

## «ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΛΑΜΠΗΤΡΩΝ ΦΩΤΙΣΜΟΥ-ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ & ΡΥΘΜΙΣΗ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΡΟΗΣ»



**Επιβλέπων Καθηγητής:**

**Ιωαννίδης Γεώργιος**

**Σπουδαστής:**

**Στεφόπουλος Στέφανος  
Κοντός Νικόλαος**

**ΑΜ: 38613  
37987**

**Αθήνα**

**Ιούλιος-2016**

Copyright © Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή της για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Ανώτατου Εκπαιδευτικού Ίδρυματος Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τους γονείς μας, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μας με διάφορους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωση μας αλλά και που συνεχίζουν να στέκονται αρωγοί σε κάθε μας προσπάθεια.

Θα θέλαμε επίσης να απευθύνουμε τις ευχαριστίες μας στον επιβλέπων καθηγητή μας κ. Ιωαννίδη Γεώργιο για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε, και την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας.

Τέλος ευχαριστούμε πολύ όλους τους καθηγητές του ιδρύματος για την μόρφωση και τα εφόδια που μας προσέφεραν ώστε να είμαστε πλέον έτοιμοι να βγούμε στην αγορά εργασίας.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Εισαγωγή</b> .....	<b>7</b>
<b>Κεφάλαιο 1 – Βασικές έννοιες φωτισμού και τεχνολογίας φωτισμού</b> .....	<b>8</b>
1.1 Γενικά.....	8
1.2 Βασικές έννοιες φωτισμού.....	8
1.3 Βασικές έννοιες τεχνολογίας φωτισμού .....	15
1.4 Συντελεστής S / P .....	18
<b>Κεφάλαιο 2 – Βασικοί τύποι λαμπτήρων – Χαρακτηριστικά και λειτουργία αυτών</b> .....	<b>22</b>
2.1 Γενικά.....	22
2.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη λαμπτήρων .....	22
2.3 Λαμπτήρες φθορισμού.....	23
2.4 Λαμπτήρες LED.....	29
2.5 Λαμπτήρες πυρακτώσεως.....	33
2.6 Λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης.....	38
2.7 Λαμπτήρες νατρίου υψηλής και χαμηλής πίεσης .....	41
2.8 Λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων .....	46
<b>Κεφάλαιο 3 – Το ballast ως στοιχείο της λειτουργίας του dimming</b> .....	<b>49</b>
3.1 Γενικά.....	49
3.2 Βασικές λειτουργίες ballast .....	49
3.3 Τύποι ballast.....	49
3.4 Μέθοδοι έναυσης λαμπτήρα - ballast .....	53
3.5 Ballast ρυθμιζόμενης τάσης φωτισμού (Dimming ballast) .....	54
<b>Κεφάλαιο 4 – Μέθοδοι Ρύθμισης φωτεινής ροής- Dimming</b> .....	<b>56</b>
4.1 Γενικά.....	56
4.2 Γενικά περί dimming .....	56
4.3 Αναλογική μέθοδος dimming .....	57
4.4 Ψηφιακή μέθοδος dimming .....	59
4.5 Γενικές παράμετροι dimming .....	65
<b>Κεφάλαιο 5 – Ρύθμιση φωτεινής ροής λαμπτήρων</b> .....	<b>67</b>
5.1 Γενικά.....	67

5.2 Γενικές παρατηρήσεις.....	67
5.3 Καμπύλη φωτεινής ροής και κύκλωμα dimming λαμπτήρων φθορισμού.....	67
5.4 Καμπύλη φωτεινής ροής και κύκλωμα dimming λαμπτήρων LED .....	69
5.5 Καμπύλη φωτεινής ροής και κύκλωμα dimming λαμπτήρων πυρακτώσεως.....	70
5.6 Καμπύλη φωτεινής ροής και κύκλωμα dimming λαμπτήρων υδραργύρου .....	72
5.7 Καμπύλη φωτεινής ροής και κύκλωμα dimming λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων .....	73
5.8 Καμπύλη φωτεινής ροής και κύκλωμα dimming λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης.....	74
<b>Συμπεράσματα.....</b>	<b>76</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>77</b>

# SUMMARY

Lighting is a basic part of the infrastructure of any modern construction. In our days, it is no coincidence that the energy consumed for lighting is a very significant proportion of the total energy consumed.

In today's reality, it is evident the growing need of modern man to improve his standard of living, which implies greater expenditure of energy and money. Reducing these costs or alternatively a more efficient use of lighting is a major challenge for manufacturers and engineers.

The purpose of this dissertation project is the systematic presentation of current technologies and types of lamps, the description of the operating principles and dimming techniques.

This project consists of five main chapters. The first chapter is an overview of the basic concepts of light and lighting technology. In the second chapter, a description of the characteristics and function of the most widely used types of light bulbs existing on the market, are presented. More specifically, fluorescent, LEDs, incandescent, mercury, metal halide and sodium lamps are described. In the third chapter, the ballast, as part of the operation of the lamp, is presented, while the fourth chapter is dedicated to the concept of regulation of luminous flux (dimming). Finally, the fifth chapter lists the standard calibration curve of the luminous flux versus input power for the lamps presented in the second chapter, and the most suitable dimming circuits for them.

**Keywords:** lamp, luminous flux, illumination, luminous flux regulation.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο φωτισμός αποτελεί στοιχειώδες κομμάτι της υποδομής κάθε σύγχρονης κατασκευής. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε το γεγονός ότι η καταναλισκόμενη ενέργεια για το φωτισμό σήμερα αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό ποσοστό της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται.

Στη σημερινή πραγματικότητα, είναι προφανής η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη του σύγχρονου ανθρώπου για βελτίωση του βιοτικού του επιπέδου, κάτι που συνεπάγεται μεγαλύτερες δαπάνες σε ενέργεια και χρήμα. Ο περιορισμός των ανωτέρω δαπανών ή εναλλακτικά η αποδοτικότερη χρήση των διατάξεων φωτισμού, αποτελεί μια σημαντική πρόκληση για τους κατασκευαστές και τους μηχανικούς. Οι λαμπτήρες, ως η κατεξοχήν διάταξη παροχής φωτισμού, δε θα μπορούσε να ξεφύγει από αυτό τον κανόνα.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η συστηματική παρουσίαση των σημερινών τεχνολογιών και τύπων λαμπτήρων, η περιγραφή των αρχών λειτουργίας τους καθώς και αναφορά στην έννοια της ρύθμισης της φωτεινής ροής ως ένα μέσο εξοικονόμησης ενέργειας.

