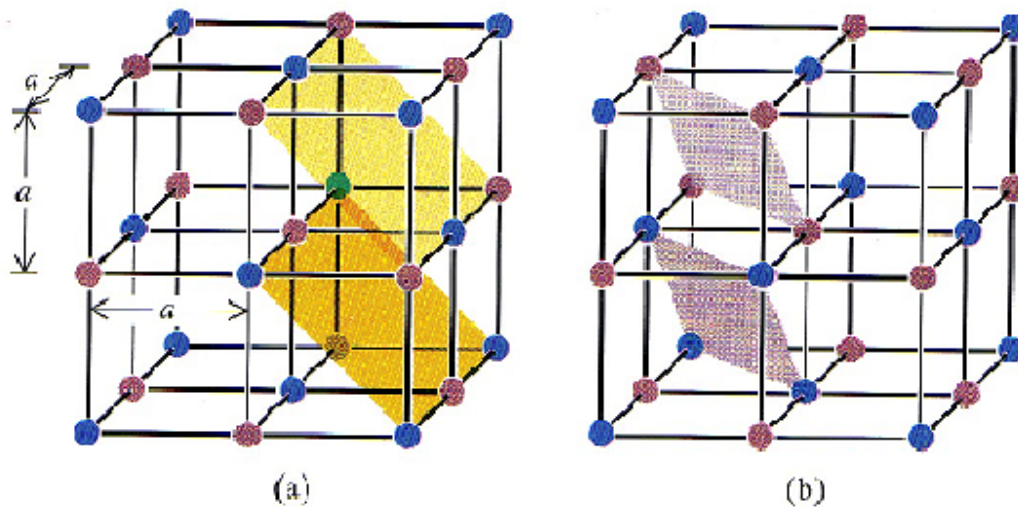
Μπορούμε να διατυπώσουμε την δεύτερη αυτή συνθήκη υπό μορφή εξίσωσης, ως εξής:

$$2 \cdot d \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (38)$$

Στις κατευθύνσεις που επαληθεύουν τη συνθήκη αυτή, παρατηρούμε ένα έντονο μέγιστο στο διαμόρφωμα συμβολής. Μπορούμε να περιγράψουμε τη συμβολή αυτή συναρτήσει των ανακλάσεων του κύματος από τις οριζόντιες σειρές των σκεδαστών του σχήματος 33 Έντονη ανάκλαση (ενισχυτική συμβολή) παρουσιάζεται σε γωνίες για τις οποίες οι γωνίες πρόσπτωσης και σκέδασης είναι ίσες και οι οποίες πληρούν την εξίσωση 38. Σημειώστε ότι η γωνία θ μετρείται συνήθως εκκινώντας από την επιφάνεια του κρυστάλλου. Έχουμε λοιπόν μια διαφορά από τον τρόπο με τον οποίο συνήθως αντιμετωπίζουμε τις γωνίες, σύμφωνα με τον οποίο μετρούμε το θ εκκινώντας από την

κάθετο προς το επίπεδο μιας συστοιχίας σχισμών η ενός φράγματος. Επιπλέον η εξίσωση 38 δεν συμπίπτει με την εξίσωση $d\sin\theta=m\lambda$ ($m=0,1,2,3,\dots$).

Μπορούμε να επεκτείνουμε την ανάλυση αυτή και σε μια τρισδιάστατη συστοιχία (πλέγμα) θεωρώντας επίπεδα σκεδαστών αντί σειρών σκεδαστών. Το σχήμα 36 δείχνει πολλά διαφορετικά σύνολα παράλληλων επιπέδων που διέρχονται από όλους τους σκεδαστές.



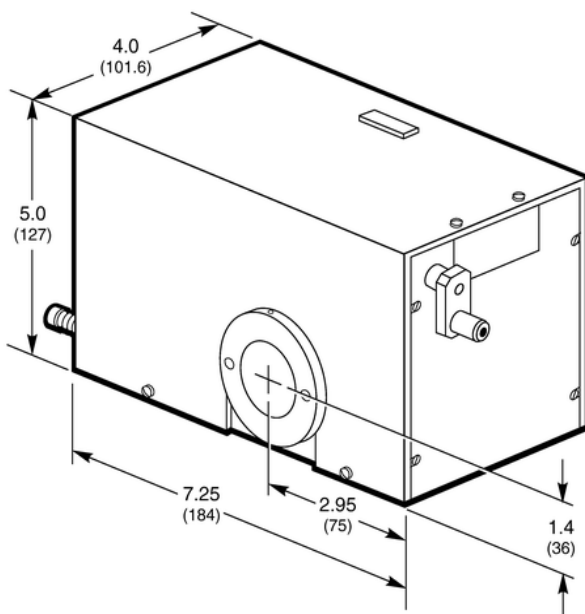
Σχήμα 36 [2]

Κύματα προερχόμενα από όλους τους σκεδαστές ενός επιπέδου συμβάλλουν ενισχυτικά αν οι γωνίες πρόσπτωσης και σκέδασης είναι ίσες. Επίσης εκδηλώνεται ενισχυτική συμβολή μεταξύ επιπέδων αν ικανοποιείται η εξίσωση 38, όπου d είναι τώρα η απόσταση μεταξύ γειτονικών επιπέδων. Επειδή υπάρχουν πολλά διαφορετικά σύνολα παράλληλων επιπέδων, υπάρχουν επίσης πολλές τιμές του d και πολλά σύνολα γωνιών που δίνουν ενισχυτική συμβολή για το σύνολο του κρυσταλλικού πλέγματος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ανάκλαση **Bragg** και η εξίσωση 38 ονομάζεται συνθήκη **Bragg**. Αν είναι γνωστή η σταθερά του κρυσταλλικού πλέγματος, είναι δυνατός ο προσδιορισμός του μήκους κύματος των ακτίνων X, όπως ακριβώς υπολογίσαμε μήκη κύματος στην ορατή περιοχή του φάσματος από την μέτρηση εικόνων περίθλασης που προέρχονται από σύνολα σχισμών η φράγματα.

3 Ο Μονοχρωμάτορας

Όταν διαθέτουμε μια φωτεινή πηγή λευκού φωτός, ενώ κάποια συσκευή πρέπει να φωτιστεί με μονοχρωματικό, χρησιμοποιούμε το μονοχρωμάτορα. Αυτό είναι ένα φασματοσκόπιο σταθερής εκτροπής σχήμα, στο οποίο ο προσοφθάλμιος φακός της διόπτρας έχει αντικατασταθεί με μια σχισμή (σχισμή εξόδου), που είναι τοποθετημένη στο εστιακό επίπεδο του πρώτου φακού της διόπτρας. Από τη σχισμή εξόδου βγαίνει μόνο εκείνο το μήκος κύματος, για το οποίο το είδωλο της σχισμής του κατευθυντήρα και η σχισμή εξόδου συμπίπτουν.

Αν, μετά τη σχισμή εξόδου του μονοχρωμάτορα, τοποθετήσουμε ένα όργανο μετρήσεως φωτεινής ροής (πχ φωτοκύτταρο), μπορούμε να μετρήσουμε την κατανομή του φωτός μιας φωτεινής πηγής ανά τα διάφορα μήκη κύματος. Τέτοια όργανα ονομάζονται φασματοφωτόμετρα και χρησιμοποιούνται ευρέως για τη μελέτη του φάσματος εκπομπής φωτεινών πηγών, είτε του φάσματος απορροφήσεως των διαφόρων χημικών ουσιών.

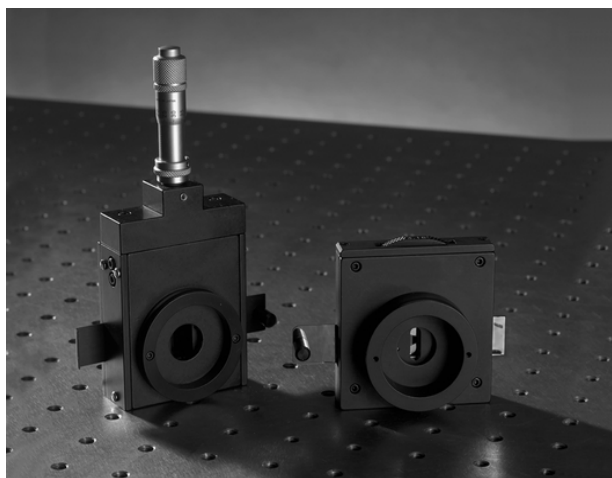


Ο μονοχρωμάτορας αποτελεί το μέσο ανάλυσης ή διασποράς της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας. Αποτελείται από καθρέπτες και φράγματα περίθλασης τα οποία είναι και τα οπτικά στοιχεία που διαχωρίζουν το σκεδαζόμενο φως σε μικρές παράλληλες δέσμες διαφορετικής ενέργειας. Τα φράγματα περίθλασης έχουν την μορφή επίπεδων καθρεπτών πάνω στους οποίους έχουν χαραχθεί με

πολύ μεγάλη ακρίβεια αύλακες, των οποίων οι αποστάσεις καθορίζουν την εικόνα

περίθλασης, ενώ τυπικές τιμές είναι περίπου 1800 αύλακες/mm. Μεταξύ των φραγμάτων περίθλασης και των καθρεπτών του μονοχρωμάτορα παρεμβάλλονται σχισμές το μέγεθος των οποίων είναι μεταβλητό καθορίζοντας έτσι την αναλυτική (διακριτική) ικανότητα του οργάνου.

Το αναλυμένο σήμα όταν εξέλθει από τον μονοχρωμάτορα είναι αρκετά ασθενές, για τον σκοπό αυτό η πρόσπτωσή του πάνω στην ευαίσθητη επιφάνεια ενός ανιχνευτή συνοδεύεται από ηλεκτρονική ενίσχυση. Στην θέση του ανιχνευτή μπορεί να υπάρχει φωτοπολλαπλασιαστής στην περίπτωση που η καταγραφή γίνεται με σάρωση (στροφή των φραγμάτων περίθλασης γύρω από τον άξονά τους έτσι ώστε να φτάνει κάθε χρονική στιγμή συγκεκριμένη δέσμης ενέργειας στον ανιχνευτή) ή σε άλλες περιπτώσεις με στοιχείο συζευγμένου φορτίου (CCD) για στιγμιαία καταγραφή προκαθορισμένου ενεργειακού “παραθύρου” του φάσματος. Τέλος, η χρήση κατάλληλου λογισμικού στον υπολογιστή είναι απαραίτητη για την συλλογή και επεξεργασία του φάσματος.



3.1 Απόλυτη Βαθμονόμηση

Για την βαθμονόμηση ενός φασματοφωτομέτρου χρησιμοποιούνται κυρίως πρότυπες πηγές ακτινοβολίας οι οποίες βαθμονομούνται αρχικά από κάποια πρότυπα ερευνητικά ινστιτούτα όπως τα: NIST (National Institute of Standards and Technology, USA), PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Germany) και NPL (National Physical Laboratory, UK). Στα εργαστήρια αυτά χρησιμοποιούνται πρότυπες μέθοδοι βαθμονόμησης των πηγών αυτών με τη χρήση τεχνικών όπως π.χ. το κρυογενικό φασματοφωτόμετρο το οποίο βασίζεται στη μέτρηση της αύξησης της θερμοκρασίας του

υγρού ηλίου κατά την πρόσπτωση σε αυτό μονοχρωματικής ακτινοβολίας, συγκρίνοντάς την με το ηλεκτρικό ρεύμα που προκαλεί το ίδιο φυσικό αποτέλεσμα, καθώς και άλλες μέθοδοι. Με τη βοήθεια των μεθόδων αυτών, βαθμονομούνται πρότυπες πηγές (λυχνίες) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βαθμονόμηση ενός φασματοφωτομέτρου. Η συνολική αβεβαιότητα που υπεισέρχεται στον χαρακτηρισμό των προτύπων αυτών πηγών είναι της τάξης του $\pm 3\%$. Αυτό σημαίνει ότι εξαρχής, και για την φασματική περιοχή από 280 nm έως και 400 nm υπάρχει ένα όριο στην μέγιστη απόλυτη ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί, κατά την βαθμονόμηση του εκάστοτε φασματοφωτομέτρου. Τα σφάλματα αυτά μπορεί να γίνουν ακόμη μεγαλύτερα με τη διαδικασία της γήρανσης της πηγής μετά την χρήση της σε αρκετές βαθμονομήσεις.

3.2 Φασματική βαθμονόμηση και διακριτική ικανότητα

Ένα σημαντικό πρόβλημα που μπορεί να εμφανιστεί στις μετρήσεις ενός φασματοφωτομέτρου είναι η μετατόπιση του συνόλου ή μέρους των φασματικών μετρήσεων σε σχέση με το μήκος κύματος. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τη χρήση πηγών υδραργύρου. Οι πηγές αυτές εκπέμπουν ακτινοβολία παρουσιάζοντας κάποια μέγιστα (κορυφές) σε κάποια γνωστά μήκη κύματος της υπεριώδους περιοχής. Γνωρίζοντας από τη θεωρία τις τιμές των κορυφών αυτών μπορεί εύκολα να βαθμονομηθεί φασματικά το όργανο απλώς μετρώντας το φάσμα της πηγής αυτής κατά το διάστημα μηκών κύματος που ενδιαφερόμαστε. Το πρόβλημα γίνεται πιο πολύπλοκο με βάση το γεγονός ότι ένα φασματοφωτόμετρο δεν κάνει απολύτως μονοχρωματικές μετρήσεις αλλά η μέτρηση που αντιστοιχεί σε ένα μήκος κύματος αντιπροσωπεύει ένα εύρος μηκών κύματος βαρυμένα με μια συνάρτηση βάρους χαρακτηριστική για κάθε όργανο

Η συνάρτηση αυτή καθορίζει την διακριτική ικανότητα του οργάνου και ονομάζεται συνάρτηση της σχισμής εισόδου (slit function). Η συνάρτηση αυτή αντιπροσωπεύει την πιθανότητα μέτρησης από το όργανο ενός φωτονίου στην φασματική περιοχή γύρω από ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος.

3.3 Σφάλματα που σχετίζονται με την ποιότητα των οργάνων

Τα σφάλματα αυτά προέρχονται από την μη σωστή σχεδίαση και κατασκευή των οργάνων και σχετίζονται άμεσα με την ποιότητα των μετρήσεων των συγκεκριμένων αυτών οργάνων.

i) Εσωτερικά σκεδαζόμενο φως (Stray Light)

Πρόκειται για το ανεπιθύμητο σήμα το οποίο προέρχεται από φωτόνια με διαφορετική ενέργεια από τα μετρούμενα, τα οποία φτάνουν στον φωτοπολλαπλασιαστή. Τα φωτόνια αυτά προέρχονται από σκέδαση του φωτός στα εσωτερικά οπτικά εξαρτήματα του οργάνου και καταμετρούνται με τυχαίο τρόπο από το όργανο. Το πρόβλημα εστιάζεται στους απλούς μονοχρωμάτορες αφού η δεύτερη ανάκλαση που λαμβάνει χώρα στο διπλό φασματοφωτόμετρο αποκλείει κάθε περίπτωση μέτρησης ακτινοβολίας με διαφορετικό μήκος κύματος από το επιθυμητό. Η φασματική περιοχή όπου το σφάλμα έχει την μεγαλύτερη επίδραση είναι η UV-B περιοχή. Σαν παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί πως στα μήκη κύματος μεταξύ 290 nm και 295 nm το σφάλμα αυτό μπορεί να έχει επίδραση έως και 50% στην τελική τιμή της ροής της ακτινοβολίας.

ii) Ακρίβεια στη μέτρηση του μήκους κύματος

Προέρχεται από μηχανικά ή οπτικά προβλήματα των εσωτερικών διατάξεων του οργάνου και έχει ως αποτέλεσμα τα φωτόνια που καταγράφονται από το όργανο να αντιστοιχούν σε άλλο, από το αναγραφόμενο, μήκος κύματος. Το σφάλμα αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μόνιμα προβλήματα ιδίως στα μικρά μήκη κύματος όπου η ροή της ακτινοβολίας μεταβάλλεται πολύ γρήγορα ως συνάρτηση του μήκους κύματος. Αρκετές μελέτες έχουν αναπτυχθεί για τον έλεγχο και τη διόρθωση του προβλήματος αυτού (Slaper et al., 1992) . Συνήθως για την βαθμονόμηση του μήκους κύματος χρησιμοποιούνται οι γραμμές εκπομπής τεχνητών πηγών ακτινοβολίας (λάμπες Υδραργύρου, Καδμίου, Νέον κ.α.) ή οι γραμμές Fraunhofer του ηλιακού φάσματος.

iii) Αποκλίσεις από τη γραμμικότητα .

Σημαντικά σφάλματα στη μέτρηση της υπεριώδους ακτινοβολίας μπορεί να προκληθούν από τη μη γραμμική απόκριση ενός οργάνου κατά την αύξηση της ροής της ακτινοβολίας, καθώς αυξάνεται το μετρούμενο μήκος κύματος του προσπίπτοντος

φωτός. Η βαθμονόμηση οργάνων με προβλήματα αυτού του είδους, είναι πολύ δύσκολη και ένας πιθανός τρόπος ελέγχου είναι η χρήση φίλτρων γνωστής φασματικής απόκρισης σε συνδυασμό με μια αρκετά ισχυρή πηγή ακτινοβολίας.

iv) Η θερμοκρασία

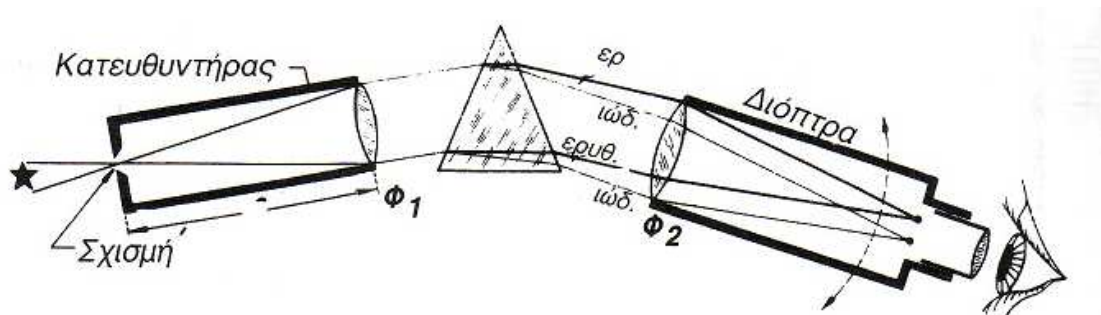
Οι εποχικές μεταβολές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας μπορούν αν προκαλέσουν προβλήματα σε όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Ιδίως τα όργανα που χρησιμοποιούν αναλογικούς δέκτες ή φωτοδιόδους έχουν πολλές πιθανότητες να επηρεασθούν από τις θερμοκρασιακές αλλαγές. Όργανα που χρησιμοποιούν μετρητές φωτονίων δεν είναι πολύ ευαίσθητα σε συνήθεις αλλαγές της θερμοκρασίας.

Η ποιότητα των δεδομένων των φασματοφωτομετρικών μετρήσεων έχει βελτιωθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό τα τελευταία χρόνια ως αποτέλεσμα της τεχνολογικής ανάπτυξης αλλά και της επιστημονικής έρευνας πάνω στην κατεύθυνση της εύρεσης των σφαλμάτων και ελάττωση της επίδρασής τους στο τελικό αποτέλεσμα των μετρήσεων. Ένα όργανο το οποίο λειτουργεί σε σωστή επιστημονική βάση μπορεί να δώσει μετρήσεις σχετικής ακρίβειας έως και $\pm 3\%$ και συγκρινόμενο με άλλα όργανα, μετρήσεις ακρίβειας της τάξης του $\pm 5\%$.

Όλα τα παραπάνω σφάλματα μπορούν να περιοριστούν με την κατάλληλη εκπαίδευση ειδικευμένου προσωπικού και την χρήση ενός σταθερού πρωτοκόλλου όσων αφορά τις βαθμονομήσεις και τη γενική συντήρηση του φασματοφωτομέτρου στην περιοχή όπου λαμβάνουν χώρα οι μετρήσεις. Σε γενικές γραμμές η καθημερινή συντήρηση και η οργάνωση πάνω σε θέματα που αφορούν προβλήματα των οργάνων κρίνεται ουσιαστική για μια ερευνητική ομάδα που ενδιαφέρεται για φασματικές μετρήσεις της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια και αξιοπιστία.

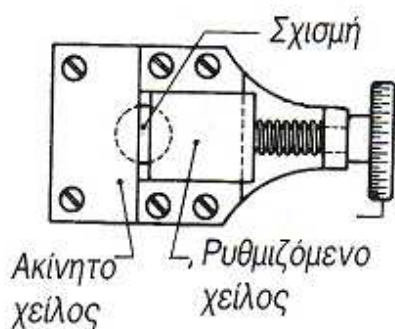
3.4 Φασματοσκόπιο

Τα όργανα με τα οποία γίνεται η εξέταση των φασμάτων ονομάζεται φασματοσκοπία. Η λειτουργία τους βασίζεται στην αρχή που προκύπτει από το σχήμα 13.



Σχήμα 13 [1]

Μια δέσμη παράλληλων ακτίνων αναλύεται με πρίσμα, και στη συνέχεια ένας φακός σχηματίζει το φάσμα. Για τη δημιουργία της παράλληλης δέσμης χρησιμοποιείται ο κατευθυντήρας. Αυτός αποτελείται από ένα σωλήνα που το ένα άκρο του φέρει μια



Σχήμα 14 [1]

στο εστιακό του επίπεδο ένα πραγματικό είδωλο της σχισμής του κατευθυντήρα, δηλαδή μια έγχρωμη φωτεινή γραμμή. Το πλάτος της φωτεινής γραμμής ρυθμίζεται με μεταβολή του πλάτους της σχισμής. Σχήμα 14.

σχισμή, ενώ στο άλλο υπάρχει ένας φακός Φ_1 , του οποίου η εστιακή απόσταση είναι ίση με το μήκος του σωλήνα. Αν η φωτεινή πηγή είναι μονοχρωματική, όλες οι παράλληλες ακτίνες που βγαίνουν από τον κατευθυντήρα, αφού μπουν στο πρίσμα, θα διαθλασθούν αλλά θα εξακολουθήσουν να είναι παράλληλες. Κατά την έξοδο τους από το πρίσμα, θα υποστούν ξανά θλάση, χωρίς να πάνε να είναι παράλληλες και συνεπώς, ο φακός Φ_2 θα δημιουργήσει

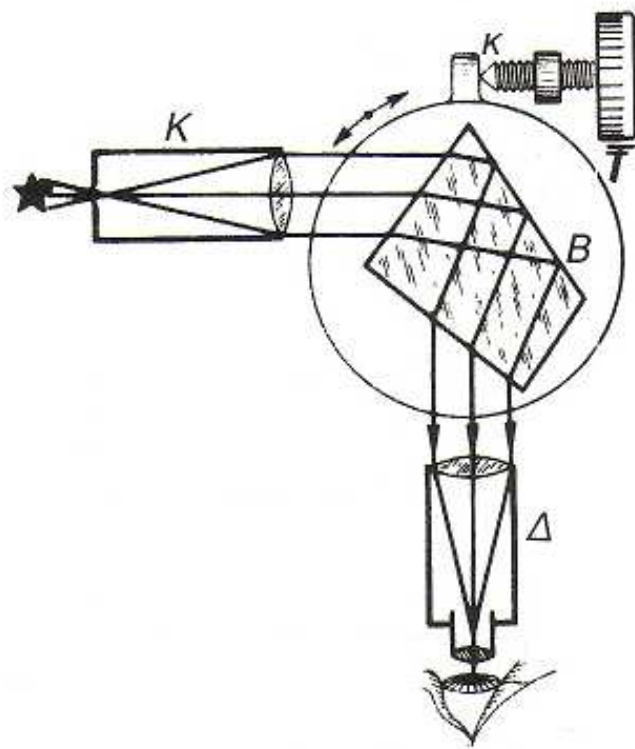
Η παρατήρηση αυτού του ειδώλου γίνεται , σε μεγέθυνση , με μεγεθυντικό φακό . Ο φακός Φ2 και ο μεγεθυντικός φακός είναι στερεωμένοι στα άκρα ενός σωλήνα και αποτελούν τη διόπτρα του οργάνου.

Αν το φως της πηγής δεν είναι μονοχρωματικό , οι ακτίνες κάθε μήκους κύματος , όπως και προηγουμένως, θα δημιουργούν παράλληλες δέσμες, όμως, με διαφορετικές διευθύνσεις. Στο σχήμα με το 13 σχεδιάστηκε η πορεία των ακτίνων που προέρχονται από μια φωτεινή πηγή, η οποία εκπέμπει ακτίνες δυο μόνο , μηκών κύματος. Πχ ιώδες και ερυθρές. Η δέση των ιωδών ακτίνων , που παθαίνει ισχυρότερη θλάση, προσπίπτει στο φακό Φ2 κατ'άλλον δευτερεύοντα άξονα και , συνεπώς, δημιουργεί πραγματικό είδωλο σε άλλο σημείο από εκείνο των ερυθρών . Οι προσπίπτουσες δυο έγχρωμες γραμμές αποτελούν , στην παρούσα περίπτωση , το φάσμα της εξεταζόμενης φωτεινής πηγής.

Επειδή τα φάσματα έχουν εν γένει έκταση και , συνήθως, δεν συμπεριλαμβάνονται ολόκληρα στο οπτικό πεδίο της διόπτρας, αυτή μπορεί να στρέφεται και , έτσι , διερευνάται κατά περιοχές ολόκληρο το φάσμα.

Οι φασματικές γραμμές είναι σαφείς μόνο εφόσον οι ακτίνες που μπαίνουν στο πρίσμα είναι εντελώς παράλληλες. Αν αυτό δε συμβαίνει , τότε αυτές , μετά την έξοδο τους από το πρίσμα, δεν είναι παράλληλες και συνεπώς, δε μπορούν να δημιουργήσουν ένα σαφές είδωλο δια του φακού Φ2. όπως μπορεί να αποδειχτεί , οι εξερχόμενες δέσμες είναι στιγματικές , όταν το πρίσμα βρίσκεται στη θέση ελαχίστης εκτροπής. Συνήθως , τα φασματοσκόπια ρυθμίζονται έτσι ώστε το πρίσμα να βρίσκεται στη θέση ελαχίστης για το μέσο, περίπου , του φάσματος.

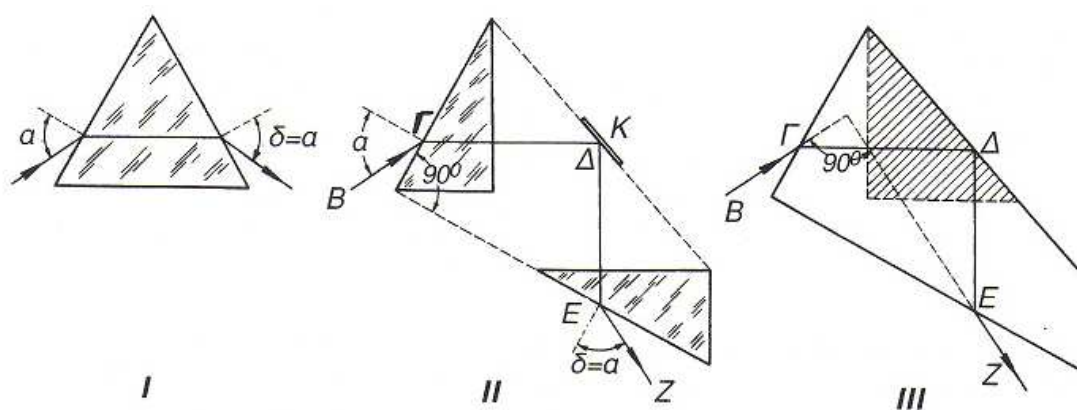
3.5 Φασματοσκόπιο Σταθερής Εκτροπής



Σχήμα 15 [1]

Σήμερα, για την εξέταση των φασμάτων και τη μέτρηση του μήκους κύματος χρησιμοποιείται, αποκλειστικά, το φασματοσκόπιο σταθερής εκτροπής. Σχήμα 15.

Αυτό, αντί για κοινό πρίσμα, φέρει ένα πρίσμα με χαρακτηριστικό σχήμα, του οποίου περιγράφουμε τις ιδιότητες. Ας θεωρήσουμε ένα πρίσμα με τομή ισόπλευρο τρίγωνο που βρίσκεται στη θέση ελαχίστης εκτροπής. Σχήμα 16.



Σχήμα 16 [1]

Όπως είναι γνωστό, όταν ένα πρίσμα βρίσκεται στη θέση ελαχίστης εκτροπής, η γωνία προσπτώσεως α είναι ίση με τη γωνία αναδύσεως δ . Τώρα ας υποθέσουμε ότι, με το επίπεδο που διχοτομεί τη θλαστική γωνία, χωρίζουμε το πρίσμα στα δυο και, αφήνοντας το ένα τμήμα στην αρχική του θέση, τοποθετούμε το άλλο όπως δείχνει το σχήμα 16. Η ακτίνα $\Gamma\Delta$, προσπίπτοντας στο κάτοπτρο K , ανακλάται και, στη συνέχεια, αφού συναντήσει καθέτως το δεύτερο μισό του πρίσματος, εξέρχεται κατά την EZ , υπό γωνία αναδύσεως, ίση με τη γωνία προσπτώσεως. Όπως αποδεικνύεται εύκολα, η εξερχόμενη ακτίνα EZ είναι κάθετη στην προσπίπτουσα $B\Gamma$. Στην πραγματικότητα, το κάτοπτρο K αντικαθίσταται από ένα πρίσμα ολικής ανακλάσεως και συμπληρώνεται το υπόλοιπο μέρος με το ίδιο υλικό, οπότε προκύπτει ένα τετράπλευρο πρίσμα με χαρακτηριστικό σχήμα. Το πρίσμα αυτό έχει την εξής ιδιότητα: Αν η αναδύμενη ακτίνα είναι κάθετη στην προσπίπτουσα, το πρίσμα βρίσκεται στη θέση της ελαχίστης εκτροπής. Για να βρούμε λοιπόν, τη θέση ελαχίστης εκτροπής για δεδομένη, προσπίπτουσα ακτίνα $B\Gamma$, αρκεί, στρέφοντας το πρίσμα, να το φέρουμε σε τέτοια θέση, ώστε η αναδύμενη ακτίνα να είναι κάθετη στην προσπίπτουσα. Γι' αυτό το πρίσμα αυτό ονομάζεται πρίσμα σταθερής εκτροπής.

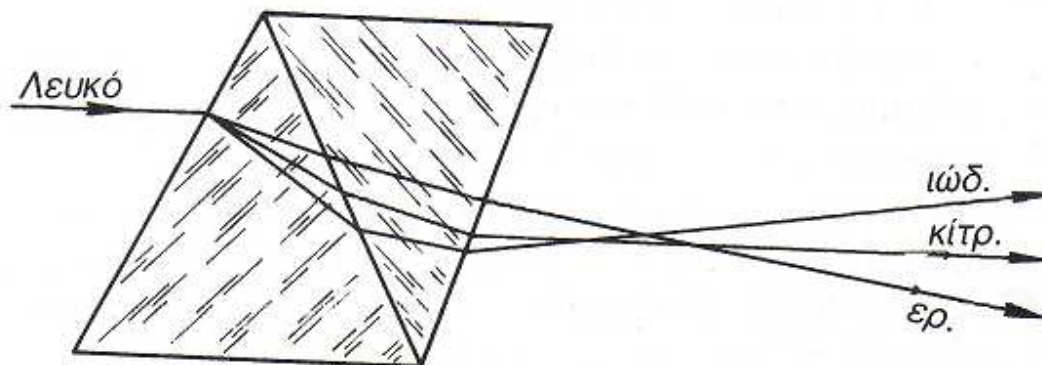
Στο σχήμα 15 η διόπτρα Δ και ο κατευθυντήρας K είναι ακίνητα και τοποθετημένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι άξονες τους να είναι κάθετοι. Το πρίσμα στερεώνεται στη βάση B , η οποία, με τη βοήθεια του κοχλία K , μπορεί να περιστρέφεται. Αν λοιπόν, προσπέσει στο πρίσμα ακτινοβολία μήκους κύματος λ_1 και το στρέψουμε μέχρις ότου η αντίστοιχη φασματική γραμμή να εμφανιστεί στο κέντρο του οπτικού πεδίου της διόπτρας, το πρίσμα θα βρίσκεται στη θέση ελαχίστης εκτροπής γι' αυτό το μήκος κύματος. Αν η αρχική δέσμη περιέχει και άλλο μήκος κύματος μήκους λ_2 , για να εμφανιστεί στο κέντρο του οπτικού πεδίου της διόπτρας η αντίστοιχη φασματική γραμμή, πρέπει να στραφεί κατάλληλα. Μ' αυτόν τον τρόπο, στρέφοντας το πρίσμα, πετυχαίνουμε ώστε με τη διόπτρα να βλέπουμε, διαδοχικώς, τις διάφορες περιοχές του φάσματος στο κέντρο του σταυρονήματος, ενώ στο τύμπανο T , που έχει βαθμολογηθεί κατάλληλα, μπορούμε να μετράμε και τα αντίστοιχα μήκη κύματος.

Επειδή η παρατήρηση κάθε γραμμής γίνεται πάντοτε υπό τη γωνία ελαχίστης εκτροπής, το είδωλο είναι πάντοτε ευκρινές, έστω και αν οι ακτίνες της προσπίπτουσας δέσμης δεν είναι εντελώς παράλληλες.

Το φασματοσκόπιο σταθερής εκτροπής έχει το πλεονέκτημα ότι, για την παρατήρηση του όλου φάσματος, δεν απαιτεί από τον παρατηρητή να μετακινεί το κεφάλι του.

3.6 Άλλοι Τύποι Φασματοσκοπίων

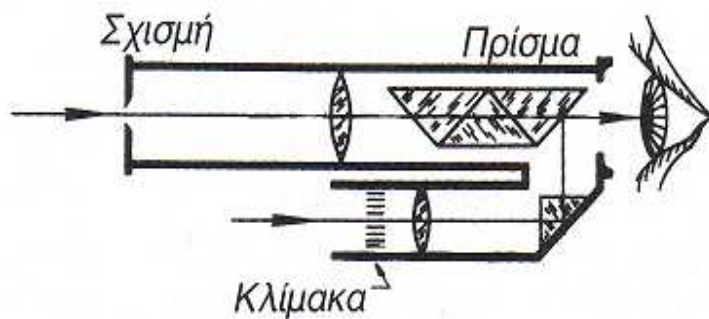
Σε πολλές εφαρμογές επιδιώκεται η ανάλυση του φωτός να μη συνοδεύεται από μια σημαντική εκτροπή της πορείας των ακτίνων. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί στο ευθυσκοπικό πρίσμα με συνδυασμό δυο ή περισσότερων πρισμάτων από γυαλιά με διαφορετικές καμπύλες διασκεδασμού . Το σχήμα 17 παριστάνει ένα ευθυσκοπικό πρίσμα , που αποτελείται από δυο πρίσματα.



Σχήμα 17

Παρατηρούμε ότι το φως, περνώντας μέσα απ' αυτό , αναλύεται μεν , όμως εξακολουθεί να διαδίδεται , περίπου , κατά την αρχική διεύθυνση. Ευθυσκοπικά πρίσματα χρησιμοποιούνται στα φορητά φασματοσκόπια. Σχήμα 18.

Αυτά χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία για τη μελέτη του φάσματος φωτεινών πηγών,



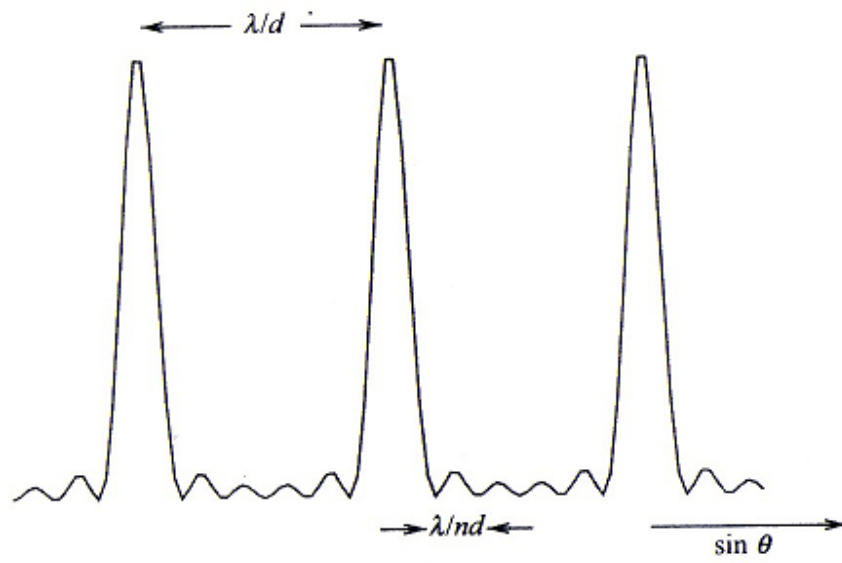
Σχήμα 18 [1]

που δεν μπορούν να εξετασθούν στο εργαστήριο, έχουν δε το πλεονέκτημα ότι, για την παρατήρηση του φάσματος, αρκεί να κατευθύνουμε το φασματοσκόπιο προς τη διεύθυνση της εξεταζόμενης φωτεινής πηγής. Για την εύρεση

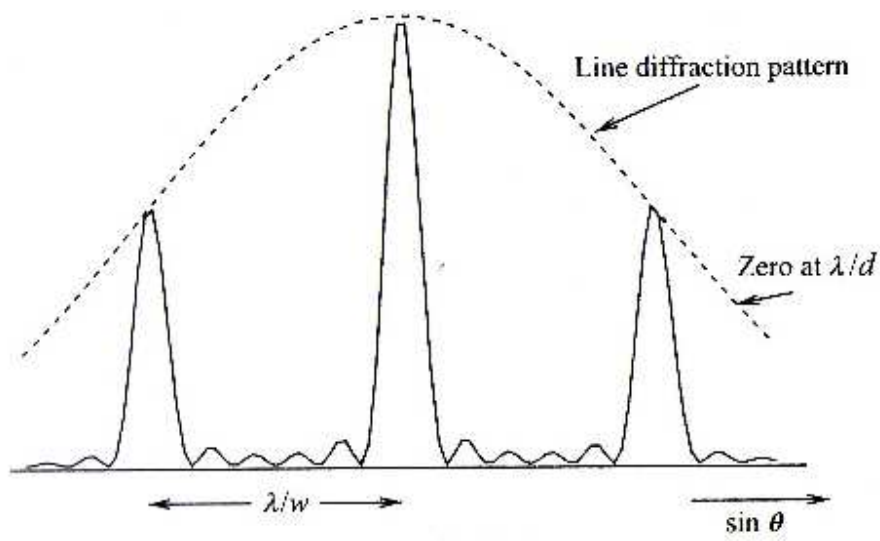
του μήκους κύματος κάθε φασματικής γραμμής, προβάλλεται με ιδιαίτερο φακό μέσα στο οπτικό πεδίο της διόπτρας, μια βαθμολογημένη κλίμακα.

3.7 Η επίδραση της Σχισμής Πλάτους και του Σχήματος της οπής

Μέχρι στιγμής ο διαχωρισμός της διάθλασης θεωρείται ότι αποτελείται από η σχισμές τόσο στενές όπου η αλλαγή φάσης ανάμεσα τους θα μπορούσε να θεωρηθεί αμελητέα. Αυτή η συνθήκη είναι μία πολύ περιορισμένη καθώς η γραμμές πραγματικών διαχωρίσεων θα μπορούσαν να έχουν πλάτος όσο πολλά μήκη κύματος. Το να αναλύσουμε αυτήν την κατάσταση δηλαδή να μην είναι έγκυρος αυτός ο περιορισμός θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν αρχικά την περίπτωση ενός διαχωρισμού ο οποίος είναι δυσδιάκριτος εκτός από τις γραμμές πλάτους w τα οποία είναι τοποθετημένα όπως πριν και η μεταξύ τους απόσταση είναι d . Τότε ο διαχωρισμός σε μονή σχισμή γίνεται περιορίζοντας το φως σε ένα εύρος όπου οι γωνίες θα εξαρτώνται από το πλάτος της σχισμής. Το πλάτος το οποίο θα διανέμεται από μία αυτόνομη γραμμή πάνω στο φως το οποίο θα εκπέμπεται προς πάσα κατεύθυνση από όλο τον διαχωρισμό, θα συγκρατείται από την ίδια τη μορφή διάθλασης αυτής της γραμμής. Για αυτό το λόγο η προκύπτουσα μορφή διάθλασης από το διαχωρισμό, είναι προϊόν της μορφής της έντασης μίας μονής γραμμής και η μορφή της έντασης του παρακάτω σχήματος ισχύει όταν έχουμε ιδανικό διαχωρισμό (σχήμα 19). Αυτό βλέπουμε να πραγματοποιείται και στο ακόλουθο σχήμα (σχήμα 20).



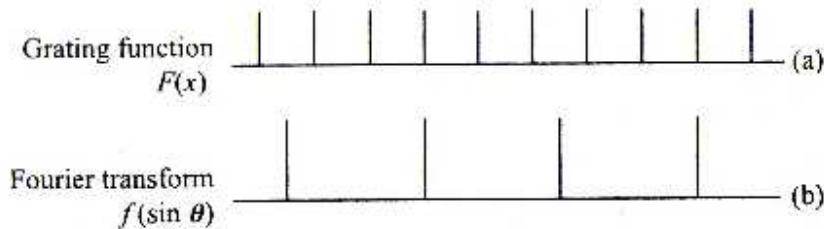
Σχήμα 19



Σχήμα 20

3.8 Μετασχηματισμός Fourier στη θεωρία διαχωρισμού

Ένας ιδανικός διαχωρισμός, διανέμει οπές όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί σχήμα 21α.



Σχήμα 21

Αυτές οι ισαπέχουσες σειρές από γραμμές ή αλλιώς εξισώσεις δ γνωστές ως η εξίσωση διαχωρισμού. Ο μετασχηματισμός της κατά Fourier, είναι επίσης μία συνάρτηση διαχωρισμού όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 22β). Αυτός ο μετασχηματισμός βρίσκει εφαρμογή στο διαχωρισμό της διάθλασης μόνο αν οι κλίμακες ταιριάζουν με τα μήκη κύματος (για την διανομή των οπών). Και πρέπει επίσης να ταιριάζει και η κατεύθυνση του συνημίτονου (για την διανομή των γωνιών). Όπως αναμένεται, όσο πιο κοντά είναι οι γραμμές του διαχωρισμού τόσο πιο μεγάλες είναι οι γωνίες των διαθλώμενων ακτινών των επιτυχόντων σειρών.

Η εξίσωση διαχωρισμού αντιπροσωπεύει έναν ιδανικό διαχωρισμό με άπειρο πλάτος και άπειρες στενές γραμμές. Πρακτικά όμως ο διαχωρισμός με πεπερασμένο συνολικό πλάτος και με γραμμές πεπερασμένου πλάτους μπορούν επίσης να αναλυθούν πολύ εύκολα με τη θεωρία Fourier, η θεωρία γίνεται αναγκαία για τις περισσότερες πολύπλοκες περιπτώσεις τρισδιάστατης διάθλασης οι οποίες συναντιούνται στις ακτίνες X κρυσταλλογραφία.

Έχουμε πλέον αναπτύξει μία καινούρια προσέγγιση στο μετασχηματισμό Fourier. Όπως επίσης θα δούμε αυτή η εφαρμογή γρήγορα επεκτείνεται να καλύψει τη γενική περίπτωση της αυθαίρετης δομής της σχισμής και της αυθαίρετης διανομής της εξάλειψης πέρα από τον διαχωρισμό. Μαθηματικά η διανομές των οπών δομούνται ως προϊόντα και περιελίξεις σημαντικών εξισώσεων με την εξίσωση διαχωρισμού. Παρακάτω δίνονται οι περιπτώσεις που μπορεί να υπάρξουν:

1. Η εξίσωση διαχωρισμού: μία άπειρη σειρά εξισώσεων δ με απόσταση d μεταξύ τους της μορφής (32)

$$\psi(x) = \sum \delta(x - nd) \quad (32)$$

2. Δομή επαναλαμβανόμενης γραμμής, μία πεπερασμένη σειρά στοιχείων όπου το καθένα από αυτά έχει τη μορφή $f(x)$. Η συνολική διανομή $F(x)$ είναι η περιέλιξη της (32) με την $f(x)$ (33).

$$F(x) = f(x) * \psi(x) \quad (33)$$

3. Πεπερασμένος διαχωρισμός μήκους, ένας διαχωρισμός με στενές (εξισώσεις δ) γραμμές και περιορισμένης έκτασης από μία εξίσωση $H(x)$ όπου το $H(x)$ είναι ίσο με 1 για $|x| < L$ και $H(x)$ ίσο με 0 για $|x| > L$. Τότε η $F(x)$ είναι το προϊόν (34).

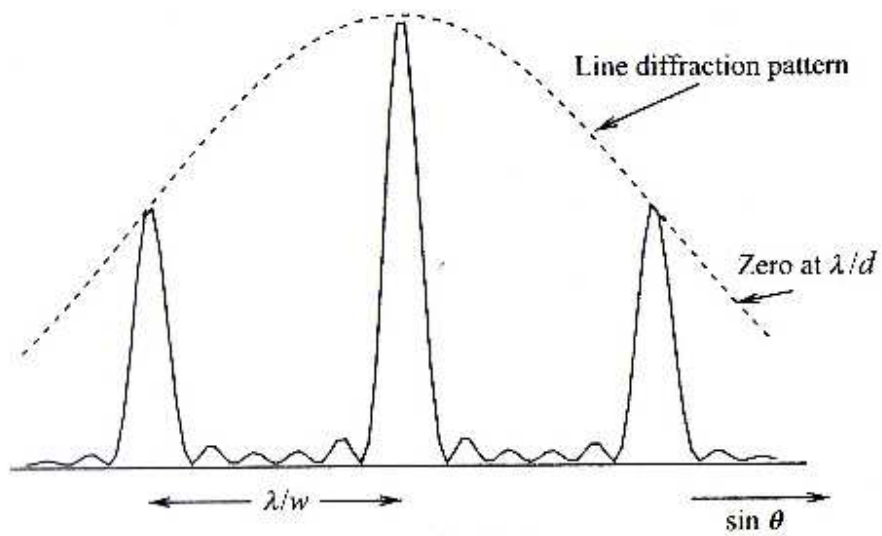
$$F(x) = \psi(x) * H(x) \quad (34)$$

4. Πεπερασμένη σειρά από δομημένες γραμμές, ένας συνδυασμός των περιπτώσεων 2 και 3, τότε (35).

$$F(x) = (f(x) * \psi(x))H(x) \quad (35)$$

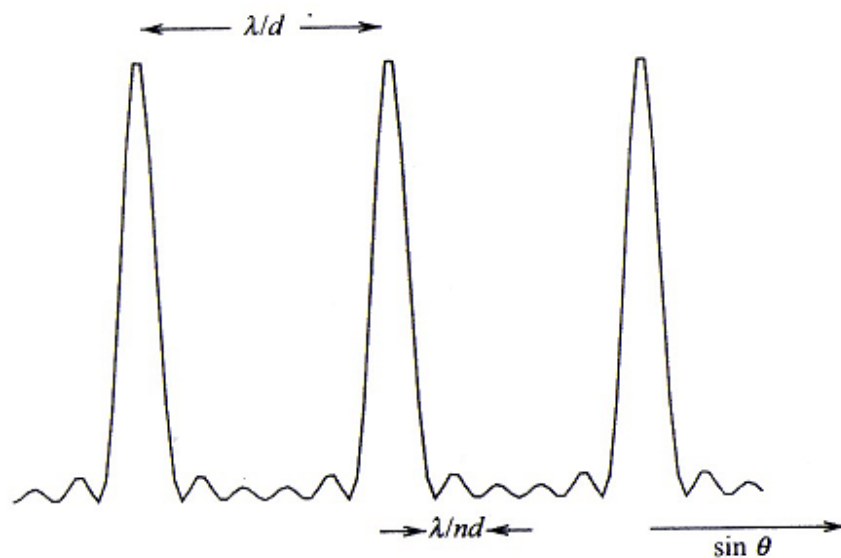
Οι μορφές διάθλασης των τεσσάρων περιπτώσεων είναι οι εξής:

- i. Ο ιδανικός διαχωρισμός $\phi(x)$ μεταμορφώνεται σε μία ιδανική διανομή γωνιών $A(l)$ η οποία αποτελείται από διαθλώμενες ακτίνες σε ίσα διαστήματα της κατεύθυνσης του συνημίτονου l
- ii. Ο διαχωρισμός με πεπερασμένου μήκους γραμμή μεταμορφώνεται στο προϊόν του μετασχηματισμού της εξίσωσης διαχωρισμού και της δομής της γραμμής, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 20



Σχήμα 20

- iii. Ο διαχωρισμός με πεπερασμένο μήκος μετασχηματίζεται ως η περιέλιξη του μετασχηματισμού της εξίσωσης διαχωρισμού και της εξίσωσης της συνολικής εξάλειψης διαχωρισμού όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα (σχήμα 20)



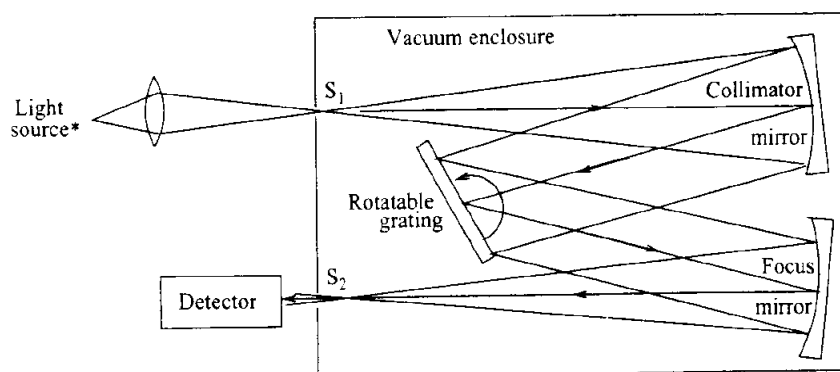
Σχήμα 19

- iv. Η γενική περίπτωση είναι ένας συνδυασμός των παραπάνω σαν αυτόν που μας δείχνει το σχήμα που δείξαμε πριν (σχήμα 20). Σε αυτό το παράδειγμα η ολοκληρωμένη δομή της γραμμής του ολικού διαχωρισμού είναι μία top-hat εξίσωση η οποία μετασχηματίζεται σε μία ευρεία εξίσωση συνημιτόνου η οποία σχηματίζει το συνολικό φάκελο. Η εξάλειψη του διαχωρισμού είναι επίσης μία top-hat εξίσωση η οποία μετασχηματίζεται σε μία στενή εξίσωση συνημιτόνου που περιελίσσεται με την εξίσωση διαχωρισμού για να παράγουν διαθλώμενες ακτίνες με πεπερασμένο μήκος

Σημειώστε επίσης την ιδανική περίπτωση ημιτονοειδούς διαχωρισμού ο οποίος μπορεί να παραχθεί ολογραφικά και για τον οποίο θα ισχύει $Y(x) = \sin 2\pi(x/a)$. Σε αυτήν την περίπτωση η μορφή της διάθλασης αποτελείται απλά από μία απότομη διάθλαση (όπως η εξίσωση δ) που γίνεται μέγιστη στην περίπτωση που $\theta = \sin^{-1}(1/a)$.