Για την επίτευξη αυτού του σκοπού, η παρούσα εργασία απαρτίζεται από πέντε κύρια κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί μια επισκόπηση των βασικών εννοιών φωτισμού και τεχνολογίας φωτισμού σήμερα. Στο δεύτερο κεφάλαιο λαμβάνει χώρα μια περιγραφή των χαρακτηριστικών και της λειτουργίας των πιο διαδεδομένων τύπων λαμπτήρων που απαντώνται στην αγορά σήμερα. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφονται οι κατηγορίες λαμπτήρων φθορισμού, LED, πυρακτώσεως, υδαργύρου, μεταλλικών αλογονιδίων και νατρίου. Το τρίτο κεφάλαιο αποτελεί μια αναφορά στο ballast ως στοιχείο της λειτουργίας του λαμπτήρα, ενώ το τέταρτο κεφάλαιο αποτελεί εξειδικευμένη αναφορά στην έννοια της ρύθμισης της φωτεινής ροής. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται οι τυπικές καμπύλες ρύθμισης της φωτεινής ροής των τύπων λαμπτήρων που αναπτύχθηκαν στο 2ο κεφάλαιο, καθώς και τα καταλληλότερα για αυτούς κυκλώματα dimming.

Λέξεις κλειδιά: Λαμπτήρας, φωτεινή ροή, φωτισμός, ρύθμιση φωτεινής ροής.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

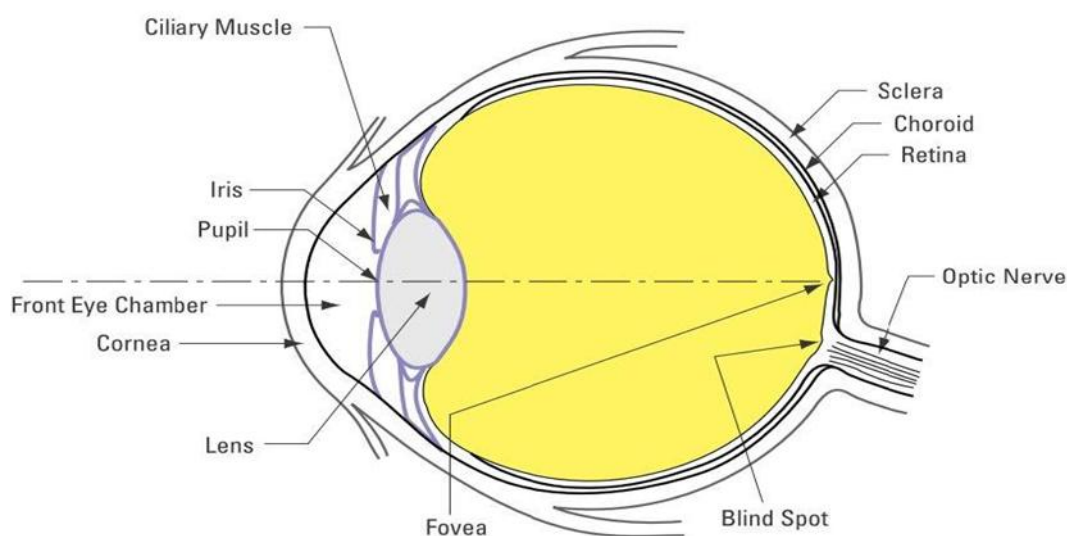
### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το πρώτο κεφάλαιο της εργασίας, αποτελεί μια επισκόπηση των βασικών εννοιών φωτισμού και τεχνολογίας φωτισμού σήμερα.

### 1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

#### 1.2.1 Φωτισμός και όραση

Η όραση είναι μια διαδικασία η οποία αφορά στην ακαριαία επικοινωνία του οφθαλμού και του εγκεφάλου μέσω ενός μεγάλου δικτύου νευρώνων και άλλων κυττάρων. Η όραση αποτελεί μια εξαιρετικά πολύπλοκη διαδικασία, η ακριβής λειτουργία της οποίας δεν έχει γνωστοποιηθεί ακόμα και σήμερα. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, δηλαδή το φως το οποίο προσπίπτει πάνω στον ανθρώπινο οφθαλμό, διέρχεται από μια σειρά οργάνων και φίλτρων πριν την κατάληξή του στον αμφιβληστροειδή [6].



Σχήμα 1.1. Το ανθρώπινο μάτι [6].



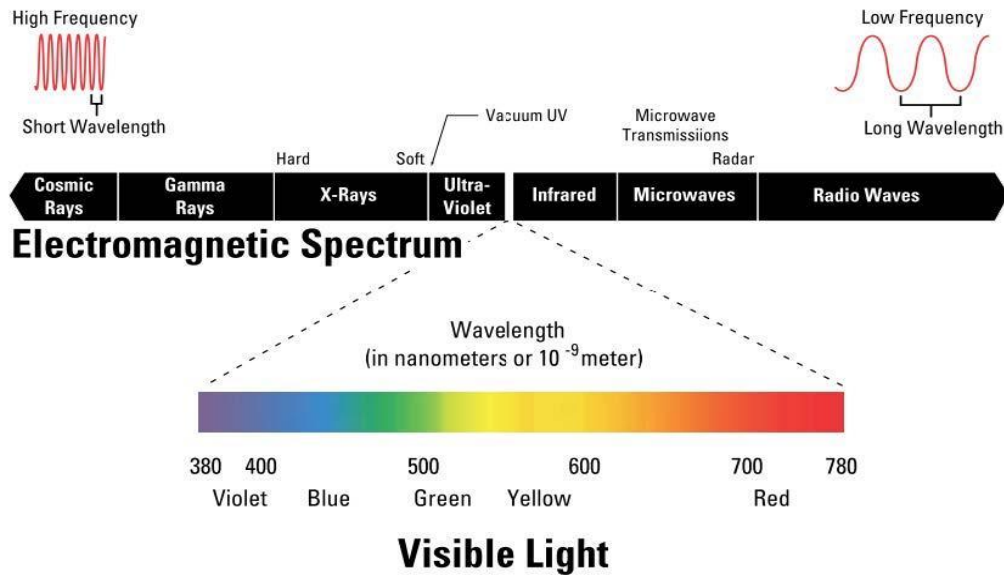
Στον αμφιβληστροειδή υπάρχουν δυο είδη φωτοευαίσθητων κυττάρων, τα κωνία και τα ραβδία, τα οποία, αν και έχουν παρόμοια δομή, ενεργοποιούνται σε διαφορετικές εντάσεις φωτισμού.

Τα κωνία ευθύνονται για την λειτουργία της κεντρικής όρασης με τον αριθμό τους να υπολογίζεται σε 70 εκατομμύρια. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν τρία διαφορετικά είδη κωνίων, με το εκάστοτε είδος να είναι εξειδικευμένο στην αντίχρωση αποκλειστικά του μπλε, του κόκκινου και του πράσινου χρώματος αντίστοιχα.

Οι χαμηλές εντάσεις φωτισμού ενεργοποιούν τα ραβδία, τα οποία δεν διαθέτουν τη δυνατότητα αναγνώρισης χρωμάτων, ευθύνονται για την λειτουργία της περιφερειακής όρασης και ο αριθμός τους ανέρχεται σε 120 εκατομμύρια.

Στον αμφιβληστροειδή πραγματοποιείται η προσαρμογή του οφθαλμού στην κατάσταση φωτισμού. Κατά τη διαδικασία αυτή, ο οφθαλμός ρυθμίζεται με βάση την μεταβαλλόμενη φωτεινότητα του περιβάλλοντος η οποία είναι δυνατόν να προκαλείται από εξωτερικούς παράγοντες, όπως ένα σύστημα φωτισμού. Οι τύποι όρασης μπορούν να διαχωριστούν ως εξής [4]:

- Φωτοπική: Ο τύπος αυτός όρασης αφορά στην όραση κατά την οποία είναι ενεργοποιημένα τα κωνία και έχουμε πλήρη ικανότητα των χρωμάτων. Σύμφωνα με την CIE, ο τύπος όρασης αυτός εμφανίζεται για λαμπρότητες μεγαλύτερες των  $5 \text{ cd/m}^2$ .
- Μεσοπική. Ο τύπος όρασης αυτός αφορά την όραση κατά την οποία έχουμε ταυτόχρονη λειτουργία των κωνίων και των ραβδίων. Σύμφωνα με την CIE, ο τύπος όρασης αυτός εμφανίζεται για λαμπρότητες  $0,001 \text{ cd/m}^2 < L < 5 \text{ cd/m}^2$
- Σκοτοπική. Ο τύπος όρασης αυτός αφορά την όραση κατά την οποία έχουμε λειτουργία μόνο των ραβδίων και δεν έχουμε δυνατότητα αναγνώρισης χρωμάτων. Σύμφωνα με την CIE, ο τύπος όρασης αυτός εμφανίζεται για λαμπρότητες  $L < 0.001 \text{ cd/m}^2$ .



**Σχήμα 1.2.** Περιοχή ορατής ακτινοβολίας με βάση το ανθρώπινο μάτι [4].

### 1.2.2 Θερμοκρασία – ποιότητα χρώματος φωτεινής πηγής

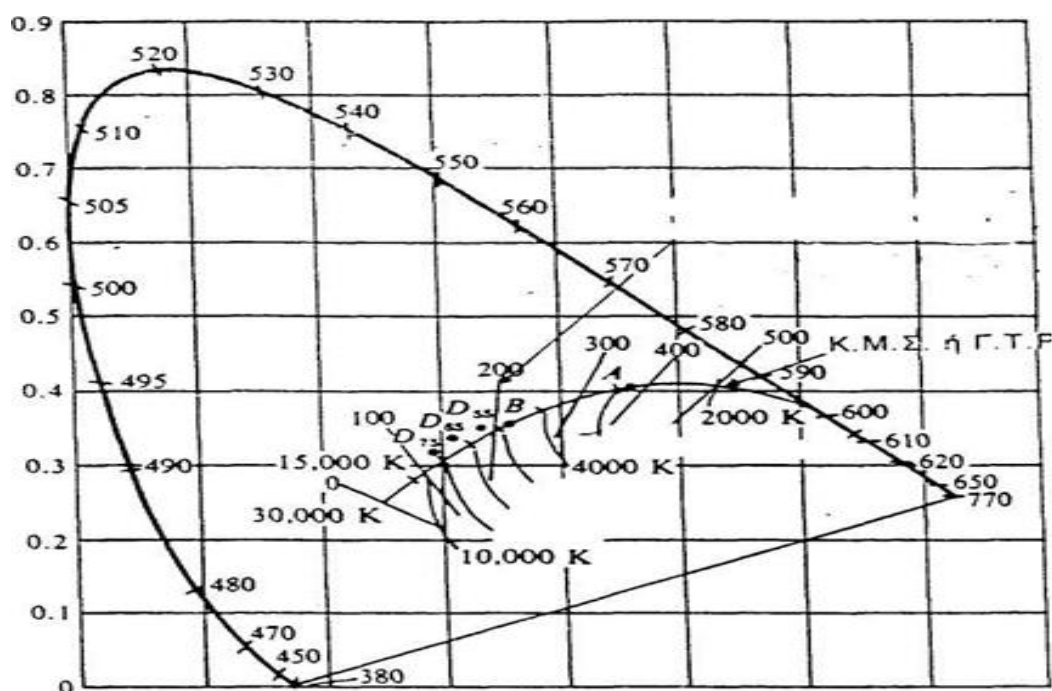
Το χρώμα του φωτός το οποίο εκπέμπεται από μια φωτεινή πηγή παρουσιάζει σημαντική επίδραση στο ‘περιβάλλον’ του χώρου τον οποίο φωτίζει. Για παράδειγμα, η εντύπωση η οποία προκαλείται από έναν λαμπτήρα πυρακτώσεως στον χώρο τον οποίο φωτίζει είναι συνήθως ‘θερμή’. Αντίθετα, η εντύπωση η οποία προκαλείται από έναν λαμπτήρα ατμών υδραργύρου μη διορθωμένου φάσματος, οποίος χρησιμοποιείται για τον φωτισμό ενός δωματίου ή ενός γραφείου, είναι ‘ψυχρή’. Η ‘θερμή’ εντύπωση προκαλείται από το πλούσιο σε ερυθρές ακτινοβολίες φως του λαμπτήρα πυρακτώσεως, ενώ η ‘ψυχρή’ εντύπωση προκαλείται από το μεγάλο ποσοστό κυανής και κίτρινης ακτινοβολίας του φωτός το οποίο εκπέμπεται από έναν λαμπτήρα υδραργύρου.