3.9 THE GRATING SPECTROMETER

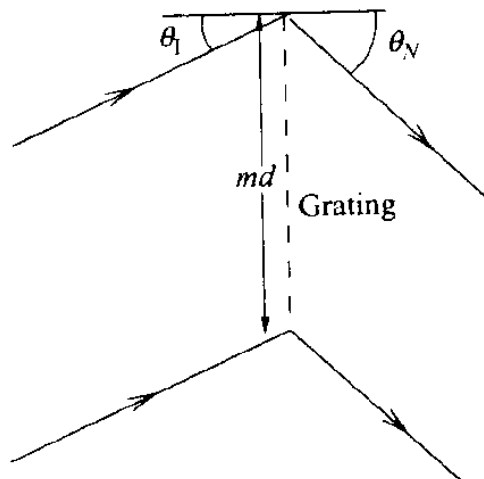
Η προσπίπτουσα H/M ακτινοβολία σε ένα πρίσμα περίθλασης εκτρέπεται κατά μια γωνία θ , η τιμή της οποίας εξαρτάται από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η λειτουργία ενός φράγματος σαν φασματογράφου εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα (22)



Σχήμα 22

Το φράγμα περίθλασης συνήθως ανακλά την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Αυτό για να αποφύγουμε απώλειες στην προσπίπτουσα Η/Μ ακτινοβολία μέσω απορρόφησης, εάν η δέσμη διαπερνούσε το grating. Εάν στο φασματόμετρο με φράγμα χρησιμοποιηθούν κοίλα κάτοπτρα αντί για φακούς για εστίαση και ευθυγράμμιση της δέσμης τότε το φασματόμετρο μπορεί να λειτουργήσει στο ορατό φάσμα άλλα και στο υπεριώδες φάσμα. Το φασματόμετρο που εικονίζεται στο παραπάνω σχήμα είναι γνωστό ως φασματόμετρο Czerny – Turner.

Η γεωμετρία περίθλασης στην επιφάνεια ενός grating εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα (23)



Σχήμα 23

Όπου θ_1 είναι η γωνία πρόσπτωσης και θ_N είναι η γωνία περίθλασης στην τάξη N . Η εξίσωση του φράγματος δίνεται από την σχέση

$$d(\sin\theta_N + \sin\theta_1) = N\lambda \quad (36)$$

όπου d είναι η απόσταση μεταξύ 2 διαδοχικών γραμμών του grating και N είναι η τάξη της περίθλασης.

Η γωνιακή διακριτική ικανότητα του φράγματος, εκφράζει τον ρυθμό μεταβολής της γωνίας περίθλασης με το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{d\theta_N}{d\lambda} = \frac{N}{d \cos \theta_N} \quad (37)$$

Το πρόβλημα που υπάρχει στην περίπτωση του φασματογράφου με φράγμα είναι εάν θέλουμε να παρατηρήσουμε το φάσμα μιας όχι αυστηρός μονοχρωματικής πηγής. Ο κίνδυνος που εγκυμονεί είναι οι τάξεις περίθλασης των διαφόρων μηκών κύματος, του προσπίπτοντος φάσματος να επικαλύπτονται. Εάν παρατηρείται ένα φάσμα από λ_1 έως λ_2 ανάμεσα στις τάξεις N th και $(N+1)$ th, το φάσμα της περιθλώμενης δέσμης επικαλύπτεται εάν ισχύει το παρακάτω

$$N\lambda_2 > (N+1)\lambda_1 \quad (38)$$

Η φασματική απόσταση μεταξύ των επικαλυπτόμενων τάξεων καλείται Free Spectral Range. Εάν το φασματόμετρο τεθεί σε λειτουργία στο μήκος κύματος λ_1 στην τάξη N , τότε από το φράγμα θα ανακλαστούν το $N\lambda_1$ στην πρώτη τάξη, $N\lambda_1/2$ στην δεύτερη τάξη και τα λοιπά. **Για ένα φράγμα που η ακτινοβολία προσπίπτει κάθετα σε αυτό και με την περιθλώμενη δέσμη στην N τάξη και σε γωνία θ η επικάλυψη των τάξεων συμβαίνει όταν**

$$\lambda_2 = d \sin \theta / N, \quad \lambda_1 = d \sin \theta / (N+1) \quad (39)$$

Η φασματική απόσταση (FSR) μεταξύ 2 περιθλώμενων μηκών κύματος στις τάξεις N και $N+1$ είναι :

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \delta\lambda_{FSR} = \frac{\lambda_1}{N} \quad (40)$$

Η σύγχυση μπορεί να προέλθει εάν παρατηρούμε ένα φασματικό εύρος πιο ευρύ από την σχέση (40). Η σύγχυση αυτή μπορεί να αποφευχθεί εάν χρησιμοποιήσουμε ένα φίλτρο για να περιορίσουμε το φάσμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ή χρησιμοποιώντας και ένα 2^ο φράγμα.

Απόδειξη της σχέσης (38):

$$\text{Ισχύει ότι } d \sin \theta'_d = N\lambda_2 \leftrightarrow d \sin \theta'_d = \frac{N\lambda_2}{d} \quad (\text{T1})$$

$$\text{Και } d \sin \theta_d = \frac{(N+1)\lambda_1}{d} \quad (\text{T2})$$

$$\text{Άρα } N\lambda_2 > (N+1)\lambda_1$$

Απόδειξη της σχέσης (40):

$$\text{Ισχύει ότι } d(\sin \theta_i + \sin \theta_d) = (N+1)\lambda_1 \quad (\text{K1})$$

$$\text{με } \lambda_1 = \frac{d(\sin \theta_i + \sin \theta_d)}{(N+1)} \quad (\text{K2}) \quad \text{και} \quad \lambda_2 = \frac{d(\sin \theta_i + \sin \theta_d)}{N} \quad (\text{K3})$$

Οπότε έχουμε για τις παραπάνω σχέσεις:

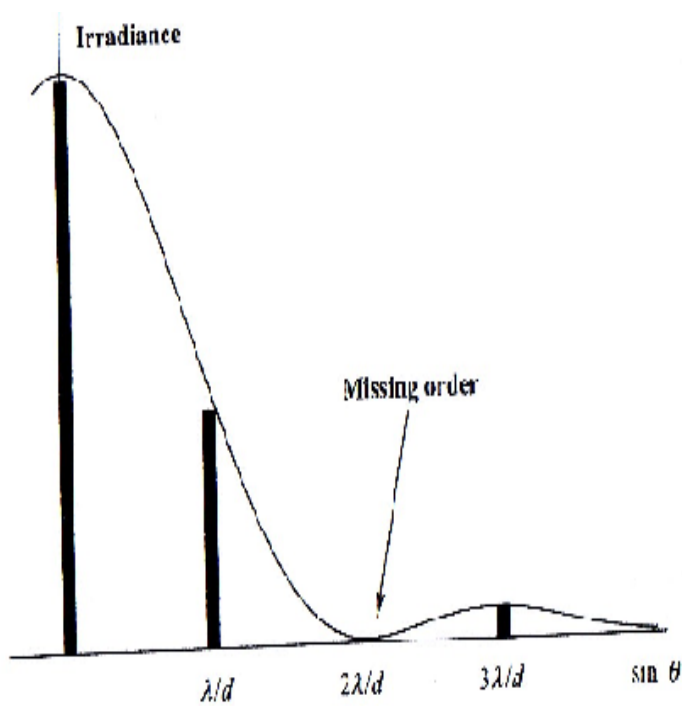
$$\lambda_1 = \frac{d \sin \theta}{(N+1)} \quad (\text{K4}) \quad , \quad \lambda_2 = \frac{d \sin \theta}{N} \quad (\text{K5})$$

Παίρνουμε τη διαφορά τους και έχουμε:

$$(\lambda_2 - \lambda_1) = \frac{d \sin \theta}{N} - \frac{d \sin \theta}{N+1} = \frac{(N+1)d \sin \theta - Nd \sin \theta}{N(N+1)} = \frac{d \sin \theta}{N(N+1)} \quad (\text{K6})$$

$$\text{Δηλαδή } FSR = \frac{\lambda_1}{N}$$

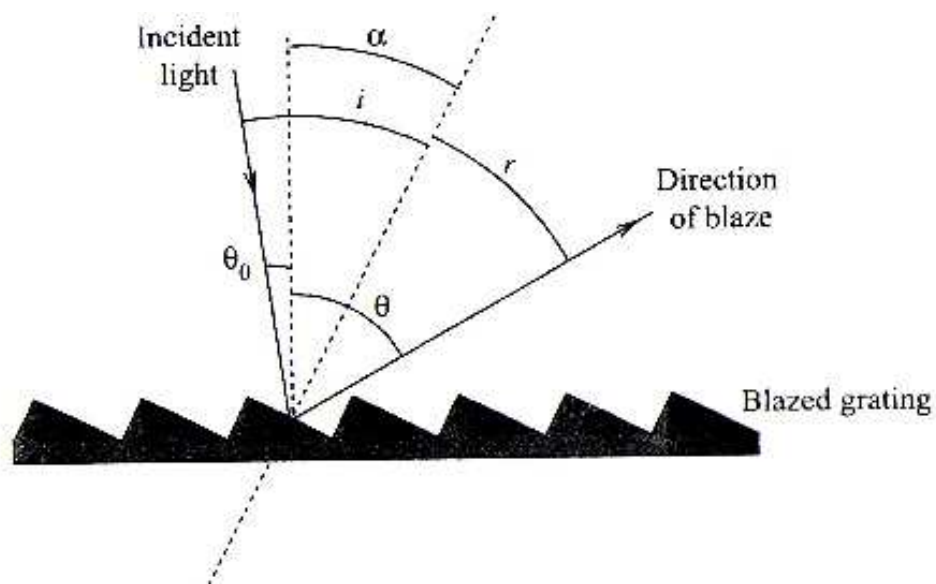
Ο συνδυασμός καθενός ξεχωριστά μεθόδου γραμμής και μεθόδου διαχωρισμού μπορούν να προκαλέσουν το φαινόμενο των τάξεων μηδενισμού της έντασης. Υποθέτουμε το πλάτος της γραμμής w πως είναι ανάλογο προς το d : έτσι λέμε ότι το d/w είναι ένα λογικό κλάσμα. Τότε ένα θ της ξεχωριστής μεθόδου γραμμής διάθλασης θα πέσει σε ένα επίπεδο της μεθόδου διαχωρισμού, έτσι αυτό το επίπεδο δεν θα εμφανιστεί. Αυτό το φαινόμενο παρουσιάζεται στο σχήμα 24 για $w=d/2$. Έτσι είναι εφικτό να μετακινήσουμε επίπεδα με την επιδέξια επιλογή της διάθλασης με την μέθοδο των γραμμών.



Το πιο σημαντικό, ιδίως στο διαχωρισμό με ανάκλαση είναι ότι μπορούμε να κανονίσουμε τον διαχωρισμό έτσι ώστε το περισσότερο φως να κατευθυνθεί προς ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Ένας τέτοιος διαχωρισμός παρουσιάζεται στο σχήμα 25 και καλείται κλιμακούμενος διαχωρισμός.

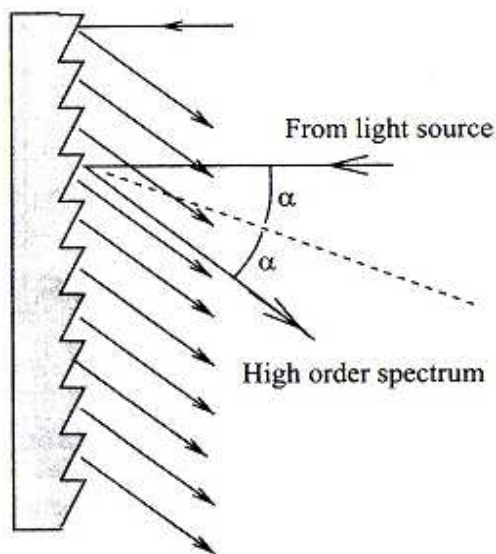
Σχήμα 24 [5]

Οι γραμμές είναι έτσι τοποθετημένες έτσι ώστε κάθε μια να ανακλά κατοπτρικά προς την κατεύθυνση του επιθυμητού επιπέδου. Ένας άλλος τρόπος για να το δούμε αυτό είναι να παρατηρήσουμε αν η γωνία της εξάλειψης και της κλίσης των ανακλώμενων γραμμών είναι τέτοια ώστε κάθε μία γραμμή να έχει κατά πλάτος μία κατάλληλη φάση μετατόπισης. Έτσι ώστε να το κάνει αυτή τη γωνία να διαθλαστεί προς την κατεύθυνση του ανακλώμενου επιπέδου.



Σχήμα 25 [5]

Παρουσιάζει ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε ότι ένας κοινός καθρέφτης μπορεί να θεωρηθεί ως μια περίπτωση περιορισμού του διαχωρισμού διάθλασης στην οποία ο διαχωρισμός d είναι ίσος με το πλάτος w της γραμμής. Με λίγη σκέψη καταλαβαίνουμε ότι σε αυτή την περίπτωση κάθε επίπεδο εκτός από το μηδενικό χάνεται αφού πιέζονται από τα μηδενικά της μεθόδου γραμμής. Μόνο το μηδενικό επίπεδο (το οποίο είναι απλά μια κατοπτρική ανάκλαση) παράγεται, του οποίου το πλάτος εξαρτάται από το πλάτος του διαχωρισμού. Αυτό που έχουμε να πούμε σχετικά τη διάθλαση σε ένα κάτοπτρο, αν θεωρήσουμε το κάτοπτρο σαν μια οπή.



Σχήμα 26 [5]

κλιμάκωσης. Το διαθλώμενο φως ικανοποιεί τη συνθήκη διαχωρισμού $d \cdot \sin \theta = N \cdot \lambda$ και επίσης $\theta = 2 \cdot \alpha$

Έχουμε δει ότι για ένα διαχωρισμό η ενέργεια επίλυσης είναι $m \cdot N$, το προϊόν του αριθμού των γραμμών και του επιπέδου της διάθλασης. Ένας κλιμακωτός διαχωρισμός, σχήμα 26, είναι ένας διαχωρισμός ανάκλασης με φάσης ανάκλασης που έχουν υποστεί κλίση, έτσι ώστε το φως να διαθλάται βασικά σε ένα από τα υψηλότερα επίπεδα, με το πλεονέκτημα καλύτερης ανάλυσης σε ένα υψηλό επίπεδο φωτός. Η γωνία α η οποία βρίσκεται μεταξύ του διαχωρισμού και των κανονικών ραβδώσεων καλείται γωνία

Για να εξασφαλίσουμε ακόμα υψηλότερη ανάλυση από τους διαχωρισμούς είναι πιο εύκολο αν χρησιμοποιήσουμε λιγότερες γραμμές αλλά να αυξήσουμε το επίπεδο της διάθλασης. Θέτοντας $\theta_i = \theta_N = 90^\circ$ στην εξίσωση 41

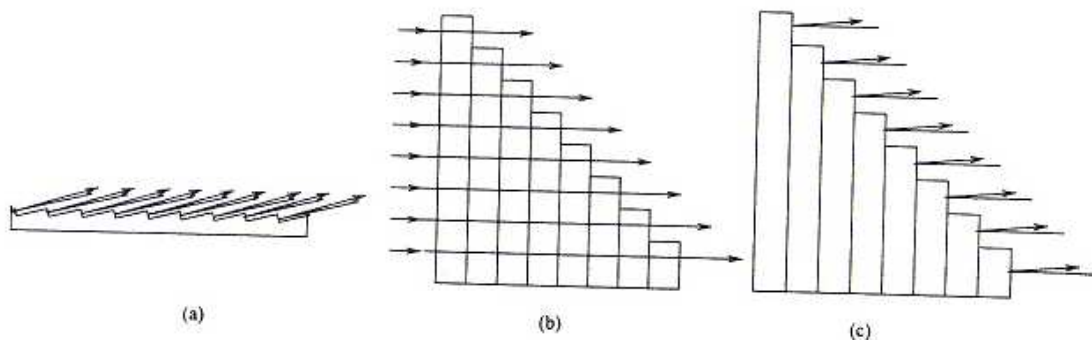
$$d(\sin \theta_N + \sin \theta_i) = N \lambda \quad (41)$$

μπορούμε πολύ εύκολα να δούμε πως για ένα συνηθισμένο απλό διαχωρισμό το επίπεδο δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από $(2 \cdot d) / \lambda$, ο αριθμός των κυματομορφών στο διάστημα μεταξύ των γραμμών, έτσι ώστε οι πολύ κοντινή τοποθέτηση να μην επιτρέπει την χρήση υψηλότερων επιπέδων. Για παράδειγμα αν ένας διαχωρισμός με 5000 γραμμές ανά cm ήταν να χρησιμοποιηθεί σε υψηλή ανάλυση με μήκος κύματος 500 nm το υψηλότερο επίπεδο στο οποίο θα μπορούσε πιθανόν να χρησιμοποιηθεί θα ήταν (εξίσωση 42)

$$N = \frac{2d}{\lambda} = \frac{2}{5 \cdot 10^{-5}} \frac{1}{5 \cdot 10^3} = 8 \quad (42)$$

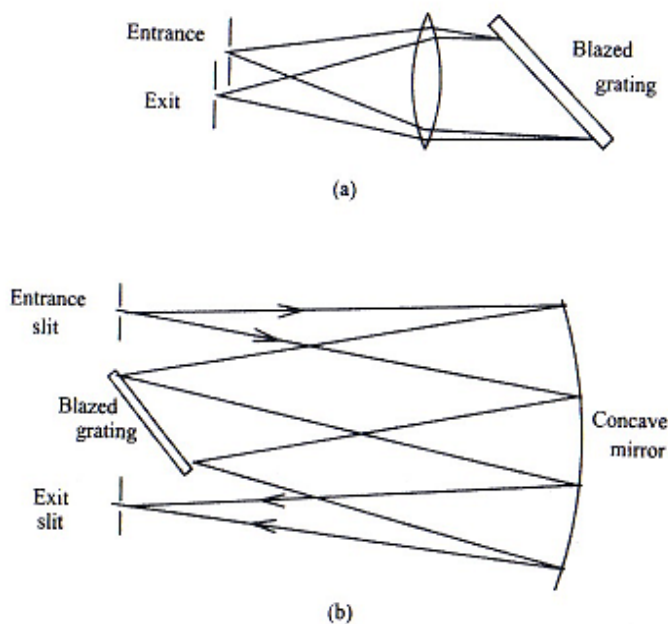
και για να συνειδητοποιήσουμε την υπερβολική αυτή περίπτωση αρκεί να πούμε πως το φως αυτό θα ήταν σε μία μικρή γωνία πρόσπτωσης (περίπου $\pi/2$ παράλληλα προς την επιφάνεια) η οποία θα διαθλόταν πίσω μέσω του σημείου π . Υψηλού επιπέδου διάθλαση επιτυγχάνεται πρακτικά με την χρήση κλιμακούμενων διαχωρισμών και διαχωρισμών με ένταση. Η γενική ιδέα όλων αυτών των παρόμοιων συστημάτων, είναι ο διαχωρισμός της σταθερής σχέσης μεταξύ του διαστήματος των γραμμών και του επιπέδου με το οποίο κάνουμε τον διαχωρισμό μ- επίπεδο αλλά περισσότερο σαν σειρά σκαλοπατιών η οποία παρατηρείται από απόσταση. Το κάθετο τμήμα από το κάθε σκαλοπάτι αντιδρά στη γραμμή και το σκαλοπάτι αντιδρά σε μια μετατόπιση προς τα πίσω κάθε μιας γραμμής. Οι γραμμές έχουν επιπλέον μετατραπεί σε επιφάνειες ανάκλασης κάθε μία μετατοπισμένη προς τα πίσω σε σχέση με την προηγούμενη για να δώσει έτσι ένα υψηλότερο επίπεδο παρεμβολής. Η γωνία αυτών των επιφανιών ανάκλασης μπορούν τώρα να προσαρμοστούν έτσι ώστε να ανακλούν φως προς την κατεύθυνση στην οποία επιθυμούμε να παρατηρήσουμε φάσμα.

Ένας διαχωρισμός έντασης περίπου 25 cm μήκος και 10^4 σκαλοπάτια ή ραβδώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο χιλιοστό επίπεδο για ορατό φως με ανάλυση ισχύος 10^6 . Ο διαχωρισμός με ένταση συχνά χρησιμοποιείται σαν ένα στοιχείο ρύθμισης στο LASER, αφού μπορεί και δίνει υψηλή γωνιακή διασκόρπιση και υψηλή αποδοτικότητα για χρήση σε μεγαλύτερα μήκη κύματος, πολύ πιο μακριά από το υπέρυθρο φάσμα, ένας μικρός αριθμός από ραβδώσεις μπορούν να τοποθετηθούν κατευθείαν πάνω στο μέταλλο: αυτά τα αποτελούμε ‘μικρές σκάλες’. Παρόμοια συστήματα όπως το Michelson καλούνται ‘δημιουργοί επιπέδων’ αποτελούνται από ένα σωρό γυάλινων δίσκων διαρρυθμισμένων όπως μία σειρά σκαλοπατιών, οι οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην εκπομπή αλλά και στην ανάκλαση σε επίπεδα σε ύψος ως 20.000. Οι δυσκολίες στο να καταλάβουμε την υψηλή ανάλυση σε αυτό το σύστημα γίνεται πολύ μεγάλη και το Michelson ποτέ στην πραγματικότητα δεν τελειοποιείσαι την ανάκλαση έντασης παρόλο που πραγματοποιείσαι την εκπομπή έντασης (σχήμα 27) επιτυχώς με μερικές δεκάδες δίσκους.