Η θερμοκρασία χρώματος αποτελεί το μέτρο περιγραφής του χρώματος και της απόχρωσης των φωτεινών πηγών. Η μέτρηση της θερμοκρασίας χρώματος γίνεται σε βαθμούς Kelvin και η θερμοκρασία χρώματος ισοδυναμεί με την θερμοκρασία στην οποία όταν βρεθεί το μέλαν σώμα του Planck, θα παράγει φως ίδιου χρώματος με την μετρούμενη φωτεινή πηγή.

Με τον όρο μέλαν σώμα, ορίζεται ένα θεωρητικό μοντέλο σώματος το οποίο έχει την δυνατότητα απορρόφησης όλων των μηκών κύματος ακτινοβολίας που δέχεται, δεν ανακλά τίποτα και εκπέμπει τη μέγιστη δυνατή ακτινοβολία σε όλα τα μήκη κύματος και προς όλες τις διευθύνσεις [1].

Στο σχήμα 1.3 που ακολουθεί, απεικονίζεται σε διάγραμμα η γραμμή η οποία δημιουργείται από τις χρωματικές συντεταγμένες των ακτινοβολιών εκπομπής μέλανος σώματος σε διάφορες θερμοκρασίες. Δίδονται επίσης οι ισοθερμοκρασιακές γραμμές οι οποίες βοηθούν στον υπολογισμό της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος. Με την βοήθεια των γραμμών αυτών είναι δυνατό να εξακριβώσουμε την αντίστοιχη συσχετισμένη θερμοκρασία για κάθε χρώμα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συσχετισμένη θερμοκρασία χάνει το νόημά της αν υπάρξει μεγάλη απομάκρυνση από τον τόπο του μέλανος σώματος .

Η αύξηση της θερμοκρασίας του μέλανος σώματος προκαλεί μεταβολή του χρώματος αυτού από ερυθρό σε λευκό και στην συνέχεια σε κυανό, ενώ η καμπύλη του μέλανος σώματος διαγράφεται από δεξιά προς τα αριστερά.



Σχήμα 1.3. Καμπύλη μέλανος σώματος [1].

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι:

- Το μέλαν σώμα είναι ερυθρό πλησίον των 1000 °K,
- Το μέλαν σώμα είναι κίτρινο πλησίον των 3000 °K,
- Το μέλαν σώμα είναι άσπρο πλησίον των 5000 °K,
- Το μέλαν σώμα είναι κυανό λευκό πλησίον των 10000 °K, ενώ

- Το μέλαν σώμα είναι απαλό μπλε πλησίον των 30000 °K.

Το αντιλαμβανόμενο χρώμα του μέλανος σώματος σε καθεμία από τις θερμοκρασίες αυτές, είναι δυνατό να είναι τελείως διαφορετικό από το υποδεικνυόμενο χρώμα από τις χρωματικές συντεταγμένες, φαινόμενο το οποίο οφείλεται στην προσαρμογή του παρατηρητή. Κατά συνέπεια, ο ανθρώπινος οφθαλμός διαθέτει την ικανότητα να προσαρμόζεται όχι μόνον στα διάφορα επίπεδα φωτισμού, αλλά και στο χρώμα των πηγών. Για παράδειγμα, το φως διαφόρων αποχρώσεων πηγών, είναι δυνατό να δίνει την εντύπωση λευκού χωρίς να είναι στην πραγματικότητα λευκό και λευκά αντικείμενα φαίνονται ως λευκά είτε φωτίζονται από το φως της ημέρας, είτε από λαμπτήρες πυρακτώσεως, είτε ακόμα και από το φως ενός απλού κεριού.

Το είδος του χρώματος μιας πηγής η οποία κείται στον τόπο του Planck (σχήμα 1.3), είναι δυνατόν να προσδιοριστεί με βάση τη θερμοκρασία του χρώματος, ενώ το είδος του χρώματος μιας πηγής η οποία κείται πλησίον του τόπου Planck, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί με βάση τη συσχετισμένη θερμοκρασία.

Οι συσχετισμένες θερμοκρασίες χρώματος των πηγών των οποίων οι συντεταγμένες χρωματικότητας κείνται πλησίον του τόπου του Planck, είναι δυνατόν να οριστούν προσεγγιστικά με τη σχεδίαση γραμμών σταθερής θερμοκρασίας χρώματος στο διάγραμμα χρωματικότητας πλησίον του τόπου του Planck. Οι γραμμές αυτές αποκαλούνται ισοθερμοκρασιακές γραμμές.

Οι φωτεινές πηγές οι οποίες παρουσιάζουν χρωματική θερμοκρασία σχεδόν 3000 °K, χαρακτηρίζονται ως θερμού λευκού φωτός. Οι φωτεινές πηγές οι οποίες παρουσιάζουν χρωματική θερμοκρασία σχεδόν 6500 °K, χαρακτηρίζονται ως λευκού φωτός ημέρας. Τέλος, οι φωτεινές πηγές οι οποίες παρουσιάζουν χρωματική θερμοκρασία σχεδόν 4000 °K χαρακτηρίζονται ως ουδέτερες λευκές [1].

Το φως της ημέρας προερχόμενο από την φωτοβόλο πηγή του Ήλιου παρουσιάζει χρωματική θερμοκρασία 20000° K με διαυγή και κυανό ουρανό, η οποία μειώνεται έως 4000° K κατά την δύση του. Επομένως η θερμοκρασία χρώματος του φωτός της ημέρας δεν είναι σταθερή και μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση του ήλιου και την ύπαρξη ή μη νεφώσεων στον ουρανό.

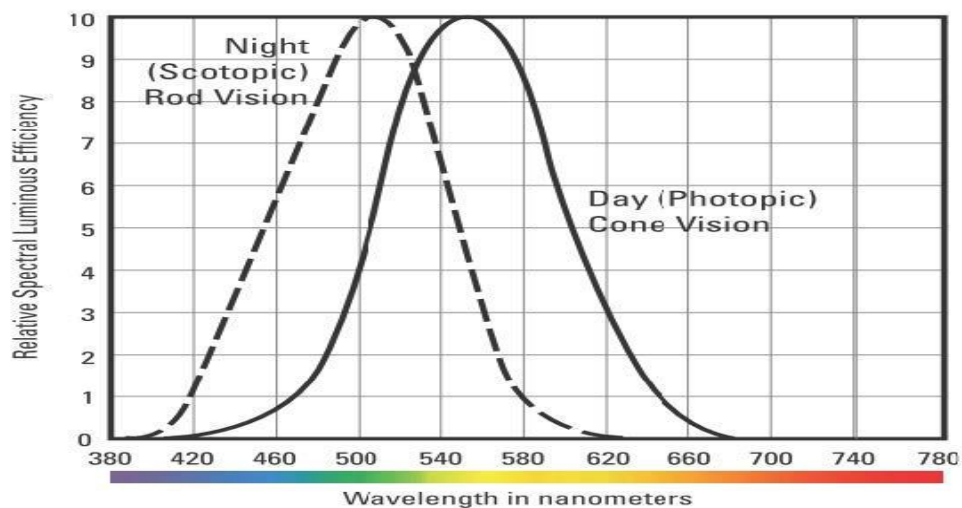
Η ποιότητα χρώματος εκφράζει την ικανότητα της φωτεινής πηγής να αναπαράγει ρεαλιστικά το χρώμα ενός αντικειμένου και εκφράζεται από τον δείκτη χρωματικής απόδοσης Ra ή CRI ο οποίος παίρνει τιμές από το 0 έως το 100. Όσο

πιο χαμηλές τιμές παίρνει ο δείκτης τόσο χειρότερη είναι η αναπαράσταση των χρωμάτων από την φωτεινή πηγή. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης της προτύπου πηγής λαμβάνεται ίσος με 100 και το άλλο ακραίο σημείο της κλίμακας ορίζεται ίσο με 50. Το σημείο αυτό παριστά το δείκτη χρωματικής αποδόσεως του πρότυπου λαμπτήρα φθορισμού Warm white Standard Color 3 της CIE. Η κλίμακα αυτή έχει επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε μια διάφορα πέντε μονάδων να έχει ως συνέπεια οριακά αντιληπτή διαφορά στην χρωματική απόδοση. Χρωματικές διαφορές οι οποίες προκύπτουν από φωτεινές πηγές με συντελεστή  $R > 90$  δεν είναι δυνατό να γίνουν αντιληπτές υπό κανονικές συνθήκες [2].

Η σύγκριση μεταξύ δύο πηγών με κριτήριο το δείκτη χρωματικής απόδοσης δεν είναι δυνατό να γίνει παρά μόνο για πηγές οι οποίες έχουν την ίδια θερμοκρασία χρώματος. Επομένως, ο δείκτης  $R$  έχει σχετική και όχι απόλυτη έννοια. Στην εν λόγω παρατήρηση συνηγορεί και το γεγονός ότι το μέλαν σώμα  $3000^\circ \text{K}$  ως πηγή αναφοράς έχει δείκτη  $R$  ίσο με 100, ενώ η ίδια τιμή αποδίδεται και στον δείκτη  $R$  πηγής αναφοράς ημέρας και θερμοκρασίας  $7500^\circ \text{K}$ . Είναι επίσης γνωστό εμπειρικά, ότι οι προαναφερθείσες πηγές αποδίδουν τα χρώματα κατά τελείως διαφορετικό τρόπο.

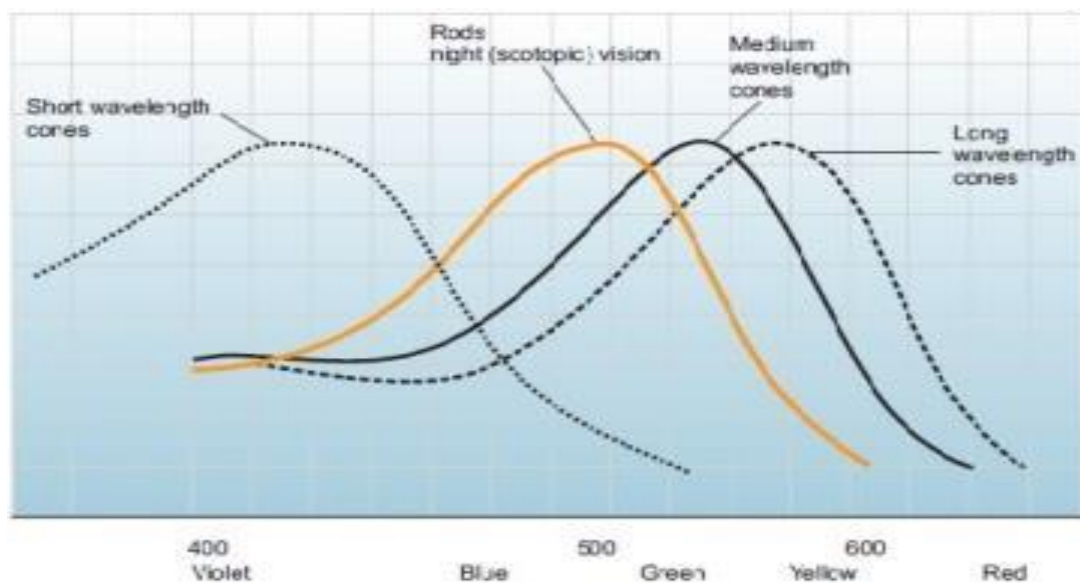
Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι ο καθορισμός του δείκτη  $R$  πραγματοποιείται με τη λήψη του μέσου όρου των αποκλίσεων της απόδοσης των χρωμάτων των δειγμάτων, επομένως ο δείκτης δεν είναι δυνατό να αναφέρεται σε συγκεκριμένα χρώματα. Κατά συνέπεια, μία πηγή η οποία παρουσιάζει δείκτη χρωματικής απόδοσης  $R=85$ , ο οποίος χαρακτηρίζεται καλός, είναι δυνατό να παρουσιάζει σημαντική διαφορά από την πηγή αναφοράς στην απόδοση κάποιου χρώματος. Η μοναδική περίπτωση μια πηγή να θεωρηθεί ότι αποδίδει καλά όλα τα χρώματα είναι να παρουσιάζει τιμή του δείκτη  $R$  μεγαλύτερη του 95.

Σε σχέση με την παραπάνω ανάλυση, οι καμπύλες ευαισθησίας της ανθρώπινης όρασης είναι οι ακόλουθες.



Σχήμα 1.4. Καμπύλες ευαισθησίας ανθρώπινης όρασης [2].

Προχωρώντας ένα βήμα πιο πέρα, η φασματική ευαισθησία των φωτοκυττάρων του ανθρώπινου αφθαλμού απεικονίζεται διαγραμματικά ως ακολούθως:



Σχήμα 1.5. Φασματική ευαισθησία των φωτοκυττάρων του ανθρώπινου αφθαλμού [4].