Σχήμα 27 [5]

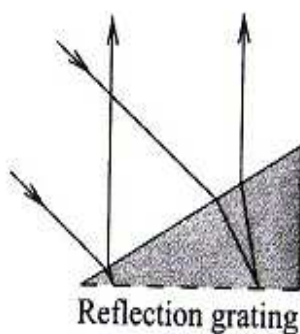
Οι κλιμακούμενοι διαχωρισμοί συχνά χρησιμοποιούνται σε σχέση με το Littrow σχήμα (28α) στο οποίο το διαθλώμενο φως επιστρέφει περίπου διαμήκους του μονοπατιού πρόσπτωσης. Αυτό μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε αυτό μας επιτρέπει να



Σχήμα 28

χρησιμοποιήσουμε τους ίδιους φακούς σαν συσκευή δέσμης σωματιδίων αλλά και για εστίαση.

Ένας παρόμοιος διακανονισμός σύμφωνα με το Ebert όπως φαίνεται στο σχήμα 26β, εδώ τα στοιχεία δέσμης σωματιδίων και εστίασης συνδυάζονται σε ένα κοίλο καθρέφτη αποφεύγοντας τις απώλειες που θα παρεμβάλλονταν στα συστήματα φακών.



Σχήμα 29

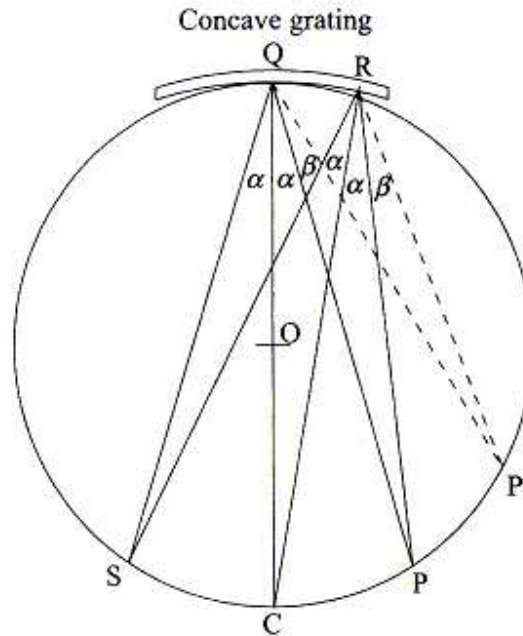
Με την παρεμβολή στα πολύ υψηλά επίπεδα η οποία λαμβάνεται σε αυτές τις συσκευές το πρόβλημα των επικαλυπτόμενων επιπέδων γίνεται πολύ μεγάλο. Τα επικαλυπτόμενα επίπεδα μπορούν ωστόσο να αντιμετωπιστούν με την διασταύρωση οποιουδήποτε υψηλής ανάλυσης σπεκτρόμετρου με ένα χαμηλής ανάλυσης σπεκτρόμετρο, όπως ένα πρίσμα, του οποίου η ανάλυση είναι η οποία είναι προς μία κατακόρυφη διεύθυνση. Τα διάφορα επίπεδα τότε χωρίζονται σε μία δυσδιάστατη σχήμα. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται παρακάτω όπου ένα πρίσμα χρησιμοποιείται ως διαχωριστής για ένα Fabric-Perrot. Ο συνδυασμός ενός διαχωρισμού και ενός πρίσματος συχνά καλείται Grism, έχει και ένα άλλο πλεονέκτημα όταν χρησιμοποιείται στην ανάκλαση (σχήμα 29).

Όπως έχουμε δει η ισχύς ανάλυσης ενός διαχωρισμού σχετίζεται με το διάστημα των γραμμών και το μήκος κύματος. Εάν ο διαχωρισμός συνδέεται ή χαράσσεται πάνω στο γυαλί του πρίσματος τότε το μήκος κύματος μειώνεται από το διαθλώμενο περιεχόμενο του γυαλιού και η ισχύς της ανάλυσης μπορεί να αυξηθεί σε αναλογία χρησιμοποιώντας ένα διαχωρισμό με μικρότερο διάστημα στις γραμμές.

3.10 Διαχωρισμός με κοιλότητες

Σε ένα συνηθισμένο σπεκτρόγραμμα ένας διαχωρισμός συνήθως εξαλείφεται από μία απλή κυματομορφή το οποίο διαθέτει μία συσκευή δέσμης σωματιδίων με φακούς ή καθρέφτη με την πηγή φωτός εστιασμένη. Το διαθλώμενο φάσμα εστιάζεται τότε σε έναν ανιχνευτή έτσι ώστε οι δύο φακοί ή καθρέπτες να είναι αναγκαίοι, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες και σε διαταραχές ιδίως για υπέρυθρο και υπεριώδες φως. Οι δυσκολίες που μπορούν να παρουσιαστούν μπορούν να αποφευχθούν με την συνθήκη Rowlan. Σύμφωνα με την οποία ένας διαχωρισμός με κοιλότητες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εστίαση. Σε αυτόν τον διαχωρισμό οι γραμμές τοποθετούνται στην επιφάνεια ενός κοίλου καθρέφτη. Ένα ενδιαφέρον κομμάτι της γεωμετρίας μας δείχνει ότι εάν μια σχισμή βρίσκεται πάνω σε έναν κύκλο εφαπτόμενο στον καθρέφτη και με

διάμετρο ίση με την ακτίνα της κοιλότητας τότε πολλά απ' τα επίπεδα της διάθλασης είναι στην ίδια εστίαση με τον κύκλο.



Σχήμα 30 [5]

Στο σχήμα 30 το s είναι η σχισμή και το c είναι το κέντρο της κοιλότητας του διαχωρισμού. Τότε όλες οι ακτίνες από το s, οι οποίες ανακλώνται από το διαχωρισμό, προς το r έχουν την ίδια γωνία πρόσπτωσης $a = s \cdot r \cdot c$ γιατί το $c \cdot r$ είναι φυσιολογικά προς το διαχωρισμό. Η ευθέως ανακλώμενη ακτίνα sqr διασχίζει τον κύκλο ξανά στο σημείο p άλλες ακτίνες όπως οι sr είναι επίσης εστιασμένες πολύ κοντά στο σημείο p. Στο ίδιο σημείο, αν η r ήταν πάνω στον κύκλο τότε η γωνία $spr = 2 \cdot a$ θα ήταν ανεξάρτητη από τη θέση της r, έτσι ώστε όλες οι ακτίνες από το s θα περνούσαν μέσα από το p. Συγκεκριμένα αν το μέγεθος του καθρέφτη είναι μικρό σε σχέση με την διάμετρο του κύκλου τότε αυτό που είπαμε παραπάνω ισχύει. Τώρα αν μία κυματομορφή σε ένα από τα επίπεδα διαθλαστεί από μία γωνία β παραπάνω από την ευθέως ανάκλαση έτσι ώστε να τέμνει τον κύκλο στο σημείο p' τότε το ίδιο θα συμβεί και στη γωνία spr' η οποία θα βρίσκεται συνέχεια στο $2 \cdot (a + \beta)$ επιπλέον εάν η σχισμή, διαχωρισμός και η φωτογραφική πλάκα βρίσκονται όλα σε αυτό τον κύκλο Rowland, τότε μπορεί να παρατηρηθεί ένα έντονο φάσμα χωρίς την παρέμβαση της οπτικής.

4. Μονάδες λειτουργίας του μονοχρωμάτορα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ο τύπος του μονοχρωμάτορα που χρησιμοποιήσαμε για τις μετρήσεις μας ήταν ο ORIEL 77250 με τα παρακάτω χαρακτηριστικά λειτουργίας.

Focal Length	250 mm
Effective aperture	F/3.7
Usable wavelength range	180 nm to 24 μ m with interchangeable gratings; dry nitrogen purge lowers the limit to 175 nm
Resolution	0.5 nm with 1200 l/mm grating and 50 μ m slit
Wavelength readout	3 digit counter in nm with index marks every 0.2 nm
Wavelength precision	wavelength is resettable to ± 0.2 nm from 0 position; resettable to ± 0.4 nm from either direction
Weight	4 lb (1.8 kg)

Η αρχή λειτουργίας του μονοχρωμάτορα στηρίζεται στην αρχή του GRATING SPECTROMETER που περιγράψαμε στην παράγραφο 3.9 **Η αυτοματοποίηση της λειτουργίας του μονοχρωμάτορα μας δίνει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουμε τα παρακάτω:**

- 1) i) Τη σάρωση φάσματος η οποία μας δίνει τη δυνατότητα να πάρουμε το φάσμα μιας εισερχόμενης οπτικής ακτινοβολίας και να το απεικονίσουμε με διάφορους τρόπους , όπως για παράδειγμα γραμμικά και λογαριθμικά.

ii) Μπορούμε να αποθηκεύσουμε τη μέτρηση καθώς και να συγκρίνουμε το φάσμα μιας οπτικής ακτινοβολίας με το φάσμα μιας άλλης πηγής.

iii) Επίσης το πρόγραμμα επιτρέπει την εκτύπωση των αποτελεσμάτων για ευκολότερη επεξεργασία των αποτελεσμάτων.
- 2) Η κατασκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν παλμογράφος . Μας επιτρέπει να δούμε πως μεταβάλλεται ως προς το χρόνο η εισερχόμενη οπτική ακτινοβολία.

Τι το καινούργιο έχει να προσφέρει η νέα κατασκευή ;

Η κατασκευή μπορεί :

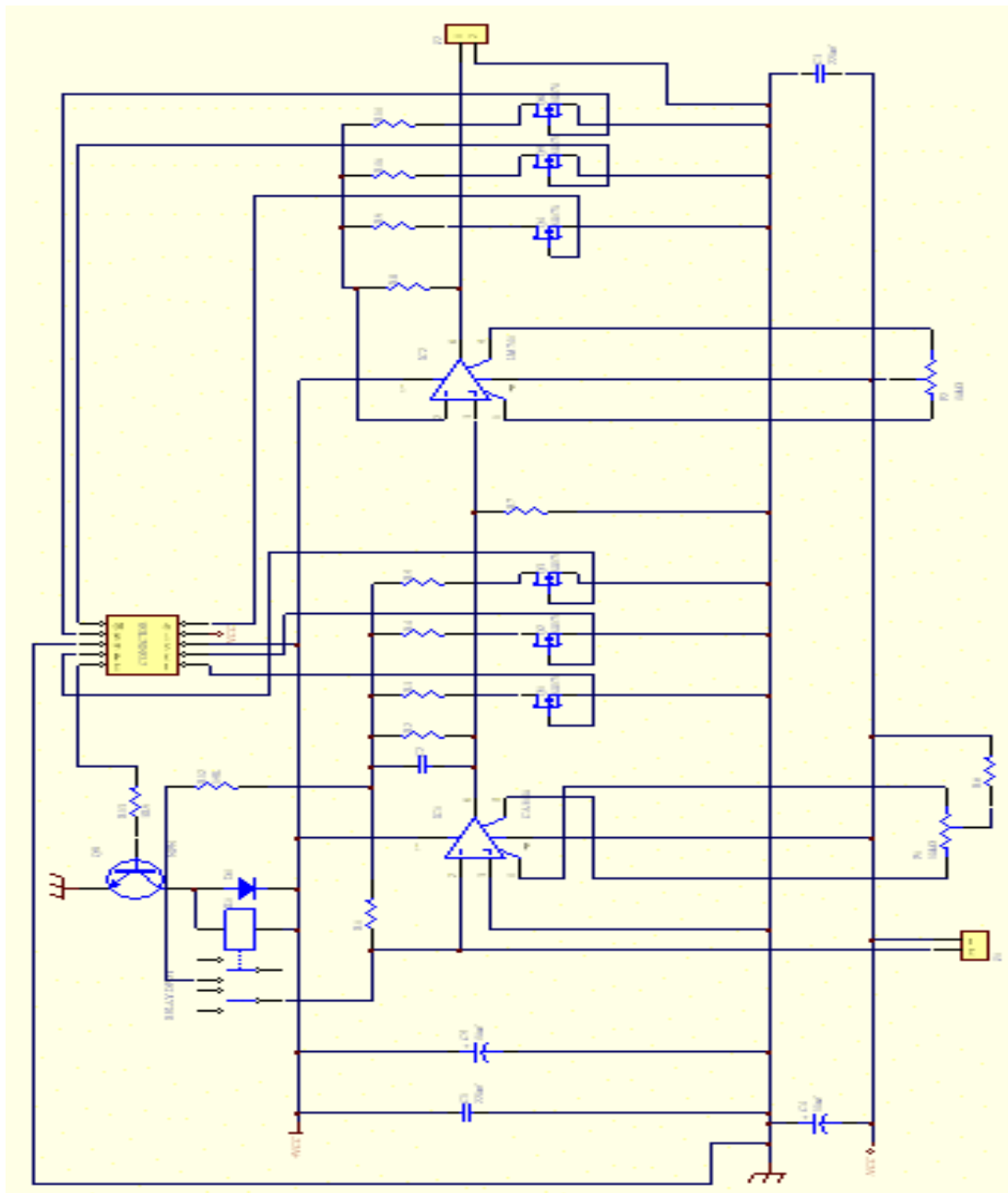
- Να αποθηκεύσει τα αποτελέσματα των μετρήσεων και να τα εκτυπώσει
- Να εμφανίσει περισσότερες από μια μετρήσεις στο ίδιο γράφημα με αποτέλεσμα να έχουμε τη δυνατότητα για άμεση σύγκριση , παράλληλα με τη δυνατότητα να εμφανίσει τις μετρήσεις τόσο σε λογαριθμική όσο και σε γραμμική κλίμακα
- Η λειτουργία της κατασκευής σαν παλμογράφος.
- Το **gain** ρυθμίζεται αυτόματα , ανάλογα με την πηγή φωτός κάθε φορά.
- Το πρόγραμμα είναι πιο φιλικό προς το χρήστη και δεν χρειάζεται κάθε φορά να επανασυγχρονίζουμε το μήκος κύματος του μονοχρωμάτορα , αρκεί να μην υπάρξει εξωτερική παρέμβαση .
- Δυνατότητα ρύθμισης του βήματος δειγματοληψίας

Για την επίτευξη όλων των παραπάνω έγιναν τα εξής σε επίπεδο software και hardware:

- ❖ Δημιουργία νέου περιβάλλοντος για το χρήστη μέσω της Visual Basic 6
- ❖ Κατασκευή αναλογικού κυκλώματος για την ενίσχυση του αναλογικού σήματος της φωτοδιόδου . Ο τύπος της φωτοδιόδου που χρησιμοποιήσαμε ήταν ο BPW34
- ❖ Κατασκευή ψηφιακού κυκλώματος για τον έλεγχο του βηματικού κινητήρα και την επεξεργασία των δεδομένων από το αναλογικό τμήμα μέσω του μικροελεκτή AVR MEGA 8535

4.1 Αναλογικό κύκλωμα και τρόπος λειτουργίας αυτού

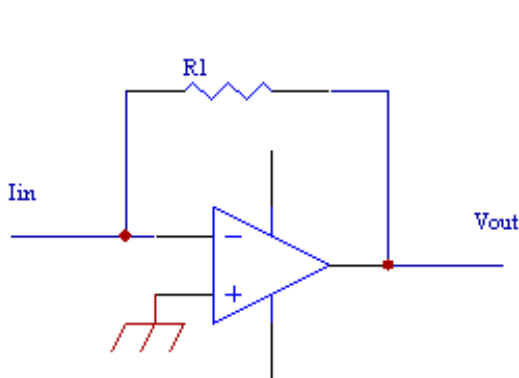
Παρακάτω βλέπουμε το σχηματικό διάγραμμα του αναλογικού τμήματος ενώ γίνεται και μια σύντομη περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του.



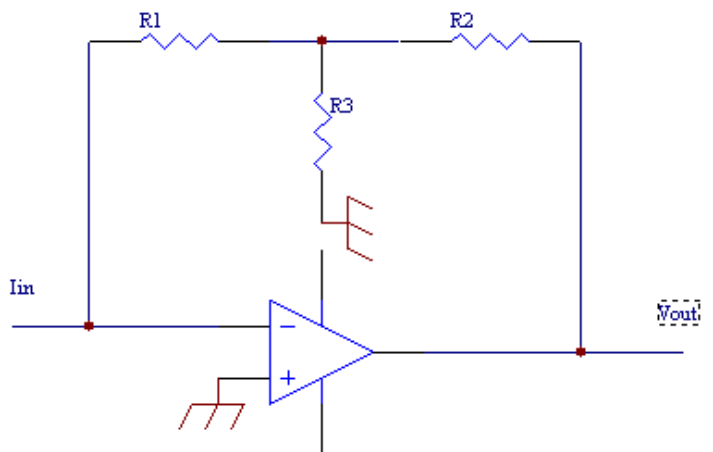
Σχήμα 31

Το αναλογικό κύκλωμα χωρίζεται σε δυο βαθμίδες. Η πρώτη βαθμίδα μετατρέπει το ρεύμα της διόδου σε τάση και ταυτόχρονα φροντίζει για την διατήρηση της τάσης στα άκρα της διόδου σταθερή στα 12 VOLT. Προκειμένου να επιτευχθούν διάφοροι λόγοι μετατροπής ρεύματος σε τάση υπάρχουν τα MOSFET Q1 , Q2, Q3, Q4 και το ρελέ που φροντίζουν για τη μετατροπή της δομής του δικτύωματος αντιστάσεων και επομένως του λόγου μετατροπής ρεύματος σε τάση. Στο κύκλωμα μετατροπής ρεύματος σε τάση , το δικτύωμα αντιστάσεων παίρνει δυο μορφές όπως βλέπουμε παρακάτω. Στην πρώτη μορφή (σχήμα 32) ισχύει ότι $V_{out} = I_n * R1$. Στην δεύτερη μορφή (σχήμα 33) ισχύει ότι $V_{out} = I * (R1 + R2 + R1 * R2 / R3)$.

Η δεύτερη βαθμίδα αποτελεί ουσιαστικά ένα ενισχυτή με μεταβλητό κέρδος που παίρνει τις τιμές X1 X2 X4 X8 , και σε αυτή την περίπτωση τα MOSFET αλλάζουν τη μορφή του δικτύωματος των αντιστάσεων έτσι ώστε να αλλάξει το κέρδος. Στις ενισχύσεις X2 X4 X8 ο τελεστικός λειτουργεί σε συνδεσμολογία μη αναστρέφοντας ενισχυτή. Στο κύκλωμα παρατηρούμε και τους πυκνωτές απόζευξης οι οποίοι προσφέρουν σταθερότητα στην τάση.



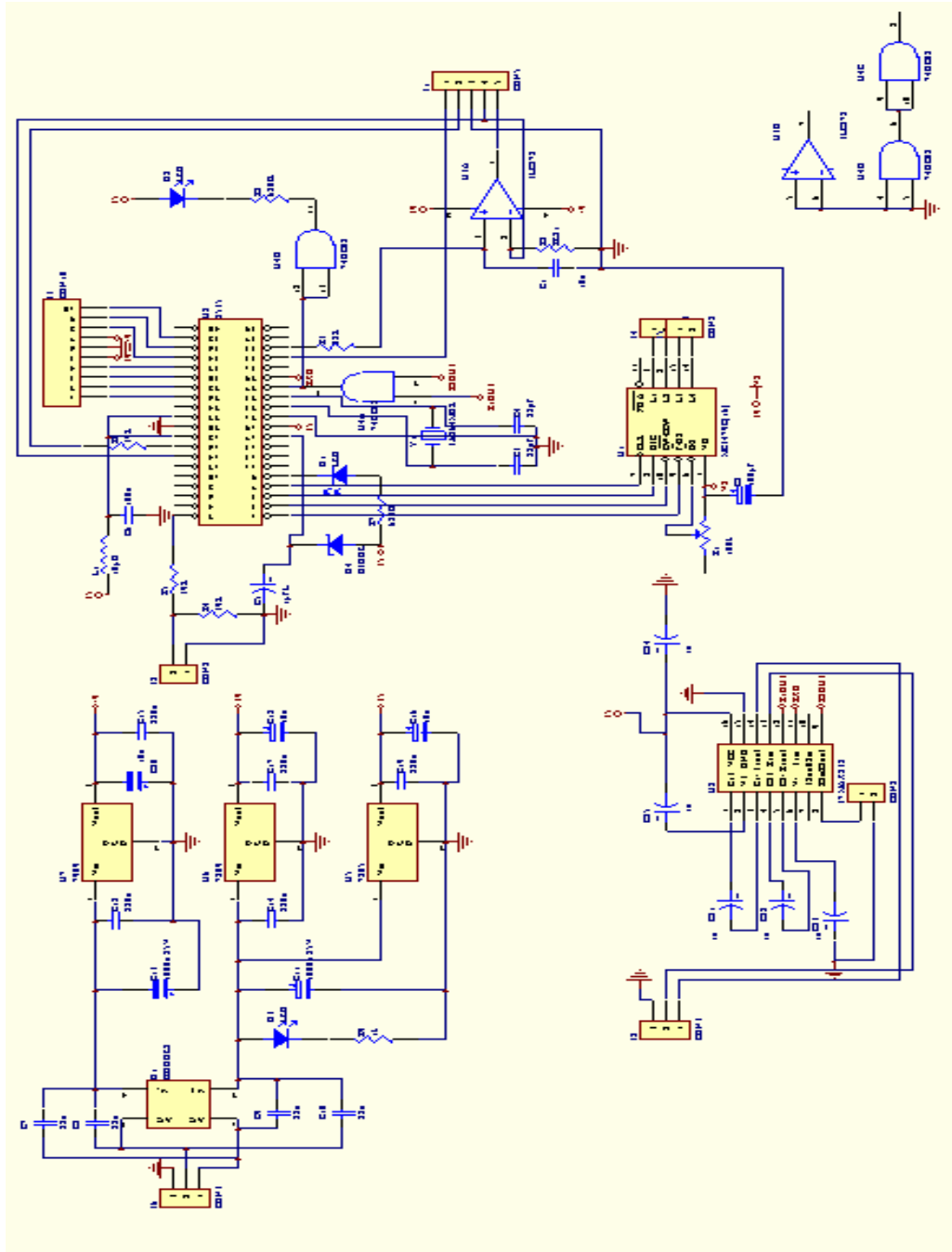
Σχήμα 32



Σχήμα 33

4.2 Ψηφιακό κύκλωμα και τρόπος λειτουργίας αυτού – Τροφοδοσία

Παρακάτω βλέπουμε το σχηματικό διάγραμμα του ψηφιακού τμήματος ενώ γίνεται και μια σύντομη περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του.



Σχήμα 34

Η περιοχή 1 του κυκλώματος παίρνει εναλλασσόμενο ρεύμα από το μετασχηματιστή και το μετατρέπει σε τρεις σταθεροποιημένες συνεχείς τάσεις. +12 , +5 , -12 VOLT .

Η περιοχή 2 του κυκλώματος αναλαμβάνει να μετατρέψει τα σήματα RS-232 σε TTL και αντίστροφα. Το ολοκληρωμένο MC3479C αναλαμβάνει να δώσει τα κατάλληλα ρεύματα στον βηματικό κινητήρα έτσι ώστε αυτός να κινηθεί όπως προστάζουν τα ψηφιακά σήματα που προέρχονται από το μικροελεκτή. Το ποτενσιόμετρο P1 καθορίζει το ρεύμα λειτουργίας του βηματικού κινητήρα.