## 1.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

### 1.3.1 Φωτεινή ροή

Η φωτεινή ροή (Luminous flux)  $[\Phi]$ , ορίζεται ως η φωτεινή ενέργεια την οποία εκπέμπει μια φωτεινή πηγή ανά μονάδα χρόνου και η μονάδα μέτρησης της είναι το lumen (lm) [5].

Το μέγεθος αυτό ουσιαστικά αναπαριστά την φωτεινή ενέργεια την οποία εκπέμπει ένας λαμπτήρας υπό την κανονικοποίηση της φωτοπικής συνάρτησης ευαισθησίας του ανθρώπινου οφθαλμού.

Η φωτεινή ροή ορίζεται ως εξής:

Φωτοπική όραση:

$$\Phi = \kappa \int_{380}^{780} P(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda$$

- Όπου,  $\kappa = 680 \text{ lm/W}$  είναι η μέγιστη φασματική ευαισθησία για την φωτοπική όραση,  $P(\lambda)$  η ισχύς ακτινοβολίας σε Watt και  $V(\lambda)$  η φασματική ευαισθησία για την φωτοπική όραση.

Σκοτοπική όραση:

$$\Phi' = \kappa' \int_{380}^{780} P(\lambda) \cdot V'(\lambda) \cdot d\lambda$$

- Όπου,  $\kappa' = 1700 \text{ lm/W}$  είναι η μέγιστη φασματική ευαισθησία για την σκοτοπική όραση,  $P(\lambda)$  η ισχύς ακτινοβολίας σε Watt και  $V'(\lambda)$  η φασματική ευαισθησία για την σκοτοπική όραση.

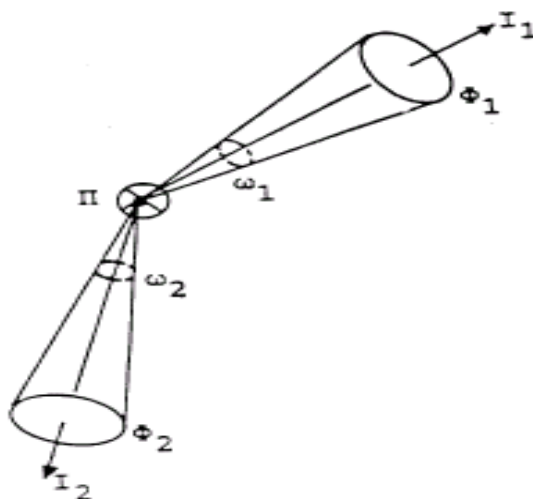
### 1.3.2 Φωτεινή ένταση

Η φωτεινή ένταση (Luminous intensity)  $[I]$  είναι ένα διανυσματικό μέγεθος. Η εισαγωγή του μεγέθους αυτού καλύπτει την ανάγκη καθορισμού του ποσού της φωτεινής ροής  $\Phi$  η οποία εκπέμπεται από μια φωτεινή πηγή προς κάθε συγκεκριμένη κατεύθυνση [6].

Η φωτεινή ένταση ορίζεται ως ο λόγος της στοιχειώδους φωτεινής ροής  $d\Phi$  την οποία εκπέμπει μία φωτεινή πηγή μέσα σε μία στοιχειώδη στερεά γωνία  $d\omega$  προς τη γωνία αυτή:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$$

Η μονάδα μέτρησης της φωτεινής εντάσεως ονομάζεται Candela (Cd), λαμβάνεται όταν μέσα σε στερεά γωνία 1 Sr ακτινοβολεί φωτεινή ισχύς 1 lm και συνοδεύεται και από την κατεύθυνση παρατηρήσεως. Είναι εμφανές ότι η φωτεινή Ένταση  $I$  και η φωτεινή ροή  $\Phi$  έχουν τις ίδιες διαστάσεις, καθώς το Sr αποτελεί μονάδα χωρίς διαστάσεις.



**Σχήμα 1.6.** Υπολογισμός φωτεινής έντασης [6].

### 1.3.3 Ένταση φωτισμού επιφάνειας

Η ένταση φωτισμού (Illuminance)  $[E]$  μιας επιφάνειας ορίζεται ως η φωτεινή ροή η οποία προσπίπτει ανά μονάδα επιφάνειας [4]. Αν θεωρηθεί μια στοιχειώδης επιφάνεια  $dS$  ενός αντικειμένου στην οποία πέφτει κάθετα στοιχειώδης ποσότητα φωτεινής ροής  $d\Phi$ , ορίζεται ως ένταση φωτισμού ο λόγος:

$$E = \frac{d\Phi}{dS}$$

Η μονάδα έντασης φωτισμού είναι το lux:

$$lx = \frac{lm}{m^2}$$



Οι εμπορικά διαθέσιμοι λαμπτήρες δεν εκπέμπουν ομοιόμορφη φωτεινή ροή. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται η προσεγγιστική σχέση :

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Με  $\Phi$  σταθερό σε κάθε στοιχειώδες τμήμα, η σχέση αυτή παρέχει την μέση ένταση φωτισμού σε οποιοδήποτε επιφάνεια  $S$  η οποία φωτίζεται ομοιόμορφα.

### 1.3.4 Λαμπρότητα

Η λαμπρότητα (Luminance)  $[L]$  ορίζεται ως το πηλίκο της φωτεινής έντασης  $I$  στην κατεύθυνση του παρατηρητή προς το εμβαδόν της προβαλλόμενης επιφάνειας της πηγής την οποία βλέπει ο παρατηρητής [5]. Ως μονάδα μέτρησης λαμβάνεται το  $\text{cd/m}^2$ .

$$L = \frac{I}{S}$$

Η λαμπρότητα είναι το μοναδικό βασικό φωτομετρικό μέγεθος το οποίο γίνεται αντιληπτό από τον ανθρώπινο οφθαλμό, χαρακτηρίζει την φωτεινότητα της

επιφάνειας και είναι άμεσα συνδεδεμένο με την ανάκλαση της. Από τον ορισμό της λαμπρότητας γίνεται αντιληπτό πως πρόκειται για διανυσματικό μέγεθος και μεταβάλλεται ανάλογα με την θέση του παρατηρητή.

### 1.3.5 Φωτεινή απόδοση φωτεινής πηγής

Ο προσδιορισμός της φωτεινής απόδοσης μιας φωτεινής πηγής (Luminous efficiency)  $[n]$  στηρίζεται στο γεγονός ότι οι φωτεινές πηγές οι οποίες κάνουν χρήση ηλεκτρικού ρεύματος, όπως οι λαμπτήρες, καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε ακτινοβολία, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας είναι φωτεινή [6].

Ο καθορισμός της απόδοσης του λαμπτήρα επιτυγχάνεται με τη γνώση της φωτεινής ισχύος. Η απόδοση ενός φωτιστικού σημείου ή σώματος έχει ως μονάδα μέτρησης το  $\text{lm/W}$  και εκφράζει το ποσό της αποδιδόμενης φωτεινής ισχύος ή ροής για κάθε Watt καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ισχύος.

$$n = \frac{\Phi}{P_{\eta\lambda}}$$

- όπου  $\Phi$  η φωτεινή ροή του λαμπτήρα και  $P_{ηλ}$  η καταναλισκόμενη από τον λαμπτήρα ηλεκτρική ισχύ.

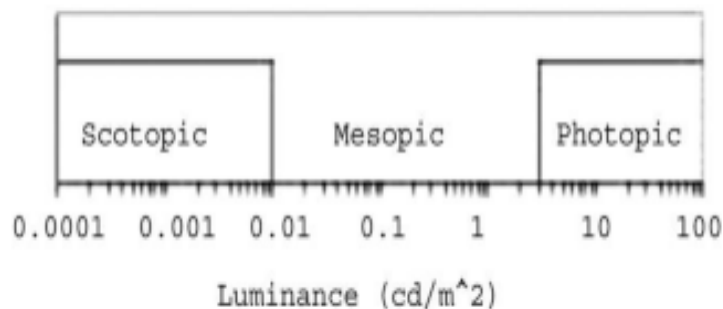
#### 1.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ S/P

Ο ανθρώπινος οφθαλμός έχει τη δυνατότητα αντίληψης ενός περιορισμένου φάσματος από την ακτινοβολία την οποία δέχεται, το οποίο αποκαλείται ορατό φάσμα ακτινοβολίας. Επίσης, ο ανθρώπινος οφθαλμός, ακόμα και εντός του φάσματος λειτουργίας του, δεν είναι το ίδιο ευαίσθητος σε όλα τα μήκη κύματος. Η σχετική συνάρτηση φασματικής ευαισθησίας περιγράφει την ευαισθησία του ανθρώπινου οφθαλμού στα διάφορα μήκη κύματος ακτινοβολίας.

Το 1924, η διεθνής επιτροπή φωτισμού CIE εισήγαγε την έννοια της συνάρτησης φασματικής απόδοσης φωτοπικής όρασης  $V(\lambda)$  [1], η οποία βασίζεται στην ευαισθησία των κωνίων. Η φωτοπική ευαισθησία  $V(\lambda)$  έχει εύρος από 360 μέχρι 830 nm, και έχει κανονικοποιηθεί στην μονάδα στα 555 nm.

Από την άλλη, η συνάρτηση σκοτοπικής ευαισθησίας  $V'(\lambda)$ , έχει ως βάση τη λειτουργία των ραβδίων του οφθαλμού, εισήχθη το 1951 από την CIE και εμφανίζει την μέγιστη τιμή της στα 507 nm [1].

Η μεσοπική όραση αφορά τα επίπεδα φωτισμού μεταξύ της φωτοπικής και της σκοτοπικής όρασης. Κατά την λειτουργία της μεσοπικής όρασης, όπως ήδη έχει ειπωθεί, βρίσκονται σε λειτουργία τόσο τα κωνία όσο και τα ραβδία. Η συνάρτηση μεσοπικής ευαισθησίας, δεν παίρνει συνεχείς τιμές στο ορατό φάσμα, αλλά εξαρτάται από το επίπεδο φωτισμού και από την γωνία θέασης. Αυτό οφείλεται στην κατανομή των φωτοανιχνευτών στον αμφιβληστροειδή του οφθαλμού.



Σχήμα 1.7. Μεσοπική όραση [1].

Η συνάρτηση μεσοπικής ευαισθησίας  $V_{mes}(\lambda)$  η οποία ορίστηκε από τη διεθνή επιτροπή φωτισμού (CIE) το 2010, αποτελεί το γραμμικό συνδυασμό της φωτοπικής και της σκοτοπικής συνάρτησης ευαισθησίας.

Τα όρια λειτουργίας της μεσοπικής όρασης βασίζονται στο επίπεδο λαμπρότητας και είναι :

$$0.005 \text{ cd/m}^2 < L < 5 \text{ cd/m}^2$$

Το μεσοπικό σύστημα είναι της μορφής:

$$M(m)V_{mes}(\lambda) = mV(\lambda) + (1 - m)V'(\lambda)$$

- Όπου  $M(m)$  είναι συνάρτηση κανονικοποίησης τέτοια ώστε η  $V_{mes}(\lambda)$  να παίρνει μέγιστη τιμή το 1, και  $m$  ο συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από την λαμπρότητα και το φάσμα ακτινοβολίας, με  $0 \leq m \leq 1$ .

Ο συντελεστής  $m$  και η μεσοπική λαμπρότητα  $L_{mes}$  μπορούν να υπολογιστούν από το ακόλουθο επαναληπτικό σύστημα:

$$L_{mes,n} = \frac{m_{(n-1)}L_p + (1 - m_{(n-1)})L_s V'(\lambda_0)}{m_{(n-1)} + (1 - m_{(n-1)})V'(\lambda_0)}$$

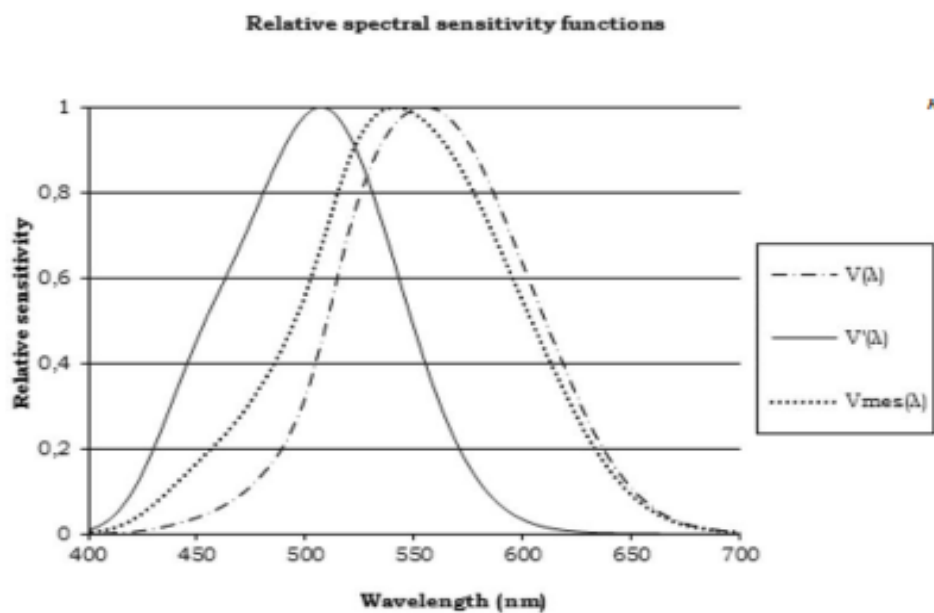
$$m_n = a + b * \log(L_{mes,n}) \text{ με } 0 < m_n < 1$$