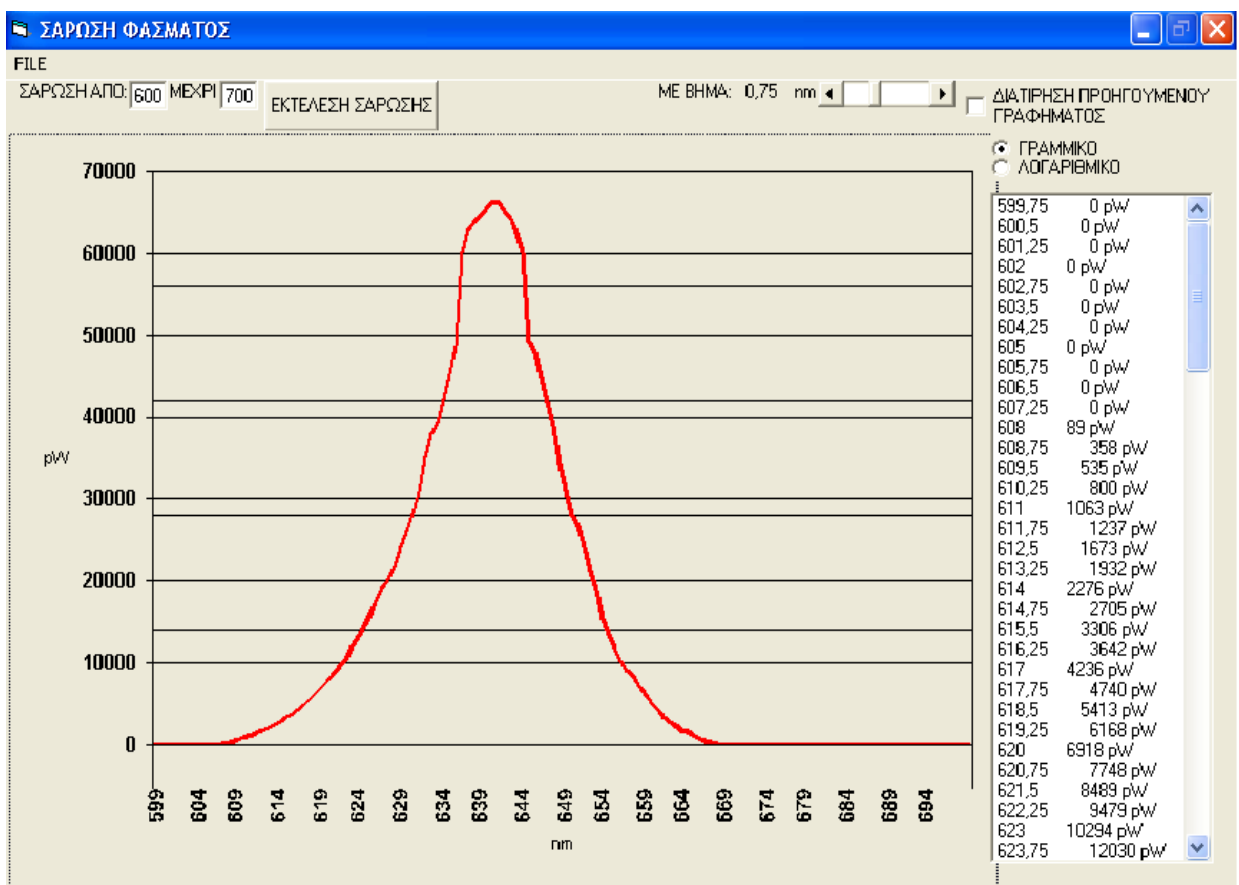
Η περιοχή 3 του κυκλώματος αναλαμβάνει να μετατρέψει το σήμα PWM από το μικροελεκτή σε ένα σταθερό ρεύμα και επιστρέφει στον μικροελεκτή κάποιες τάσεις , από τις οποίες ο τελευταίος μπορεί να καταλάβει την τιμή του ρεύματος και την τάση του στοιχείου από το οποίο διέρχεται το ρεύμα αυτό. Στον κονέκτορα 5 έχουν βραχυκυκλωθεί εξωτερικά οι ακροδέκτες 2 και 5.

Το υπόλοιπο κύκλωμα χρησιμοποιείται για τη σωστή λειτουργία του μικροελεκτή, ο οποίος φροντίζει για τη σωστή λειτουργία των υπολοίπων μερών του κυκλώματος (συμπεριλαμβανομένων και του αναλογικού τμήματος) καθώς και τη συλλογή των στοιχείων που προκύπτουν από αυτά και την αποστολή τους στον υπολογιστή .

4.3 Πειραματικές Μετρήσεις

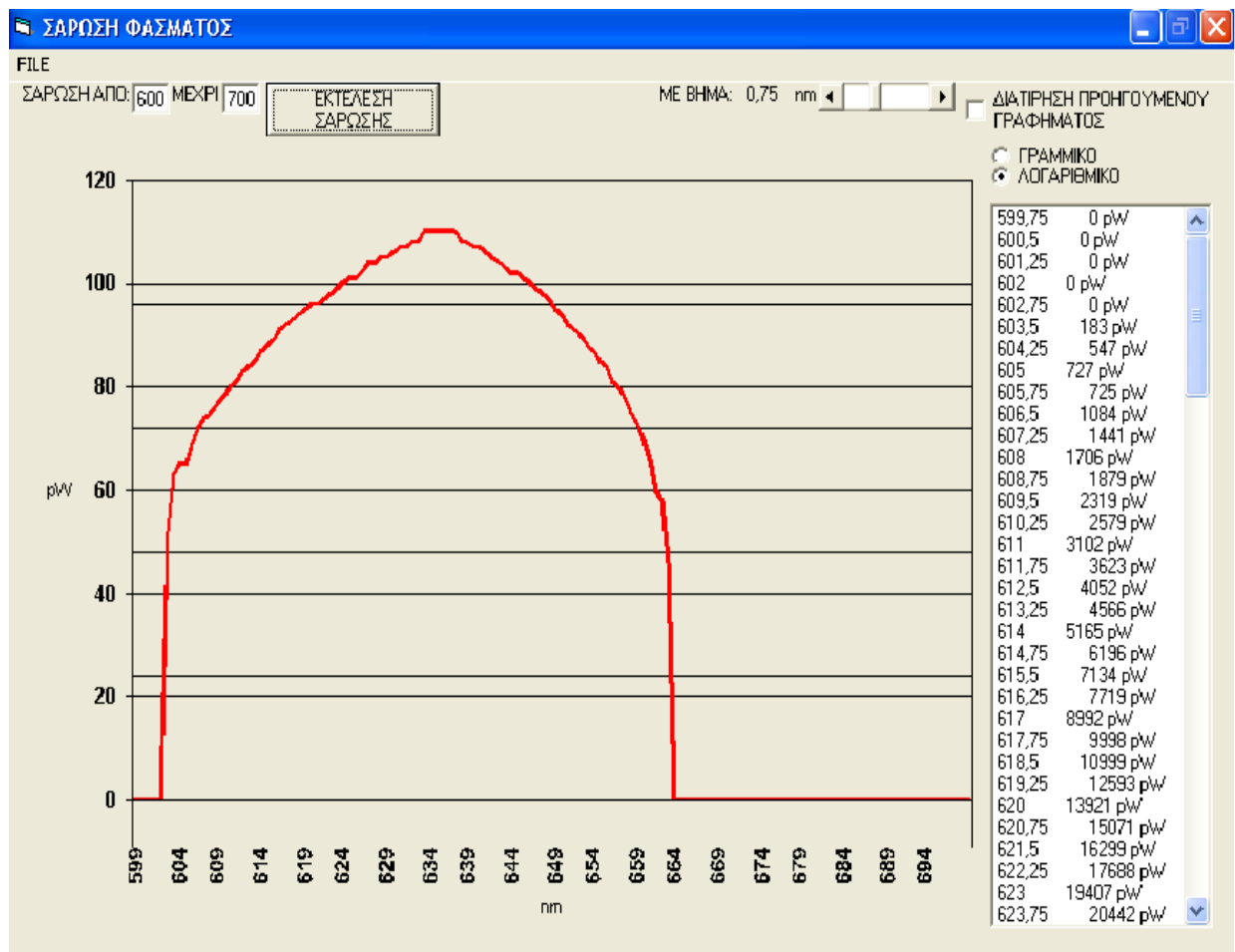
Παρακάτω δίνονται μερικά ενδεικτικά αποτελέσματα , των πειραματικών μετρήσεων που προέκυψαν για LED με μήκος κύματος 650 nm και LASER He-Ne με μήκος κύματος 632 nm. Στο σημείο αυτό αξίζει να υπενθυμίσουμε ότι η διακριτική ικανότητα του μονοχρωμάτορα είναι ίση με $1/8$ m.

Ειδικότερα στο παρακάτω σχήμα (35) βλέπουμε την γραφική παράσταση της ισχύς συναρτήσει του μήκους κύματος για ένα LED με μήκος κύματος τα 650 nm, έτσι όπως αυτή προέκυψε μετά την πειραματική διαδικασία. (γραμμική απεικόνιση)



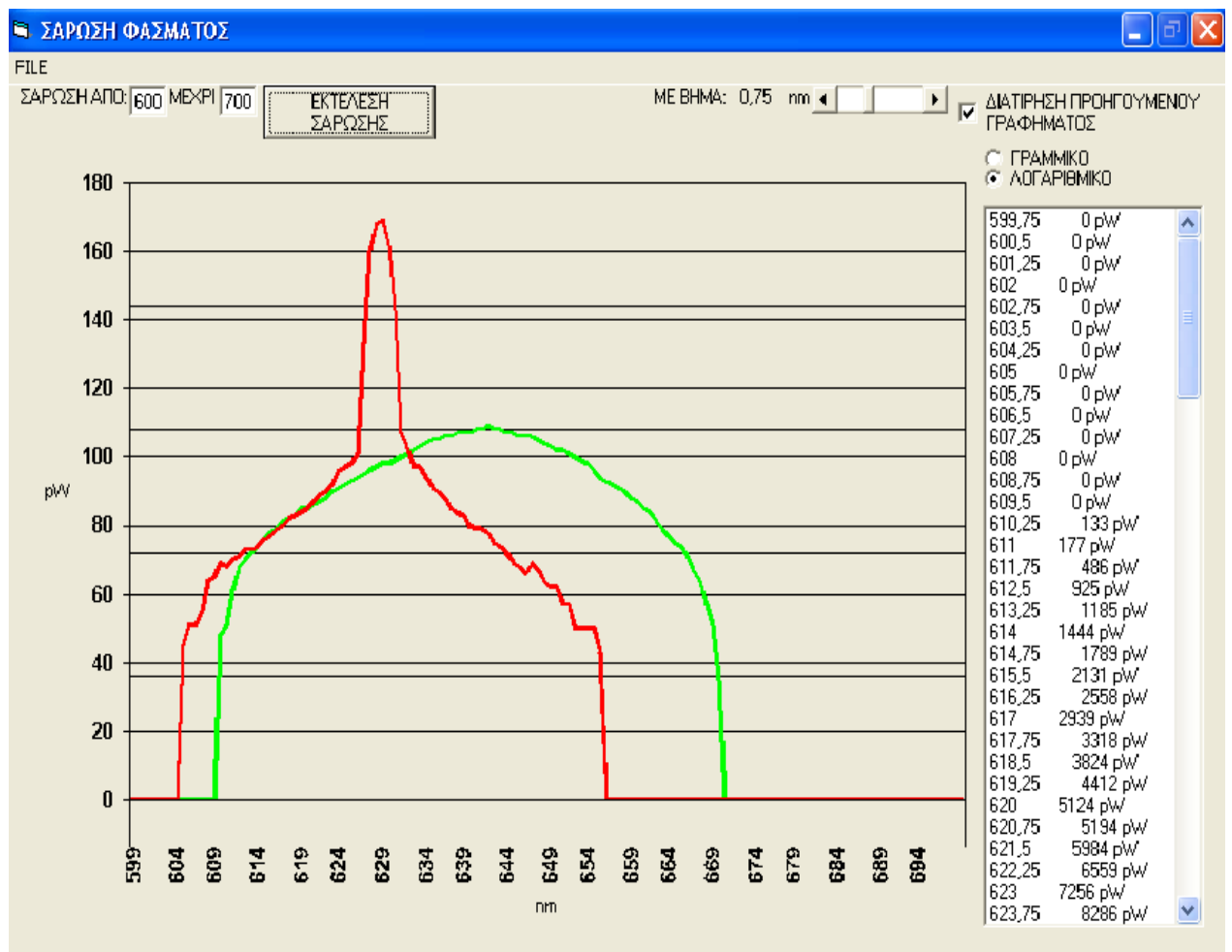
Σχήμα 35“LED 650 nm”

Στο παρακάτω σχήμα (36) βλέπουμε την γραφική παράσταση της ισχύς συναρτήσει του μήκους κύματος για ένα LED με μήκος κύματος τα 650 nm, έτσι όπως αυτή προέκυψε μετά την πειραματική διαδικασία. (λογαριθμική απεικόνιση)



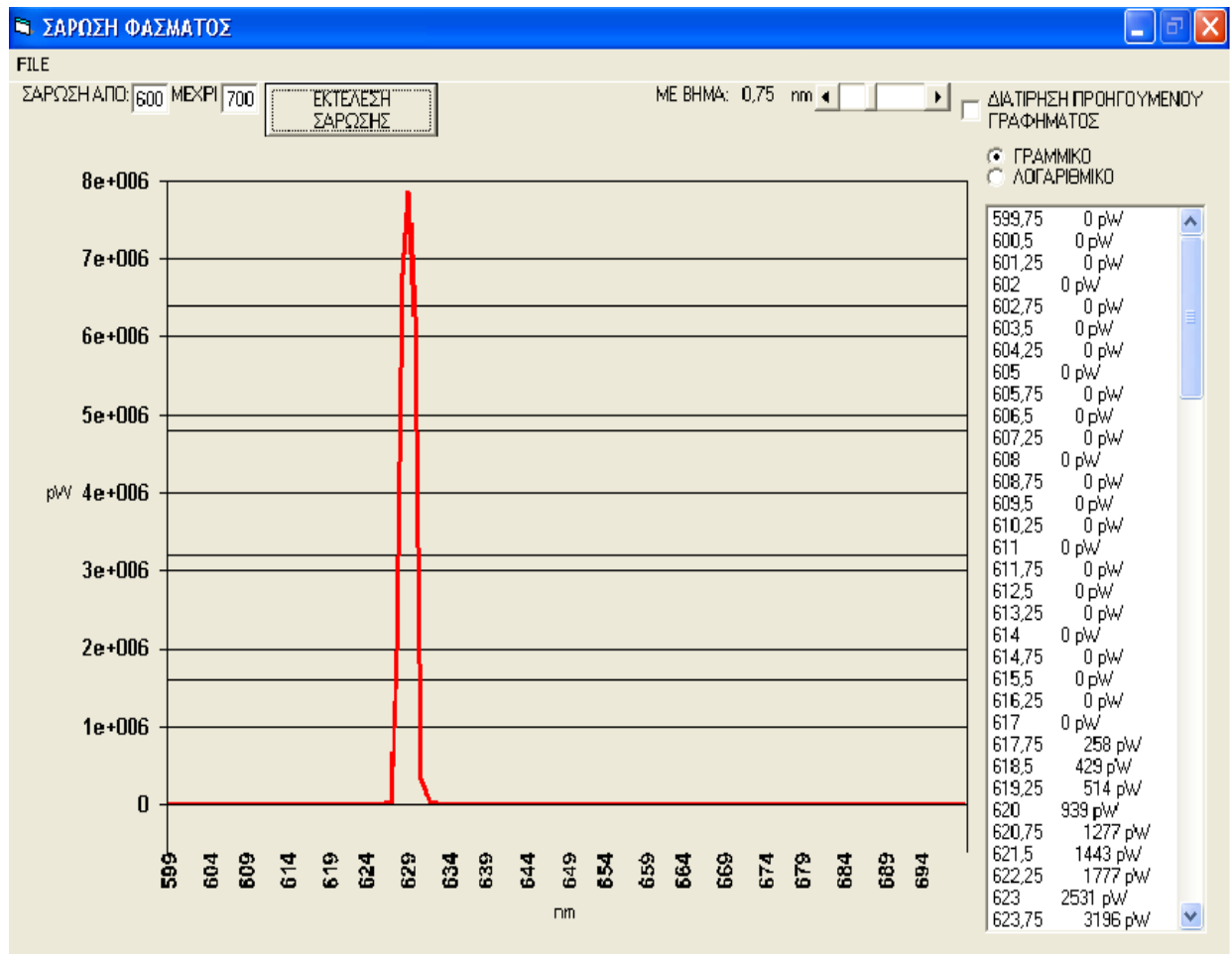
Σχήμα 36“LED 650 nm”

Στο παρακάτω σχήμα (37) έχουμε τη σύγκριση των γραφικών παραστάσεων, της ισχύς συναρτήσει του μήκους κύματος για ένα LED με μήκος κύματος τα 650 nm με την αντίστοιχη γραφική παράσταση ενός LASER He-Ne με μήκος κύματος 632 nm, έτσι όπως αυτή προέκυψε μετά την πειραματική διαδικασία. (λογαριθμική απεικόνιση) Η λογαριθμική απεικόνιση όπως βλέπουμε και παρακάτω μας δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε σύγκριση φάσματος οπτικών πηγών με πολύ μεγάλη διαφορά στην ένταση της οπτικής ακτινοβολίας.



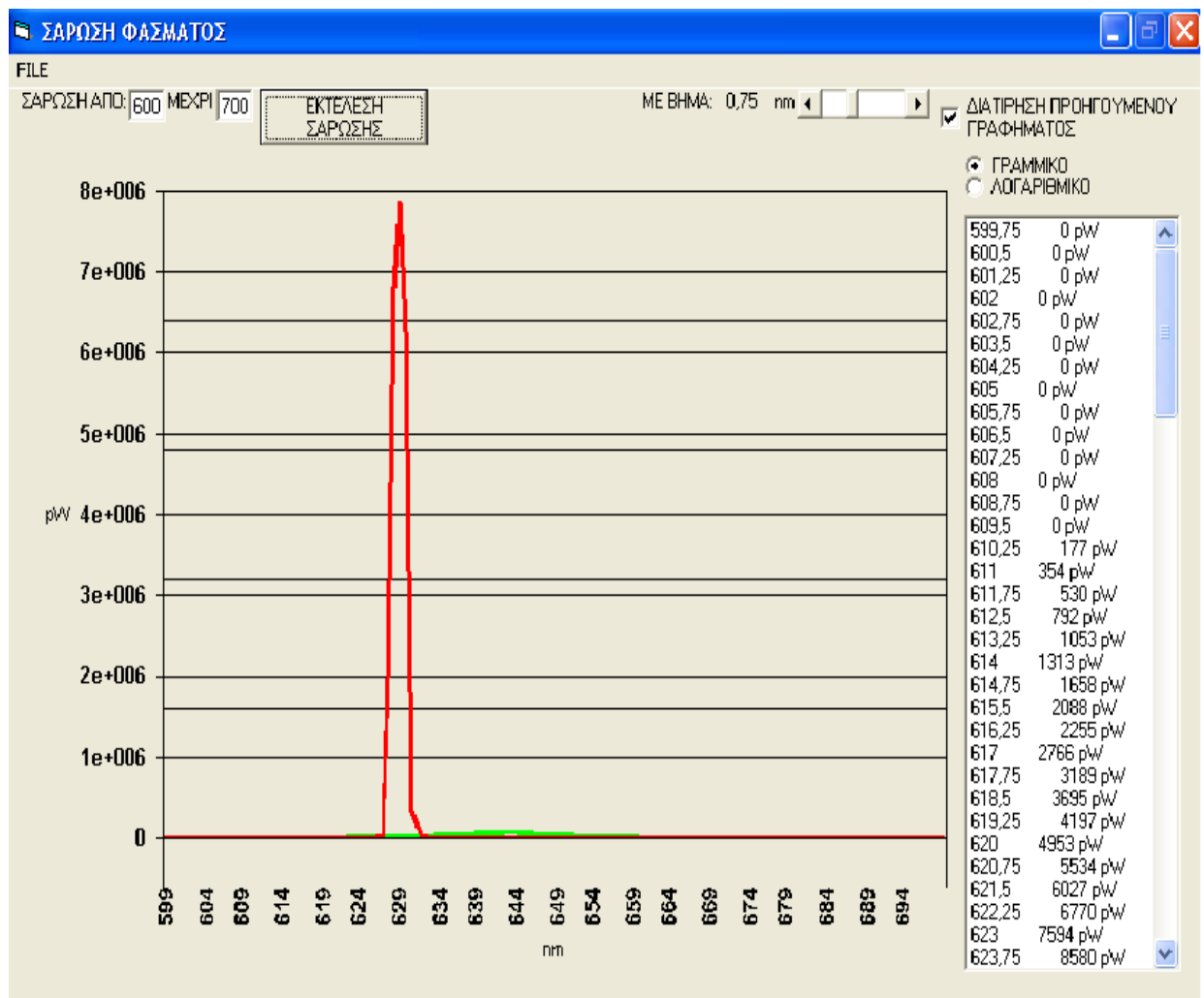
Σχήμα 37 “LED-LASER”

Στο παρακάτω σχήμα (38) βλέπουμε την γραφική παράσταση της ισχύς συναρτήσει του μήκους κύματος για το LASER He-Ne με μήκος κύματος τα 632 nm, έτσι όπως αυτή προέκυψε μετά την πειραματική διαδικασία. (γραμμική απεικόνιση)



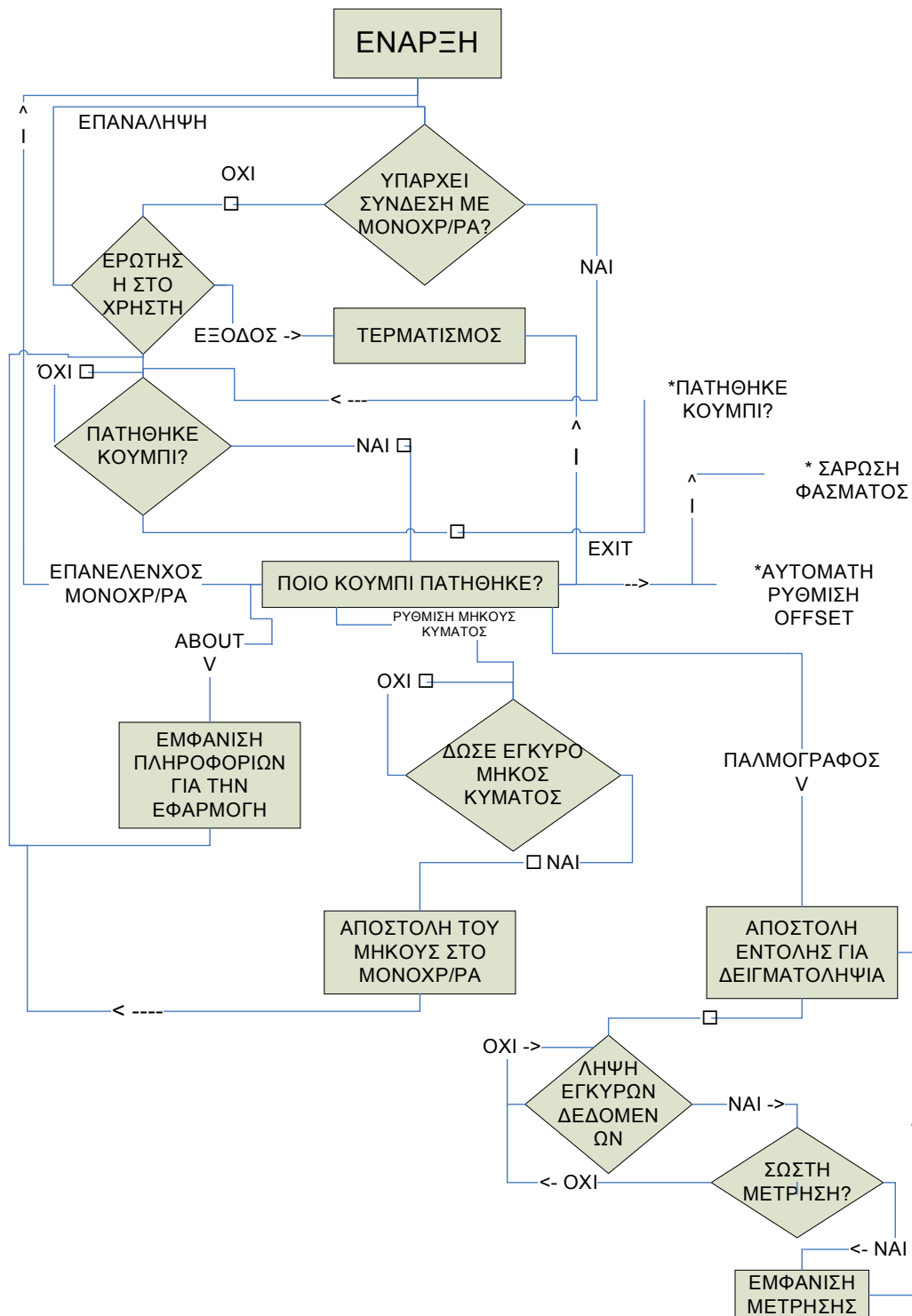
Σχήμα 38 “LASER He-Ne”

Στο παρακάτω σχήμα (39) έχουμε τη σύγκριση των γραφικών παραστάσεων, της ισχύς συναρτήσει του μήκους κύματος για ένα LED με μήκος κύματος τα 650 nm με την αντίστοιχη γραφική παράσταση ενός LASER He-Ne με μήκος κύματος 632 nm, έτσι όπως αυτή προέκυψε μετά την πειραματική διαδικασία. (γραμμική απεικόνιση) Όπως παρατηρούμε παρακάτω η σύγκριση των δυο οπτικών φασμάτων είναι δύσκολο να γίνει με την γραμμική απεικόνιση, σε σχέση με την λογαριθμική απεικόνιση.

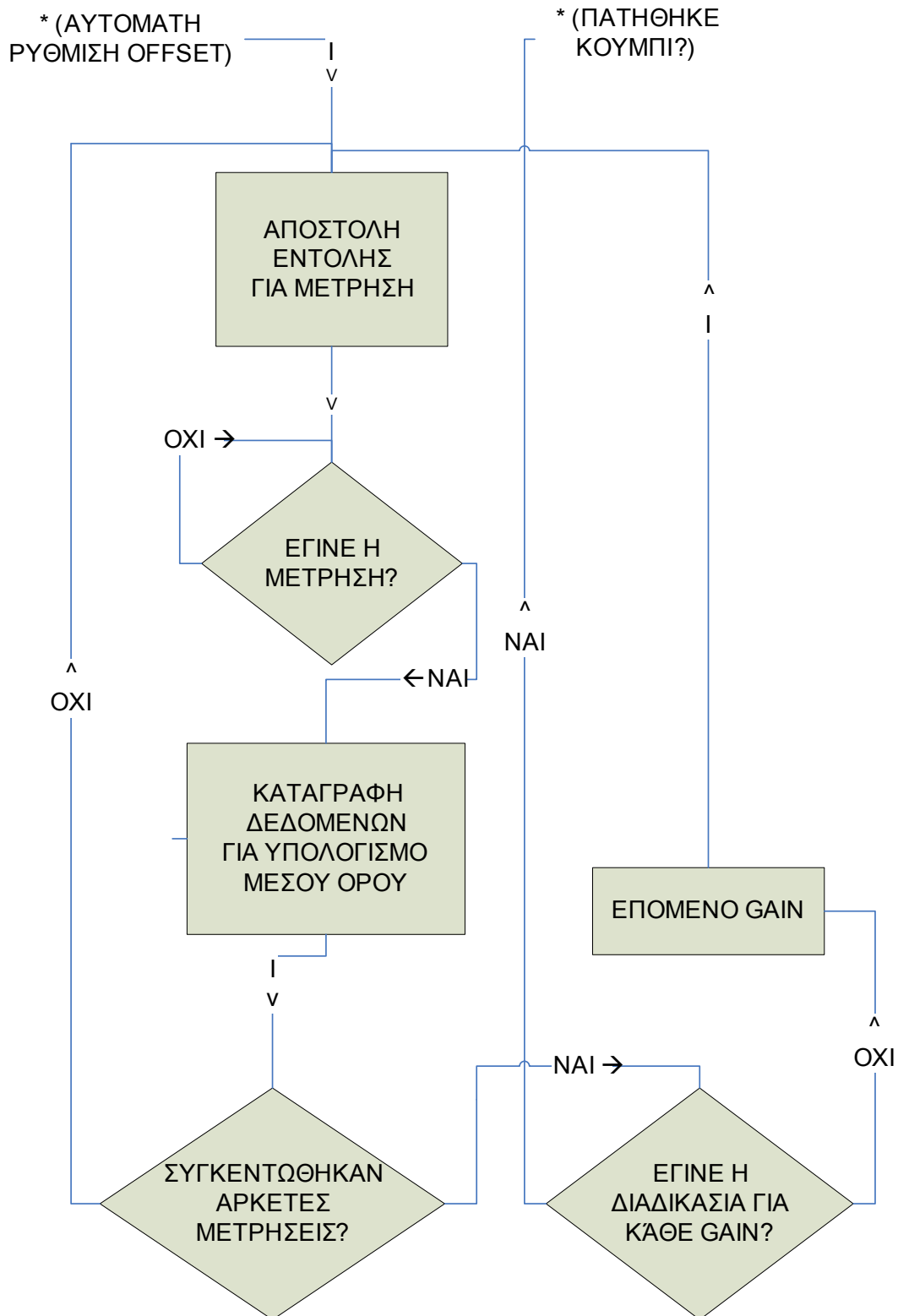


Σχήμα 39 “LED-LASER”

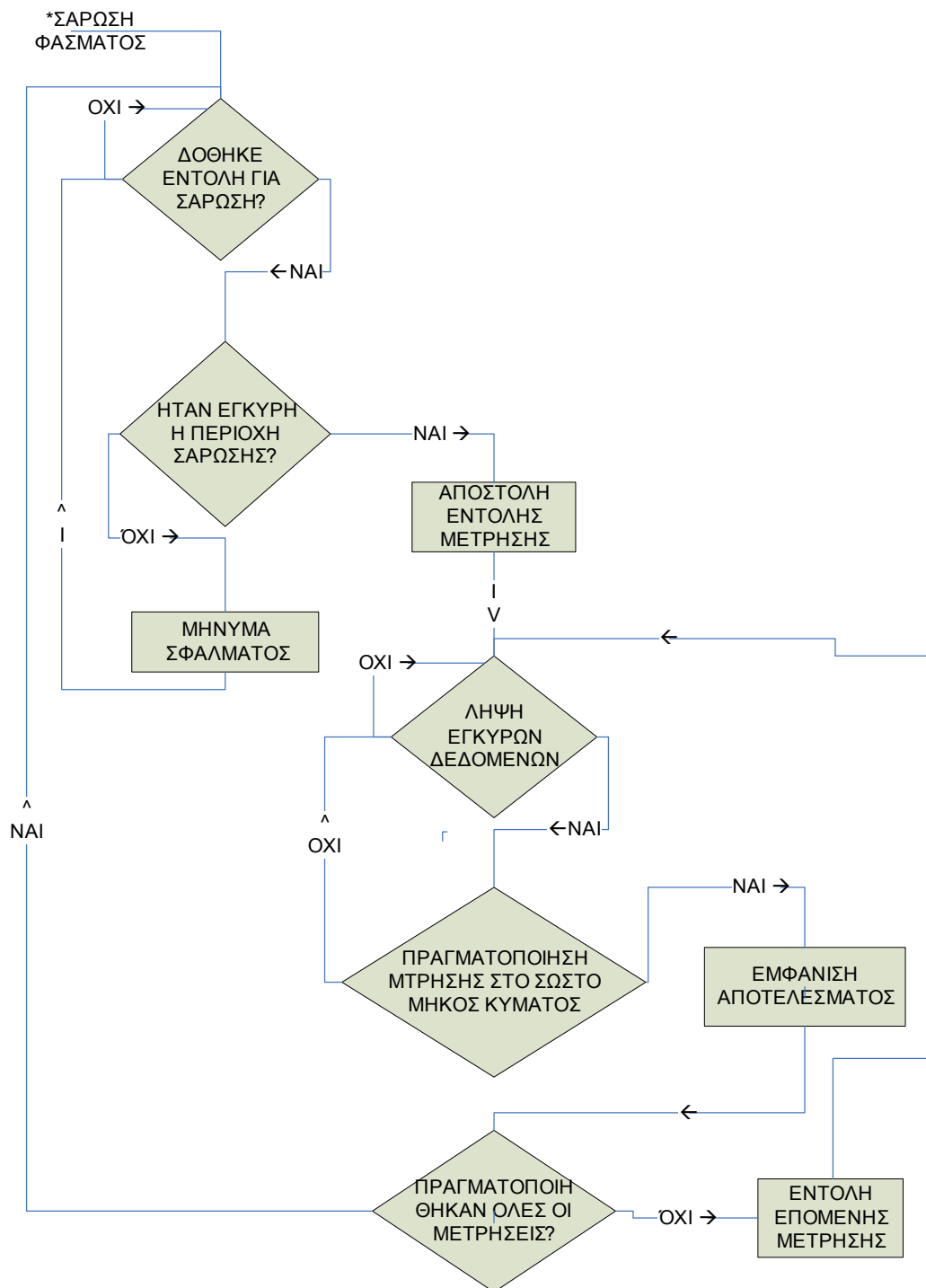
4.4 Αλγόριθμος του προγράμματος του υπολογιστή (Visual Basic 6)



Σχήμα 40

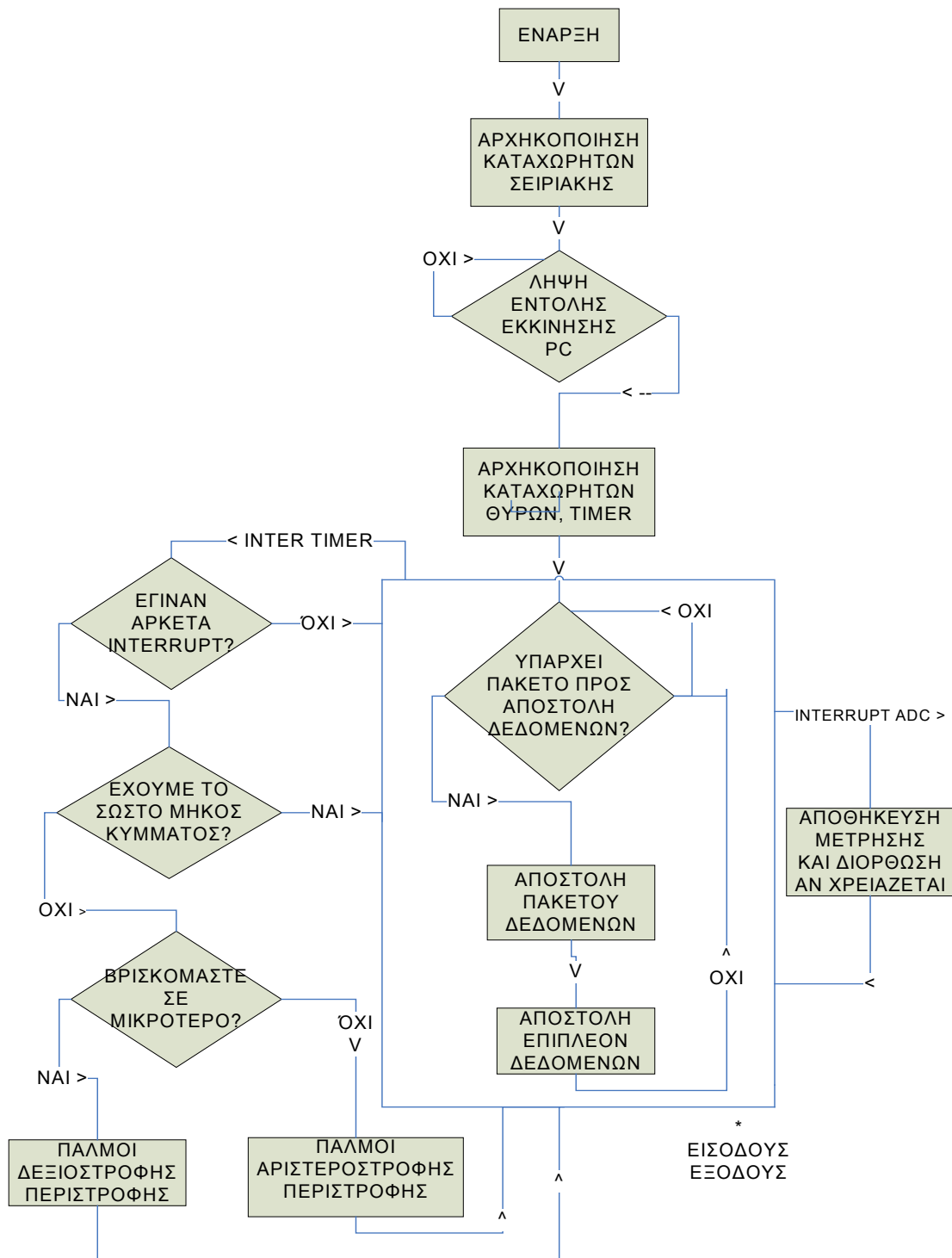


Σχήμα 41

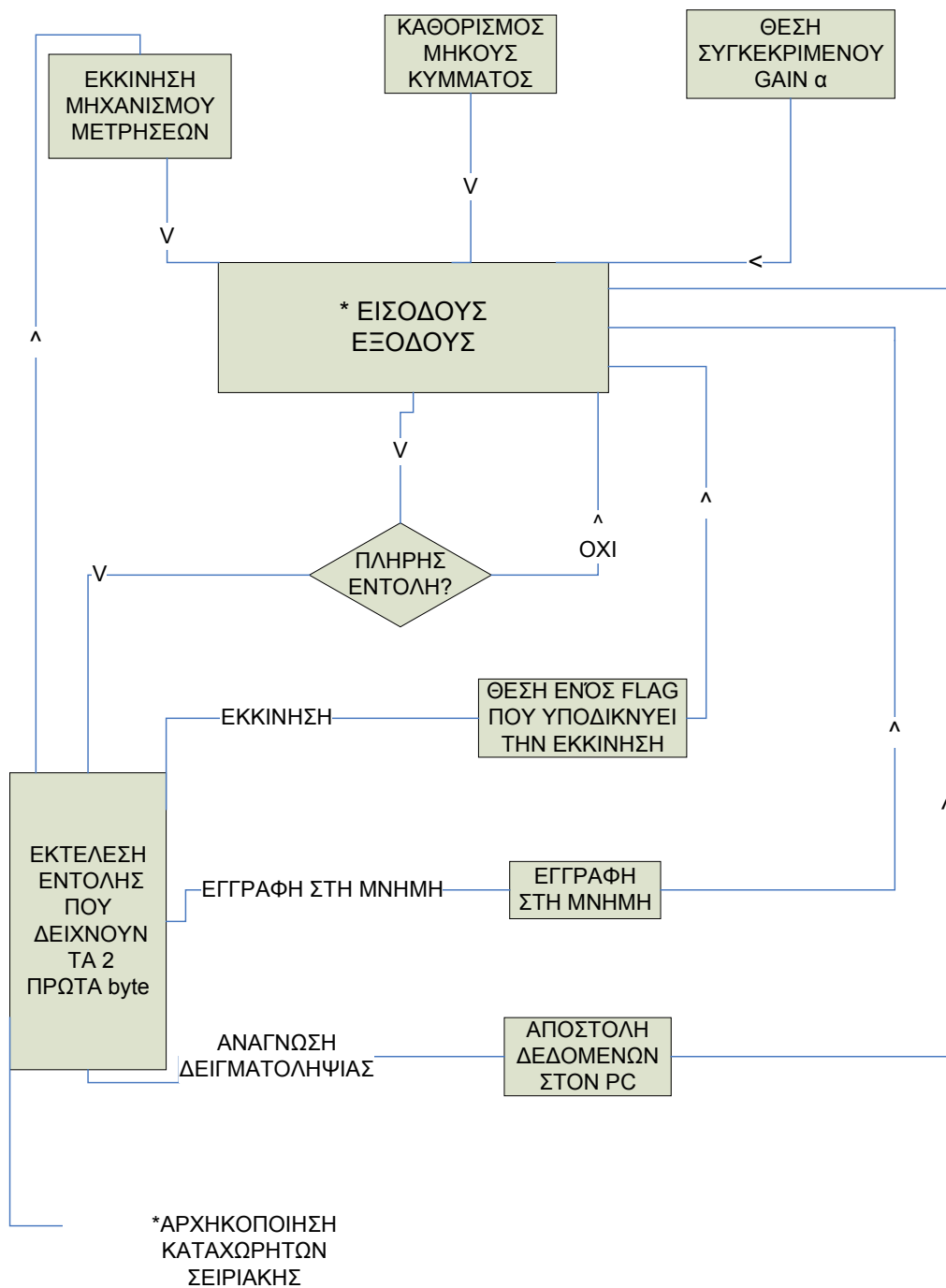


Σχήμα 42

4.5 Αλγόριθμος του προγράμματος του μικροελεκτή AVR 8535



Σχήμα 43



Σχήμα 44

4.6 Συμπεράσματα

Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήσαμε για τις δυο οπτικές πηγές (LED 650nm και LASER He-Ne 632nm) , παρατηρούμε ότι το σύστημα μας είναι ακριβές ενώ ταυτόχρονα το περιβάλλον για το χρήστη είναι πιο φιλικό, δίνοντας του παράλληλα μεγάλες δυνατότητες. επεξεργασίας των πειραματικών αποτελεσμάτων. Επίσης τα επίπεδα του θορύβου στην κατασκευή μας είναι σχετικά χαμηλά , παρότι υπάρχουν θωρακίσεις στην κατασκευή και η λειτουργία της διόδου είναι στην περιοχή που παρέχει σταθερό ρεύμα ανάλογο της φωτεινότητας στα άκρα της και όχι της τάσης στα άκρα της.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1. Οπτική (Γενική Φυσική) Κ.Δ Αλεξόπουλου, Δ.Ι Μαρίνου**
- 2. Πανεπιστημιακή Φυσική Β' Hugh D. Young**
- 3. Φυσική (μέρος Β') Halliday , Resnick**
- 4. Ειδικά Κεφάλαια Φυσικής Δημήτρης Κ. ΝΙΝΟΣ , Νίκος Γ. ΠΑΤΑΡΓΙΑΣ**
- 5. Optics and Photonics An Introduction F.Graham Smith, Terry A. King**
- 6. INTERNET**

6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

DATA SHEET AVR 8535

Features

- AVR[®] – High-performance and Low-power RISC Architecture
 - 118 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General-purpose Working Registers
 - Up to 8 MIPS Throughput at 8 MHz
- Data and Nonvolatile Program Memories
 - 8K Bytes of In-System Programmable Flash
 - SPI Serial Interface for In-System Programming
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
 - 512 Bytes EEPROM
 - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - 512 Bytes Internal SRAM
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - 8-channel, 10-bit ADC
 - Programmable UART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare and Capture Modes and Dual 8-, 9-, or 10-bit PWM
 - Programmable Watchdog Timer with On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset Circuit
 - Real-time Clock (RTC) with Separate Oscillator and Counter Mode
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Three Sleep Modes: Idle, Power Save and Power-down
- Power Consumption at 4 MHz, 3V, 20°C
 - Active: 6.4 mA
 - Idle Mode: 1.9 mA
 - Power-down Mode: <1 µA
- I/O and Packages
 - 32 Programmable I/O Lines
 - 40-lead PDIP, 44-lead PLCC, 44-lead TQFP, and 44-pad MLF
- Operating Voltages
 - V_{CC}: 4.0 - 6.0V AT90S8535
 - V_{CC}: 2.7 - 6.0V AT90LS8535
- Speed Grades:
 - 0 - 8 MHz for the AT90S8535
 - 0 - 4 MHz for the AT90LS8535



8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 8K Bytes
In-System
Programmable
Flash

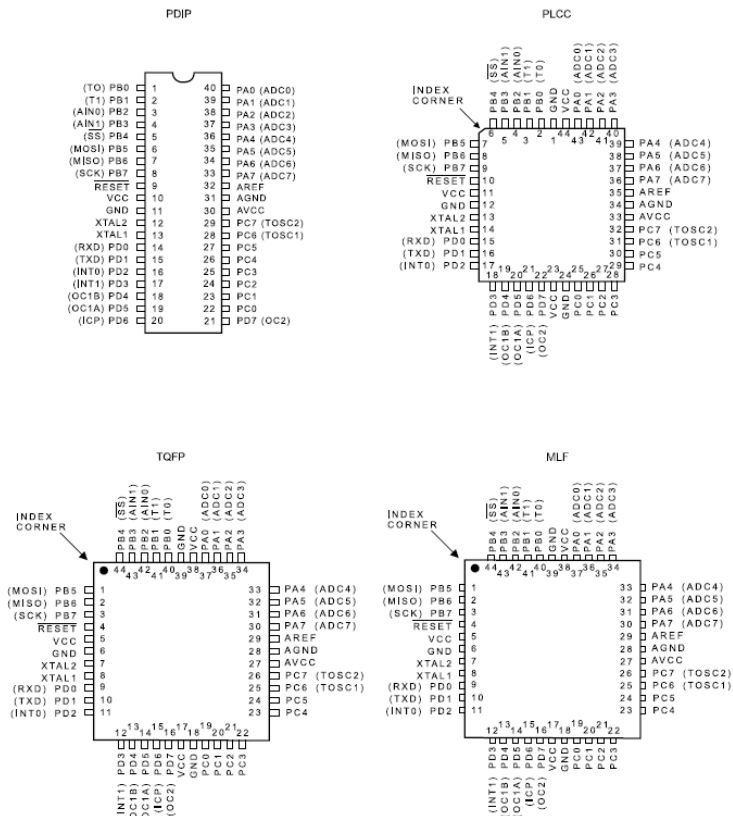
AT90S8535
AT90LS8535

Rev. 1041H–11/01

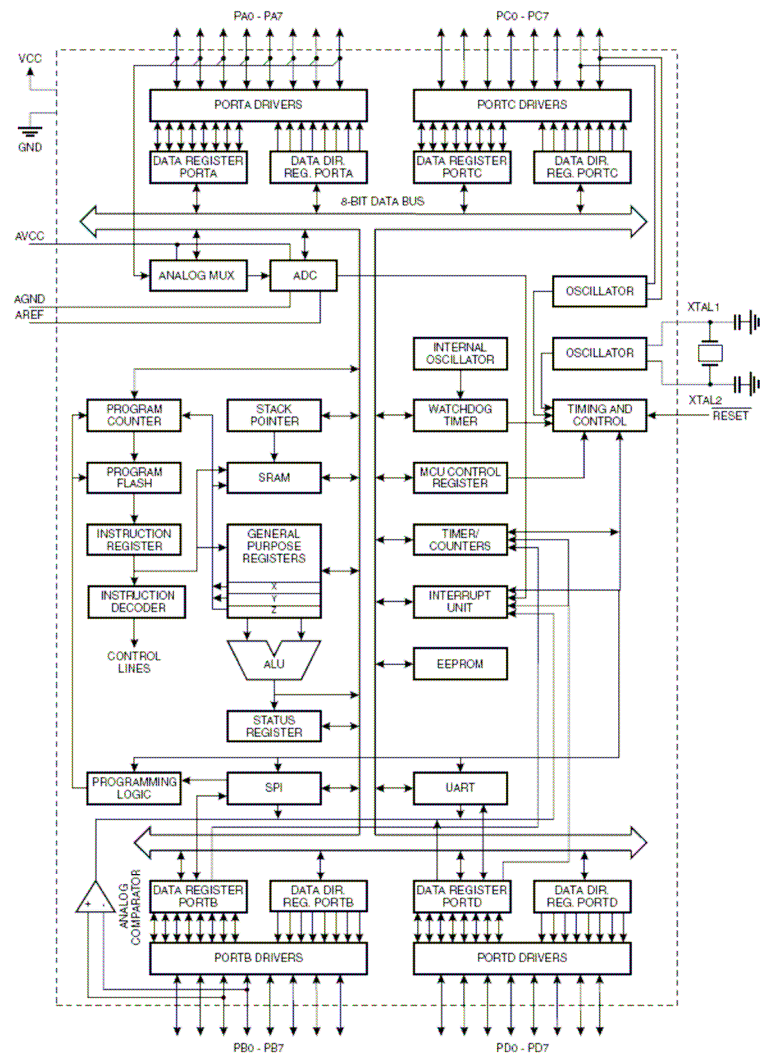




Pin Configurations



The AT90S8535 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the AT90S8535 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.



DATA SHEET CA3140

intersil

CA3140, CA3140A

Data Sheet

September 1998

File Number 957.4

4.5MHz, BiMOS Operational Amplifier with MOSFET Input/Bipolar Output

The CA3140A and CA3140 are integrated circuit operational amplifiers that combine the advantages of high voltage PMOS transistors with high voltage bipolar transistors on a single monolithic chip.

The CA3140A and CA3140 BiMOS operational amplifiers feature gate protected MOSFET (PMOS) transistors in the input circuit to provide very high input impedance, very low input current, and high speed performance. The CA3140A and CA3140 operate at supply voltage from 4V to 36V (either single or dual supply). These operational amplifiers are internally phase compensated to achieve stable operation in unity gain follower operation, and additionally, have access terminal for a supplementary external capacitor if additional frequency roll-off is desired. Terminals are also provided for use in applications requiring input offset voltage nulling. The use of PMOS field effect transistors in the input stage results in common mode input voltage capability down to 0.5V below the negative supply terminal, an important attribute for single supply applications. The output stage uses bipolar transistors and includes built-in protection against damage from load terminal short circuiting to either supply rail or to ground.

The CA3140 Series has the same 8-lead pinout used for the "741" and other industry standard op amps. The CA3140A and CA3140 are intended for operation at supply voltages up to 36V ($\pm 18V$).

Ordering Information

PART NUMBER (BRAND)	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
CA3140AE	-55 to 125	8 Ld PDIP	E8.3
CA3140AM (3140A)	-55 to 125	8 Ld SOIC	M8.15
CA3140AS	-55 to 125	8 Pin Metal Can	T8.C
CA3140AT	-55 to 125	8 Pin Metal Can	T8.C
CA3140E	-55 to 125	8 Ld PDIP	E8.3
CA3140M (3140)	-55 to 125	8 Ld SOIC	M8.15
CA3140M96 (3140)	-55 to 125	8 Ld SOIC Tape and Reel	
CA3140T	-55 to 125	8 Pin Metal Can	T8.C

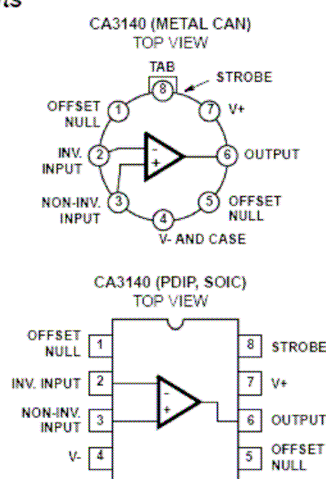
Features

- MOSFET Input Stage
 - Very High Input Impedance (Z_{IN}) - 1.5T Ω (Typ)
 - Very Low Input Current (I_I) - 10pA (Typ) at $\pm 15V$
 - Wide Common Mode Input Voltage Range (V_{ICR}) - Can be Swung 0.5V Below Negative Supply Voltage Rail
 - Output Swing Complements Input Common Mode Range
- Directly Replaces Industry Type 741 in Most Applications

Applications

- Ground-Referenced Single Supply Amplifiers in Automobile and Portable Instrumentation
- Sample and Hold Amplifiers
- Long Duration Timers/Multivibrators (μ seconds-Minutes-Hours)
- Photocurrent Instrumentation
- Peak Detectors
- Active Filters
- Comparators
- Interface in 5V TTL Systems and Other Low Supply Voltage Systems
- All Standard Operational Amplifier Applications
- Function Generators
- Tone Controls
- Power Supplies
- Portable Instruments
- Intrusion Alarm Systems

Pinouts



Absolute Maximum Ratings

DC Supply Voltage (Between V+ and V- Terminals)	36V
Differential Mode Input Voltage	8V
DC Input Voltage	(V+ +8V) To (V- -0.5V)
Input Terminal Current	1mA
Output Short Circuit Duration (Note 2)	Indefinite

Operating Conditions

Temperature Range	-55°C to 125°C
-------------------	----------------

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTES:

1. θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.
2. Short circuit may be applied to ground or to either supply.

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	θ_{JA} (°C/W)	θ_{JC} (°C/W)
PDIP Package	100	N/A
SOIC Package	160	N/A
Metal Can Package	170	85
Maximum Junction Temperature (Metal Can Package)	175°C	
Maximum Junction Temperature (Plastic Package)	150°C	
Maximum Storage Temperature Range	-65°C to 150°C	
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300°C	
(SOIC - Lead Tips Only)		

Electrical Specifications $V_{SUPPLY} = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		TYPICAL VALUES		UNITS
				CA3140	CA3140A	
Input Offset Voltage Adjustment Resistor		Typical Value of Resistor Between Terminals 4 and 5 or 4 and 1 to Adjust Max V_{IO}		4.7	18	k Ω
Input Resistance	R_I			1.5	1.5	T Ω
Input Capacitance	C_I			4	4	pF
Output Resistance	R_O			60	60	Ω
Equivalent Wideband Input Noise Voltage (See Figure 27)	e_N	BW = 140kHz, $R_S = 1M\Omega$		48	48	μV
Equivalent Input Noise Voltage (See Figure 35)	e_N	$R_S = 100\Omega$	f = 1kHz	40	40	nV/ $\sqrt{Hz}$
			f = 10kHz	12	12	nV/ $\sqrt{Hz}$
Short Circuit Current to Opposite Supply	I_{OM+}		Source	40	40	mA
	I_{OM-}		Sink	18	18	mA
Gain-Bandwidth Product, (See Figures 6, 30)	f_T			4.5	4.5	MHz
Slew Rate, (See Figure 31)	SR			9	9	V/ μs
Sink Current From Terminal 8 To Terminal 4 to Swing Output Low				220	220	μA
Transient Response (See Figure 28)	t_r	$R_L = 2k\Omega$ $C_L = 100pF$	Rise Time	0.08	0.08	μs
	OS		Overshoot	10	10	%
Settling Time at 10V _{P-P} , (See Figure 5)	t_s	$R_L = 2k\Omega$ $C_L = 100pF$ Voltage Follower	To 1mV	4.5	4.5	μs
			To 10mV	1.4	1.4	μs

Electrical Specifications For Equipment Design, at $V_{SUPPLY} = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	CA3140			CA3140A			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	$ V_{IO} $	-	5	15	-	2	5	mV
Input Offset Current	$ I_{IO} $	-	0.5	30	-	0.5	20	pA
Input Current	I_I	-	10	50	-	10	40	pA
Large Signal Voltage Gain (Note 3) (See Figures 6, 29)	A_{OL}	20	100	-	20	100	-	kV/V
		86	100	-	86	100	-	dB

CA3140, CA3140A

Electrical Specifications For Equipment Design, at $V_{\text{SUPPLY}} = \pm 15\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	CA3140			CA3140A			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Common Mode Rejection Ratio (See Figure 34)	CMRR	-	32	320	-	32	320	$\mu\text{V/V}$
		70	90	-	70	90	-	dB
Common Mode Input Voltage Range (See Figure 8)	V_{ICR}	-15	-15.5 to +12.5	11	-15	-15.5 to +12.5	12	V
Power-Supply Rejection Ratio, $\Delta V_{\text{ICR}}/\Delta V_{\text{S}}$ (See Figure 36)	PSRR	-	100	150	-	100	150	$\mu\text{V/V}$
		76	80	-	76	80	-	dB
Max Output Voltage (Note 4) (See Figures 2, 8)	$V_{\text{OM+}}$	+12	13	-	+12	13	-	V
	$V_{\text{OM-}}$	-14	-14.4	-	-14	-14.4	-	V
Supply Current (See Figure 32)	I_+	-	4	6	-	4	6	mA
Device Dissipation	P_D	-	120	180	-	120	180	mW
Input Offset Voltage Temperature Drift	$\Delta V_{\text{ICR}}/\Delta T$	-	8	-	-	6	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

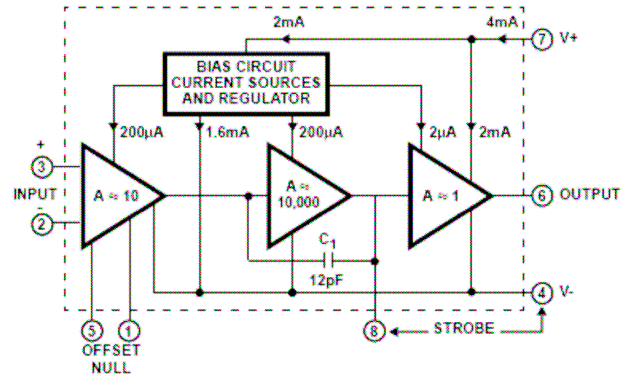
NOTES:

- At $V_O = 26V_{\text{P-P}}$, +12V, -14V and $R_L = 2k\Omega$.
- At $R_L = 2k\Omega$.

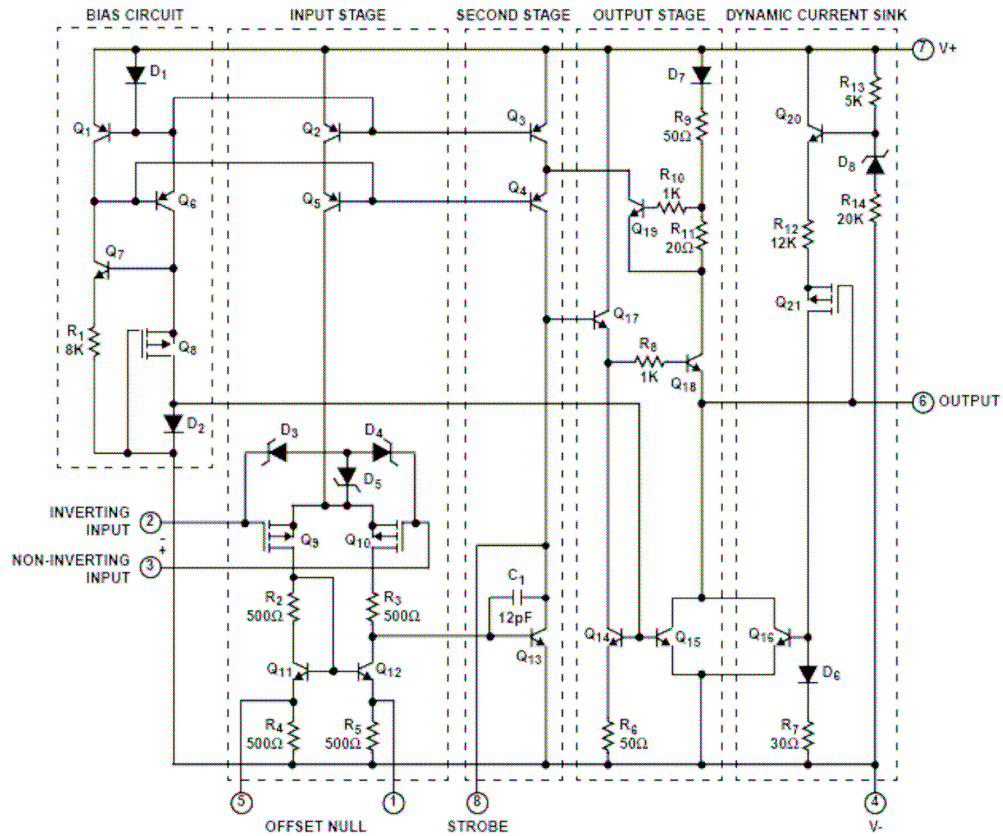
Electrical Specifications For Design Guidance At $V_+ = 5\text{V}$, $V_- = 0\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	SYMBOL	TYPICAL VALUES		UNITS
		CA3140	CA3140A	
Input Offset Voltage	$ V_{\text{IO}} $	5	2	mV
Input Offset Current	$ I_{\text{IO}} $	0.1	0.1	pA
Input Current	I_i	2	2	pA
Input Resistance	R_i	1	1	T Ω
Large Signal Voltage Gain (See Figures 6, 29)	A_{OL}	100	100	kV/V
		100	100	dB
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	32	32	$\mu\text{V/V}$
		90	90	dB
Common Mode Input Voltage Range (See Figure 8)	V_{ICR}	-0.5	-0.5	V
		2.6	2.6	V
Power Supply Rejection Ratio	PSRR $\Delta V_{\text{ICR}}/\Delta V_{\text{S}}$	100	100	$\mu\text{V/V}$
		80	80	dB
Maximum Output Voltage (See Figures 2, 8)	$V_{\text{OM+}}$	3	3	V
	$V_{\text{OM-}}$	0.13	0.13	V
Maximum Output Current:	Source	$I_{\text{OM+}}$	10	mA
	Sink	$I_{\text{OM-}}$	1	mA
Slew Rate (See Figure 31)	SR	7	7	V/ μs
Gain-Bandwidth Product (See Figure 30)	f_T	3.7	3.7	MHz
Supply Current (See Figure 32)	I_+	1.6	1.6	mA
Device Dissipation	P_D	8	8	mW
Sink Current from Terminal 8 to Terminal 4 to Swing Output Low		200	200	μA

Block Diagram



Schematic Diagram



NOTE: All resistance values are in ohms.

DATA SHEET MC3479C



MOTOROLA

Order this document by MC3479/D

MC3479

Stepper Motor Driver

The MC3479 is designed to drive a two-phase stepper motor in the bipolar mode. The circuit consists of four input sections, a logic decoding/sequencing section, two driver-stages for the motor coils, and an output to indicate the Phase A drive state.

- Single Supply Operation: 7.2 to 16.5 V
- 350 mA/Coil Drive Capability
- Clamp Diodes Provided for Back-EMF Suppression
- Selectable CW/CCW and Full/Half Step Operation
- Selectable High/Low Output Impedance (Half Step Mode)
- TTL/CMOS Compatible Inputs
- Input Hysteresis: 400 mV Minimum
- Phase Logic Can Be Initialized to Phase A
- Phase A Output Drive State Indication (Open-Collector)
- Available in Standard DIP and Surface Mount

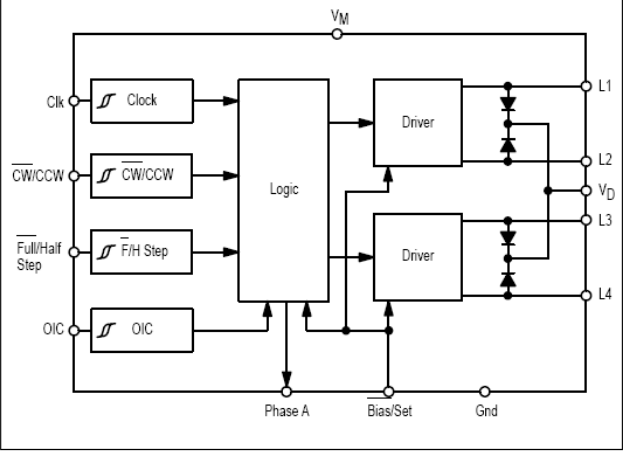
STEPPER MOTOR DRIVER

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

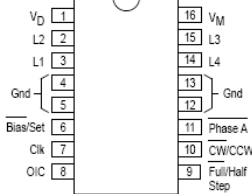


P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648C

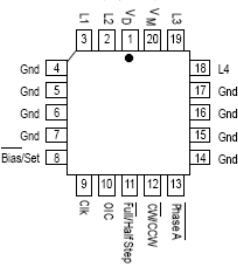
Figure 1. Representative Block Diagram



PIN CONNECTIONS



(Top View)



ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
MC3479P	T _A = 0° to +70°C	Plastic

INPUT TRUTH TABLE

	Input Low	Input High
CW/CCW	CW	CCW
Full/Half Step	Full Step	Half Step
OIC	Hi Z	Low Z
Clk	Positive Edge Triggered	

MC3479

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V_M	+ 18	Vdc
Clamp Diode Cathode Voltage (Pin 1)	V_D	$V_M + 5.0$	Vdc
Driver Output Voltage	V_{OD}	$V_M + 6.0$	Vdc
Drive Output Current/Coil	I_{OD}	± 500	mA
Input Voltage (Logic Controls)	V_{in}	- 0.5 to + 7.0	Vdc
Bias/Set Current	I_{BS}	- 10	mA
Phase A Output Voltage	V_{OA}	+ 18	Vdc
Phase A Sink Current	I_{OA}	20	mA
Junction Temperature	T_J	+ 150	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	- 65 to + 150	°C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
Supply Voltage	V_M	+ 7.2	+ 16.5	Vdc
Clamp Diode Cathode Voltage	V_D	V_M	$V_M + 4.5$	Vdc
Driver Output Current (Per Coil) (Note 1)	I_{OD}	—	350	mA
Input Voltage (Logic Controls)	V_{in}	0	+ 5.5	Vdc
Bias/Set Current (Outputs Active)	I_{BS}	- 300	- 75	μA
Phase A Output Voltage	V_{OA}	—	V_M	Vdc
Phase A Sink Current	I_{OA}	0	8.0	mA
Operating Ambient Temperature	T_A	0	+ 70	°C

NOTE: 1. See section on Power Dissipation in Application Information.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Specifications apply over the recommended supply voltage and temperature range, [Notes 2, 3] unless otherwise noted.)

Characteristic	Pins	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
INPUT LOGIC LEVELS						
Threshold Voltage (Low-to-High)	7, 8, 9, 10	V_{TLH}	—	—	2.0	Vdc
Threshold Voltage (High-to-Low)		V_{THL}	0.8	—	—	Vdc
Hysteresis		V_{HYS}	0.4	—	—	Vdc
Current: ($V_I = 0.4$ V) ($V_I = 5.5$ V) ($V_I = 2.7$ V)		I_{IL}	-100 — —	— — —	— +100 +20	μ A
DRIVER OUTPUT LEVELS						
Output High Voltage ($I_{BS} = -300 \mu$ A): ($I_{OD} = -350$ mA) ($I_{OD} = -0.1$ mA)	2, 3, 14, 15	V_{OHD}	$V_M - 2.0$ $V_M - 1.2$	— —	— —	Vdc
Output Low Voltage ($I_{BS} = -300 \mu$ A, $I_{OD} = 350$ mA)		V_{OLD}	—	—	0.8	Vdc
Differential Mode Output Voltage Difference (Note 4) ($I_{BS} = -300 \mu$ A, $I_{OD} = 350$ mA)		DV_{OD}	—	—	0.15	Vdc
Common Mode Output Voltage Difference (Note 5) ($I_{BS} = -300 \mu$ A, $I_{OD} = -0.1$ mA)		CV_{OD}	—	—	0.15	Vdc
Output Leakage, Hi Z State ($0 \leq V_{OD} \leq V_M$, $I_{BS} = -5.0 \mu$ A) ($0 \leq V_{OD} \leq V_M$, $I_{BS} = -300 \mu$ A, F/H = 2.0 V, OIC = 0.8 V)		I_{OZ1} I_{OZ2}	-100 -100	— —	+100 +100	μ A

NOTES: 2. Algebraic convention rather than absolute values is used to designate limit values.

3. Current into a pin is designated as positive. Current out of a pin is designated as negative.

4. $DV_{OD} = V_{OD1,2} - V_{OD3,4}$ where: $V_{OD1,2} = (V_{OHD1} - V_{OLD2})$ or $(V_{OHD2} - V_{OLD1})$, and $V_{OD3,4} = (V_{OHD3} - V_{OLD4})$ or $(V_{OHD4} - V_{OLD3})$.

5. $CV_{OD} = V_{OHD1} - V_{OHD2}$ or $V_{OHD3} - V_{OHD4}$.

MC3479

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Specifications apply over the recommended supply voltage and temperature range, [Notes 2, 3] unless otherwise noted.)

Characteristic	Pins	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
CLAMP DIODES						
Forward Voltage ($I_D = 350\text{ mA}$)	1, 2, 3, 14, 15	V_{DF}	—	2.5	3.0	Vdc
Leakage Current (Per Diode) (Pin 1 = 21 V; Outputs = 0 V; $I_{BS} = 0\text{ }\mu\text{A}$)		I_{DR}	—	—	100	μA
PHASE A OUTPUT						
Output Low Voltage ($I_{OA} = 8.0\text{ mA}$)	11	V_{OLA}	—	—	0.4	Vdc
Off State Leakage Current ($V_{OHA} = 16.5\text{ V}$)		I_{OHA}	—	—	100	μA
POWER SUPPLY						
Power Supply Current ($I_{OD} = 0\text{ }\mu\text{A}$, $I_{BS} = -300\text{ }\mu\text{A}$) ($L1 = V_{OHD}$, $L2 = V_{OLD}$, $L3 = V_{OHD}$, $L4 = V_{OLD}$) ($L1 = V_{OHD}$, $L2 = V_{OLD}$, $L3 = \text{Hi Z}$, $L4 = \text{Hi Z}$) ($L1 = V_{OHD}$, $L2 = V_{OLD}$, $L3 = V_{OHD}$, $L4 = V_{OHD}$)	16					mA
		I_{MW}	—	—	70	
		I_{MZ}	—	—	40	
		I_{MN}	—	—	75	
BIAS/SET CURRENT						
To Set Phase A	6	I_{BS}	-5.0	—	—	μA

PACKAGE THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heatsink)	$R_{\theta JA}$	—	45	—	$^{\circ}\text{C/W}$

AC SWITCHING CHARACTERISTICS ($T_A = +25^{\circ}\text{C}$, $V_M = 12\text{ V}$) (See Figures 2, 3, 4)

Characteristic	Pins	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Clock Frequency	7	f_{CK}	0	—	50	kHz
Clock Pulse Width (High)	7	PW_{CKH}	10	—	—	μs
Clock Pulse Width (Low)	7	PW_{CKL}	10	—	—	μs
Bias/Set Pulse Width	6	PW_{BS}	10	—	—	μs
Setup Time (CW/CCW and F/HS)	10-7 9-7	t_{su}	5.0	—	—	μs
Hold Time (CW/CCW and F/HS)	10-7 9-7	t_h	10	—	—	μs
Propagation Delay (Clk-to-Driver Output)		t_{PCD}	—	8.0	—	μs
Propagation Delay (Bias/Set-to-Driver Output)		t_{PBSD}	—	1.0	—	μs
Propagation Delay (Clk-to-Phase A Low)	7-11	t_{PHLA}	—	12	—	μs
Propagation Delay (Clk-to-Phase A High)	7-11	t_{PLHA}	—	5.0	—	μs

NOTES: 2. Algebraic convention rather than absolute values is used to designate limit values.
3. Current into a pin is designated as positive. Current out of a pin is designated as negative.

DATA SHEET BPW34

**BPW34**

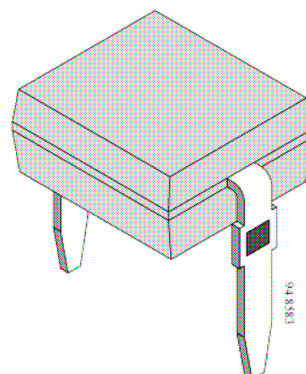
Vishay Semiconductor

Silicon PIN Photodiode

Description

The BPW34 is a high speed and high sensitive PIN photodiode in a miniature flat plastic package. Its top view construction makes it ideal as a low cost replacement of TO-5 devices in many applications.

Due to its waterclear epoxy the device is sensitive to visible and infrared radiation. The large active area combined with a flat case gives a high sensitivity at a wide viewing angle.



Features

- Large radiant sensitive area ($A=7.5 \text{ mm}^2$)
- Wide angle of half sensitivity $\phi = \pm 65^\circ$
- High photo sensitivity
- Fast response times
- Small junction capacitance
- Suitable for visible and near infrared radiation

Applications

High speed photo detector

Absolute Maximum Ratings

$T_{\text{amb}} = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Test Conditions	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage		V_R	60	V
Power Dissipation	$T_{\text{amb}} \leq 25^\circ\text{C}$	P_V	215	mW
Junction Temperature		T_j	100	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range		T_{stg}	$-55 \dots +100$	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature	$t \leq 3 \text{ s}$	T_{sd}	260	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance Junction/Ambient		R_{thJA}	350	K/W

BPW34

Vishay Semiconductors



Basic Characteristics

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$

Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Breakdown Voltage	$I_R = 100\ \mu\text{A}$, $E = 0$	$V_{(BR)}$	60			V
Reverse Dark Current	$V_R = 10\ \text{V}$, $E = 0$	I_{ro}		2	30	nA
Diode Capacitance	$V_R = 0\ \text{V}$, $f = 1\ \text{MHz}$, $E = 0$	C_D		70		pF
	$V_R = 3\ \text{V}$, $f = 1\ \text{MHz}$, $E = 0$	C_D		25	40	pF
Open Circuit Voltage	$E_e = 1\ \text{mW}/\text{cm}^2$, $\lambda = 950\ \text{nm}$	V_o		350		mV
Temp. Coefficient of V_o	$E_e = 1\ \text{mW}/\text{cm}^2$, $\lambda = 950\ \text{nm}$	TK_{V_o}		-2.6		mV/K
Short Circuit Current	$E_A = 1\ \text{klx}$	I_k		70		μA
	$E_e = 1\ \text{mW}/\text{cm}^2$, $\lambda = 950\ \text{nm}$	I_k		47		μA
Temp. Coefficient of I_k	$E_e = 1\ \text{mW}/\text{cm}^2$, $\lambda = 950\ \text{nm}$	TK_{I_k}		0.1		%/K
Reverse Light Current	$E_A = 1\ \text{klx}$, $V_R = 5\ \text{V}$	I_{ra}		75		μA
	$E_e = 1\ \text{mW}/\text{cm}^2$, $\lambda = 950\ \text{nm}$, $V_R = 5\ \text{V}$	I_{ra}	40	50		μA
Angle of Half Sensitivity		ϕ		± 65		deg
Wavelength of Peak Sensitivity		λ_p		900		nm
Range of Spectral Bandwidth		$\lambda_{0.5}$		600...1050		nm
Noise Equivalent Power	$V_R = 10\ \text{V}$, $\lambda = 950\ \text{nm}$	NEP		4×10^{-14}		$\text{W}/\sqrt{\text{Hz}}$
Rise Time	$V_R = 10\ \text{V}$, $R_L = 1\ \text{k}\Omega$, $\lambda = 820\ \text{nm}$	t_r		100		ns
Fall Time	$V_R = 10\ \text{V}$, $R_L = 1\ \text{k}\Omega$, $\lambda = 820\ \text{nm}$	t_f		100		ns

Typical Characteristics ($T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

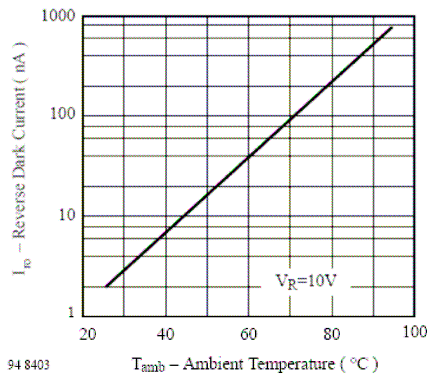


Figure 1. Reverse Dark Current vs. Ambient Temperature

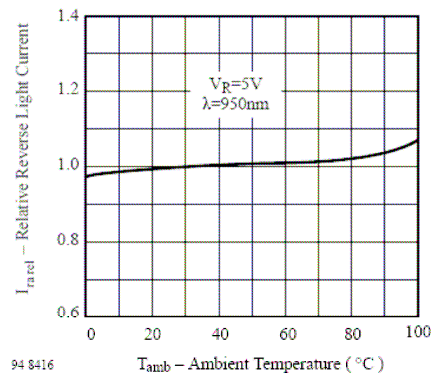


Figure 2. Relative Reverse Light Current vs. Ambient Temperature

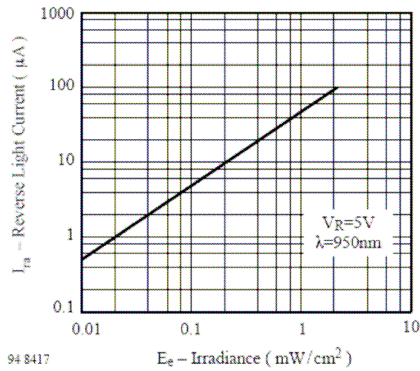


Figure 3. Reverse Light Current vs. Irradiance

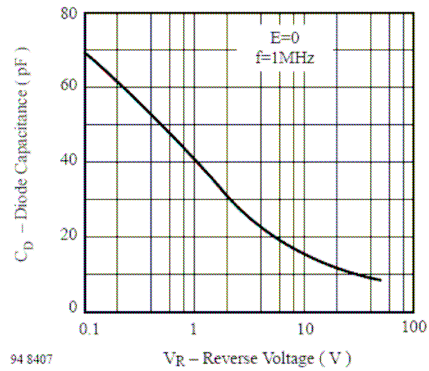


Figure 6. Diode Capacitance vs. Reverse Voltage

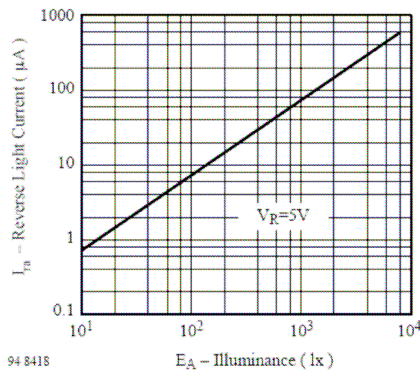


Figure 4. Reverse Light Current vs. Illuminance

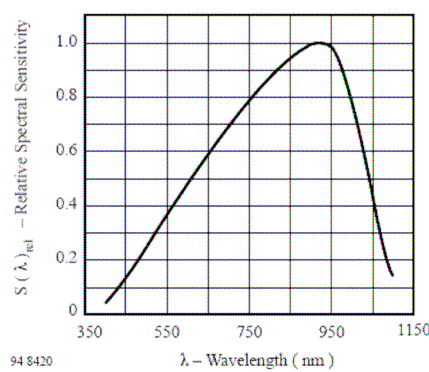


Figure 7. Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength

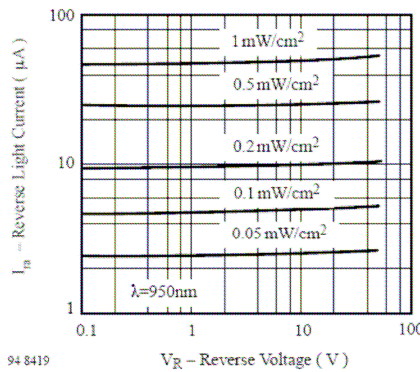


Figure 5. Reverse Light Current vs. Reverse Voltage

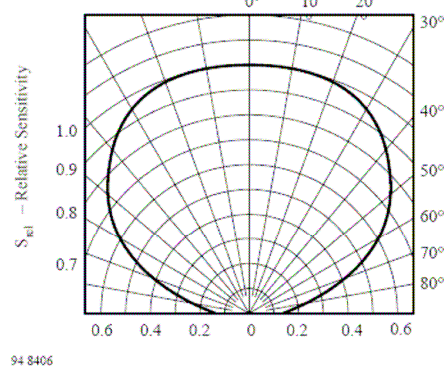


Figure 8. Relative Radiant Sensitivity vs. Angular Displacement

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Πρόγραμμα μικροελεκτή AVR MEGA 8535

;ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣΗ ΣΥΜΒΟΛΙΚΩΝ ΟΝΟΜΑΤΩΝ ΣΤΟΥΣ I/O REGISTERS

```
.set adccsr      = $06
.set adcmuxsel   = $07
.set uartbrr     = $09
.set uarter      = $0a
.set portdir     = $10
.set portddr     = $11
.set portddatar  = $12
.set portcirq    = $13
.set portcddr    = $14
.set portcdatar  = $15
.set portbirq    = $16
.set portbddr    = $17
.set portbdatar  = $18
.set portair     = $19
.set portaddr    = $1a
.set portadatar  = $1b
.set timer1bcr   = $2e
.set timer1acr   = $2f
.set timermr     = $39
.set spl         = $3d
.set sph         = $3e
.set statusr     = $3f
```

; ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣΗ ΣΥΜΒΟΛΙΚΩΝ ΟΝΟΜΑΤΩΝ ΣΤΟΥΣ ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΕΣ

```
.def redatatemp  = r0
.def xlowtemp    = r1
.def xhightemp   = r2
```

**;ΔΥΟ ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΕΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΤΑ 8 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΑ ΚΑΙ ΤΑ
;ΛΙΓΟΤΕΡΟ 8 ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ BIT ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΜΕΣΑ ΣΤΗ
;ΜΝΗΜΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ Η ΕΝΤΟΛΗ ΠΟΥ ΠΡΟΚΕΙΤΑΙ ΝΑ ΕΚΤΕΛΕΣΤΕΙ**

```
.def commandhi   = r3
.def commandlo   = r4
```

**;3 ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΕΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΤΗΣ ΕΝΤΟΛΗΣ
;ΠΟΥ ΠΡΟΚΕΙΤΑΙ ΝΑ ΕΚΤΕΛΕΣΤΕΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΝΤΟΛΗ ΤΟΥ**

;ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

```
.def uartdata1    = r5
.def uartdata2    = r6
.def uartdata3    = r7
```

**; ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΗΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΕΙ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ
;ΚΙΝΗΤΗΡΑ**

```
.def speed        = r8
.def gain          = r9
```

```

;ΔΥΟ ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΕΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΤΑ 8 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΑ ΚΑΙ ΤΑ
;ΛΙΓΟΤΕΡΟ 8 ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΒΙΤ ΤΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ
;ΑΠΟΣΤΕΛΛΟΝΤΑΙ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ
.def packsizehi    =r10
.def packsizeho    =r11
; ΔΥΟ ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΕΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΤΑ 8 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΑ ΚΑΙ ΤΑ
;ΛΙΓΟΤΕΡΟ 8 ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΒΙΤ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΟΠΟΙΟΥ
;ΕΠΙΘΥΜΟΥΜΕ ΝΑ ΓΙΝΕΙ Η ΜΕΤΡΗΣΗ
.def wavelenhi     =r12
.def wavelenlo     =r13
; ΔΥΟ ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΕΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΤΑ 8 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΑ ΚΑΙ ΤΑ
;ΛΙΓΟΤΕΡΟ 8 ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΒΙΤ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΠΟΥ
;ΠΑΡΑΤΗΡΗΘΗΚΕ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ
.def maxhi         =r14
.def maxlo         =r15
.def extradata     =r16
; ΔΥΟ ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΕΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΤΑ 8 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΑ ΚΑΙ ΤΑ
;ΛΙΓΟΤΕΡΟ 8 ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΒΙΤ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΟΠΟΙΟ
;ΒΡΙΣΚΟΜΑΣΤΕ ΤΩΡΑ
.def curwavelenhi  =r17
.def curwavelenlo  =r18
.def volthi        =r19
.def counter1      =r20
.def myflags       =r21
;ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΗΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΕΙ ΤΗΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ ΑΝ ΤΟ GAIN ΘΑ
;ΚΑΘΟΡΙΖΕΤΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΑ
.def notauto       =r22
.def arithmossiras =r23
.def temp          =r24
.def temp2         =r25
.def xlow          =r26
.def xhigh         =r27
.def ylow          =r28
.def yhigh         =r29
.def zlow          =r30
.def zhigh         =r31
.INCLUDE "C:\ATMELPROGRAMER\MACROS\macros.mac"
.INCLUDE "C:\ATMELPROGRAMER\MACROS\movmacros.mac"
.INCLUDE "C:\ATMELPROGRAMER\MACROS\logicmacros.mac"
.device at90s8535
;3,6864 Mhz

rjmp main
.org $0008
rjmp timer
.org $000b
rjmp datareceive
.org $000e
rjmp interapadc

```

```

main:
; ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟΙΒΑΣ
outiw sph,spl,$25f
; ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΙΚΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ
; ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΕΡΧΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΡΙΑΚΗ
bldi xlowtemp, $03
bldi xhightemp, $00
; ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ UARD
;ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ UARD BAUD RATE REGISTER
outi uartbrr,5
; ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ UARD CONTROL REGISTER
outi uarter, $98
; ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ INTERRUPT
sei
; ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ flags
ldi myflags,0
;ΥΠΟΜΟΝΗ ΜΕΧΡΙ ΝΑ ΚΑΛΕΣΕΙ ΤΟ PC
tst myflags
breq pc-1
ldi myflags,0
ldi arithmossiras,2
bldi speed,30
mov counter1,speed
bldi gain,0
ldi extradata,1+150
ldiw xhigh,xlow,$60
ldiw yhigh,ylow,$60

;ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΗ ΤΡΕΧΟΝΤΟΣ & ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΥ
ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ
outiw $1f,$1e,$0
outi $1c,$01
in curwavelenhi,$1d
mov wavelenhi,curwavelenhi
outiw $1f,$1e,$1
outi $1c,$01
in curwavelenlo,$1d
mov wavelenlo,curwavelenlo
;ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ PORTS
outi portdddr,$fc
outi portddatar,$bc
outi portbddr,$ff
outi portbdatar,$0f
outi portcddr,$ff
outi portcdatar,$44
clr notauto

; ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ TIMER
; ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ PWM
outi timer1acr,$a3

```

```
; ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ TIMER ΜΕ ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΤΟΥ ΡΟΛΟΓΙΟΥ ΜΕ ΤΟ 1
outi timerlbc,$01
; ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ OVERFLOW INTERRUPT ΤΟΥ TIMER1
outi timermr,$04
```

```
; ΤΟ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΤΜΗΜΑ ΚΩΔΙΚΑ ΑΝΑΛΑΜΒΑΝΕΙ ΝΑ ΑΠΟΣΤΕΙΛΕΙ ΣΤΟΝ
;ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΕΙ ΣΤΗ ΜΝΗΜΗ
;ΓΙΑ ΤΟ ΣΚΟΠΟ ΑΥΤΟ
```

```
packsender:
tst myflags
breq packsenter
packconsend:
ld temp,y+
rcall senduart
cp2 yhigh,ylow,packsizehi,packsizelo
brne packconsend
mov temp,extradata
rcall senduart
mov temp,curwavelenhi
rcall senduart
mov temp,curwavelenlo
rcall senduart
ldi temp,13
rcall senduart
ldiw yhigh,ylow,$60
ldi myflags,0
rjmp packsenter
```

```
;ΠΕΡΙΟΧΗ INTERRUPT
```

```
; ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΤΟ INTERRUPT ΤΟΥ TIMER ΤΟ ΟΠΟΙΟ
;ΑΝΑΛΑΜΒΑΝΕΙ ΤΟΝ ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟ ΤΩΝ ΠΑΛΜΩΝ ΠΟΥ
;ΑΠΟΣΤΕΛΛΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΟ ΒΗΜΑΤΙΚΟ ΚΙΝΗΤΗΡΑ
```

```
timer:
push temp
pushio statusr
sbi portbdatar,3
djnz counter1,exitftimer
mov counter1,speed
cp2 curwavelenhi,curwavelenlo,wavelenhi,wavelenlo
breq dwok
wdr
ldi extradata,0+150
cbi portbdatar,3
brlo mikrotero
cbi portbdatar,1
addiw curwavelenhi,curwavelenlo,-1
```

```

rjmp exitftimer
mikrotero:
sbi portbdatar,1
addiw curwavelenhi,curwavelenlo,1
rjmp exitftimer
dwok:
ldi extradata,1+150
add extradata,gain
exitftimer:
popio statusr
pop temp
reti
; TO ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΤΜΗΜΑ ΚΩΔΙΚΑ ΑΝΑΛΑΜΒΑΝΕΙ ΝΑ ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΤΙΣ
;ΕΝΤΟΛΕΣ ΠΟΥ ΣΤΕΛΝΕΙ Ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΣ ΜΑΖΙ ΜΕ ΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ
;ΤΟΥΣ ΚΑΙ ΝΑ ΤΙΣ ΠΡΩΩΘΕΙ
datareceive:
push temp
pushio statusr
xchw xhigh,xlow,xhightemp,xlowtemp
cpiw xhigh,xlow,$03+5
brne onemoredata
in temp,$0c
cpi temp,13
brne oops
ldiw xhigh,xlow,$03
mov zhigh,commandhi
mov zlow,commandlo
xchw xhigh,xlow,xhightemp,xlowtemp
icall
xchw xhigh,xlow,xhightemp,xlowtemp
rjmp comandok
oops:
sbiw xlow,1
onemoredata:
stio x+,$0c
comandok:
xchw xhigh,xlow,xhightemp,xlowtemp
popio statusr
pop temp
reti

; TO ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΤΜΗΜΑ ΚΩΔΙΚΑ ΑΝΑΛΑΜΒΑΝΕΙ ΝΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΖΕΤΑΙ ΤΟ
;ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ, ΝΑ ΤΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΖΕΤΑΙ ΚΑΙ ΝΑ
;ΡΥΘΜΙΖΕΙ ΑΥΤΟΜΑΤΑ ΤΟ GAIN
interapadc:
push temp
pushio statusr
in temp2,$04
in volthi,$05
tst notauto

```

```

brne nosatur
cp2  volthi,temp2,maxhi,maxlo
brlo notmax
mov  maxhi,volthi
mov  maxlo,temp2
notmax:
cpiw volthi,temp2,1023
brne nosatur
bcpi gain,19
brsh nosatur
inc  gain
restartsmp:
ldi  arithmossiras,2
ldiw xhigh,xlow,$60
ldiw zhigh,zlow,2*gaintable
add  zlow,gain
lpm
out  portcdatar,reddatatemp
rjmp exit
nosatur:
ldi  temp,3
loop:
lsl  temp2
rol  volthi
djnz temp,loop
ldi  temp,3
loopas:
lsl  volthi
djnz temp,loopas
or   temp2,arithmossiras
inc  arithmossiras
or   volthi,arithmossiras
inc  arithmossiras
cpi  arithmossiras,8
brne nretc
ldi  arithmossiras,2
nretc:
st   x+,volthi
st   x+,temp2
cp2  xhigh,xlow,packsizehi,packsizelo
brne exit
tst  notauto
brne l1
tst  gain
breq l1
bcpiw maxhi,maxlo,100
brsh l1
bldiw maxhi,maxlo,$00
dec  gain
rjmp restartsmp

```

```

l1:
outi adccsr,$00
ldi myflags,$ff
exit:
popio statusr
pop temp
reti

```

```

; ΠΙΝΑΚΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
;Ο ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΕΧΕΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ
;ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΧΟΥΝ ΟΙ ΑΚΡΟΔΕΚΤΕΣ
;ΩΣΤΕ ΝΑ ΕΠΙΤΕΥΧΘΕΙ ΤΟ ΚΑΘΕ GAIN

```

```

gaintable:
.db $44,$41 ;24Ω
.db $42,$40
.db $14,$11 ;300Ω
.db $12,$10
.db $0c,$09 ;4300Ω
.db $0a,$08
.db $04,$01 ;q
.db $02,$00
.db $24,$21 ;REL
.db $22,$20
.db $20,$20

```

```

;ΠΕΡΙΟΧΗ ΡΟΥΤΙΝΩΝ
;Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΡΟΥΤΙΝΑ ΑΝΑΛΑΜΒΑΝΕΙ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΕΝΟΣ BYTE
;ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

```

```

senduart:
sbis $0b,5
rjmp pc-1
out $0c,temp
ret

```

```

; ΠΕΡΙΟΧΗ SOFTWARE INTERRUPTS

```

```

setcurent:
ret
;ΤΟ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΤΜΗΜΑ ΚΩΔΙΚΑ ΘΕΤΕΙ ΕΝΑ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ GAIN
setgain:
ldiw zhigh,zlow,2*gaintable
add zlow,uartdata1
lpm
out portcdatar,reddatatemp

```

```

ret
; ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΟΠΟΙΟ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ
;ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ Ο ΜΟΝΟΧΡΩΜΑΤΟΡΑΣ
setwavenlen:
mov wavelenhi,uartdata2
mov wavenlenlo,uartdata3
ret
;ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
startsampl:
ldiw xhigh,xlow,$60
bldiw maxhi,maxlo,$00
outi adcmuxsel,$00
mov wavelenhi,uartdata2
mov wavenlenlo,uartdata3
out adccsr,uartdata1
ret
; ΚΛΕΙΣΙΜΟ ΤΟΥ ΜΟΝΟΧΡΩΜΑΤΟΡΑ
softreset:
mov wavelenhi,curwavenlenhi
mov wavenlenlo,curwavenlenlo
outiw $1f,$1e,$0
out $1d,curwavenlenhi
sbi $1c,2
sbi $1c,1
sbic $1c,1
rjmp pc-1
outiw $1f,$1e,$1
out $1d,curwavenlenlo
sbi $1c,2
sbi $1c,1
sbic $1c,1
rjmp pc-1
wdr
outi $21,$19
ret
; ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΟΧΡΩΜΑΤΟΡΑ ΚΑΙ ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ
apokrisi:
tst uartdata1
brne sfalmaapokrisi
tst uartdata2
brne sfalmaapokrisi
ldi temp,0
rcall senduart
ldi temp,255
rcall senduart
ldi temp,13
rcall senduart
ldi myflags,$ff
sfalmaapokrisi:
ret

```

```
; ΕΓΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΚΑΠΟΙΩΝ ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΗ ΣΤΗ ΜΝΗΜΗ ΤΟΥ  
;ΜΙΚΡΟΕΛΕΚΤΗ
```

```
writedata:
```

```
mov  zhigh,uartdata1
```

```
mov  zlow,uartdata2
```

```
st   z,uartdata3
```

```
ret
```

```
;ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΕΝΑ ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΗ ΑΠΟ ΤΗ  
;ΜΝΗΜΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΕΛΕΚΤΗ
```

```
readdata:
```

```
mov  zhigh,uartdata1
```

```
mov  zlow,uartdata2
```

```
ld   temp,z+
```

```
rcall senduart
```

```
ld   temp,z+
```

```
rcall senduart
```

```
ldi  temp,13
```

```
rcall senduart
```

```
ret
```

```
.org $0fef
```

```
rjmp readdata
```

```
rjmp writedata
```

```
rjmp apokrisi
```

```
rjmp softreset
```

```
rjmp startsampl
```

```
rjmp setwavelen
```

```
rjmp setgain
```

```
rjmp setcurent
```

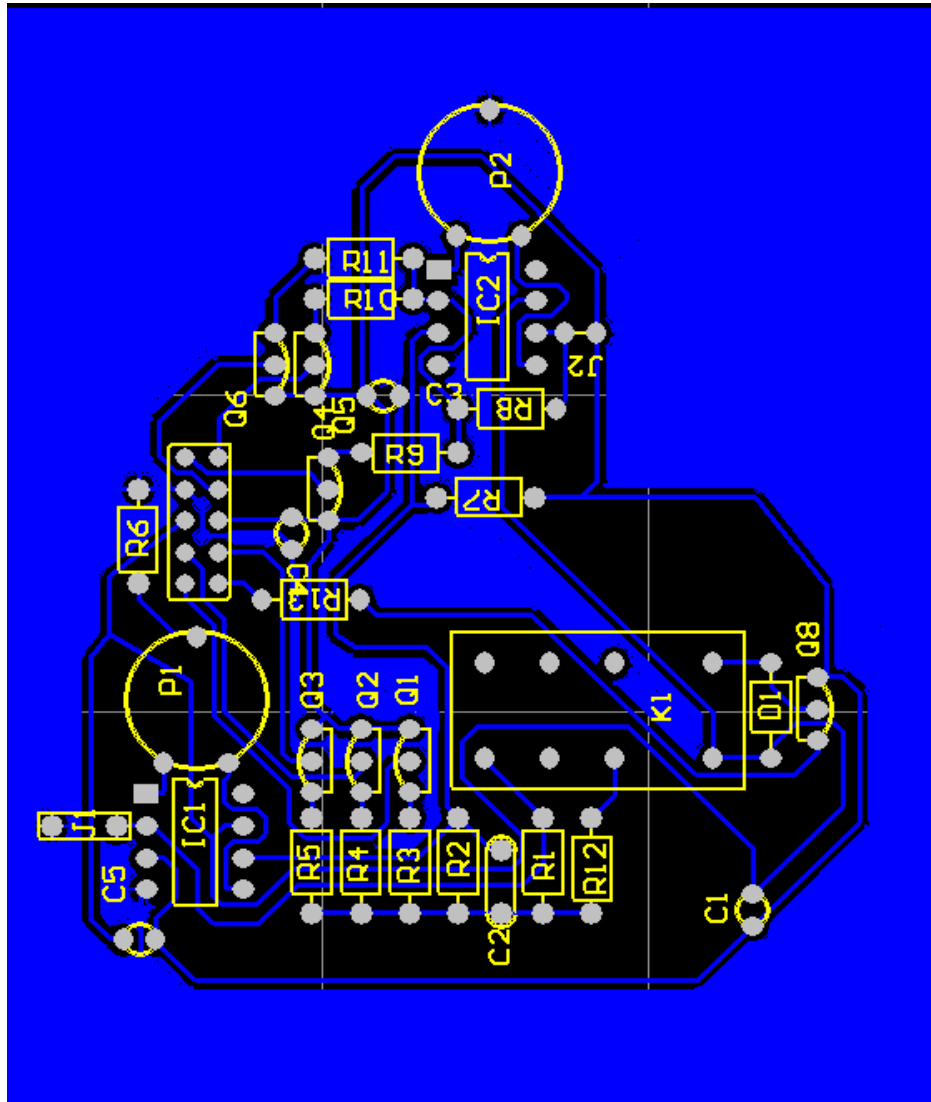
FORMAT ΤΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΑΠΟΣΤΕΛΛΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ ΣΤΟΝ ΜΟΝΟΧΡΩΜΑΤΟΡΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΑ.

Πακέτα από τον υπολογιστή:

Εντολή	Πρώτα 2 byte	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6
Ανάγνωση από τη μνήμη του μικροελεγκτή	FEF HEX	HI byte της θέσης μνήμης	LO byte της θέσης μνήμης	0	C HEX
Εγγραφή στην μνήμη του μικροελεγκτή	FF0 HEX	HI byte της θέσης μνήμης	LO byte της θέσης μνήμης	Νέα τιμή της θέσης μνήμης	C HEX
Αίτηση για εκκίνηση μονοχρωματορα	FF1 HEX	0	0	0	C HEX
Κλείσιμο μονοχρωματορα	FF2 HEX	0	0	0	C HEX
Αίτηση για δειγματοληψία	FF3 HEX	Ταχύτητα δειγματοληψίας	HI byte του μήκους κύματος	LO byte του μήκους κύματος	C HEX
Καθορισμός μήκους κύματος	FF4 HEX	0	HI byte του μήκους κύματος	LO byte του μήκους κύματος	C HEX
Καθορισμός του gain	FF5 HEX	GAIN	0	0	C HEX

8. Παράρτημα C: PCB Αναλογικού και Ψηφιακού τμήματος

Αναλογικό κύκλωμα



Ψηφιακό κύκλωμα