Όπου:

- $L_p$  είναι η φωτοπική λαμπρότητα και  $L_s$  η σκοτοπική λαμπρότητα.
- Η σταθερά  $V'(\lambda_0)$  έχει τιμή  $V'(\lambda_0) = 683/1699$ , που αντιστοιχεί στην τιμή για την οποία  $V(\lambda) = 1$ .
- Οι παράμετροι  $a$ ,  $b$  έχουν τιμές 0,7670 και 0,3334 αντίστοιχα.

Για τον απλούστερο υπολογισμό της μεσοπικής λαμπρότητας απαιτείται η αντίστοιχη φωτοπική λαμπρότητα καθώς και ο δείκτης S/P της φωτεινής πηγής που χρησιμοποιείται.

Οι τρεις συναρτήσεις ευαισθησίας της ανθρώπινης όρασης παρουσιάζονται στο σχήμα 8. Οι συναρτήσεις αυτές προκύπτουν για δοσμένες τιμές της φωτοπικής λαμπρότητας και για δοσμένη φωτεινή πηγή.



**Σχήμα 1.8.** Συναρτήσεις ευαισθησίας της ανθρώπινης όρασης [1].

Ο δείκτης αναλογίας της σκοτοπικής / φωτοπικής ακτινοβολίας μιας φωτεινής πηγής, ορίζεται ως το πηλίκο της φωτεινής ροής μιας πηγής φωτός ως προς την φωτοπική συνάρτηση ευαισθησίας  $V(\lambda)$ , προς την φωτεινή ροή ως προς την σκοτοπική συνάρτηση ευαισθησίας  $V'(\lambda)$ .

Φωτεινές πηγές με μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας τους στα χαμηλά μήκη κύματος, εμφανίζουν μεγαλύτερους δείκτες S/P.

Συγκεκριμένα ο δείκτης S/P ορίζεται ως:

$$R_{sp} \text{ ή } S/P = \frac{\Phi_s}{\Phi_p} = \frac{K'_m \int_0^\infty P_{e,\lambda} V'(\lambda) d\lambda}{K_m \int_0^\infty P_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda}$$

Όπου:

- $K_m=683 \text{ lm/W}$ ,
- $K'_m= 1699 \text{ lm/W}$  και
- $P_{e,\lambda}$  η ισχύς (W) που εκπέμπει η φωτεινή πηγή σε συγκεκριμένο μήκος κύματος  $\lambda$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΥΤΩΝ

#### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο δεύτερο κεφάλαιο του συγγράμματος, λαμβάνει χώρα μια περιγραφή των χαρακτηριστικών και της λειτουργίας των πιο διαδεδομένων τύπων λαμπτήρων που απαντώνται στην αγορά σήμερα. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφονται οι κατηγορίες λαμπτήρων φθορισμού, LED, πυρακτώσεως, υδραργύρου, μεταλλικών αλογονιδίων και νατρίου.

#### 2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των λαμπτήρων είναι τα ακόλουθα [3]:

- Ονομαστική τάση λειτουργίας: η τάση του δικτύου στο οποίο θα συνδεθεί ο λαμπτήρας.
- Ονομαστική ισχύς: η καταναλισκόμενη από τον λαμπτήρα ηλεκτρική ισχύς σε Watt.
- Φωτεινή Ροή: η συνολική φωτεινή ροή του λαμπτήρα σε Lumens που μετριέται στους 25°C.

Από τα δύο τελευταία μεγέθη, προκύπτει ότι η απόδοση του λαμπτήρα αποτελεί καθοριστικό στοιχείο της οικονομικής λειτουργίας αυτού, μιας και όπως ειπώθηκε στο πρώτο κεφάλαιο, ο λόγος της φωτεινής ροής μιας διάταξης παραγωγής φωτός - και επομένως και του λαμπτήρα - προς την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύ προσδιορίζει την απόδοση.

Για την επιλογή του καταλληλότερου τύπου λαμπτήρα, εκτός από τα παραπάνω μεγέθη που δίνονται στον τυπικό χρήστη, ένας μελετητής χρειάζεται και τα ακόλουθα στοιχεία [6]:

- Χρόνος ζωής του λαμπτήρα: Ο χρόνος στον οποίο οι μισοί λαμπτήρες στατιστικά λειτουργούν (ακόμα λαμβάνοντας υπόψιν την πτώση της φωτεινής τους ροής).
- Θερμοκρασία χρώματος του λαμπτήρα.
- Χρωματικός δείκτης του λαμπτήρα.
- Φάσμα εκπομπής.
- Φωτεινή ένταση.
- Διαστάσεις.
- Ένταση του ρεύματος λειτουργίας σε συνδυασμό με τις χρησιμοποιούμενες στραγγαλιστικές διατάξεις.
- Η δυνατότητα διαβάθμισης της ισχύος του λαμπτήρα (dimming).
- Ο τρόπος τοποθέτησης (π.χ. οριζόντια, κατακόρυφα) του λαμπτήρα. Για παράδειγμα, οι λαμπτήρες φθορισμού compact μπορούν συνήθως να χρησιμοποιηθούν σε κάθε θέση, αν και ορισμένες σημαντικές ιδιότητές τους όπως η χαρακτηριστική της φωτεινής ροής τους σε σχέση με την θερμοκρασία μπορεί να εξαρτάται από την θέση αυτή.

## 2.3 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ

### 2.3.1 Γενική περιγραφή λαμπτήρων φθορισμού

Οι λαμπτήρες φθορισμού [3] ανήκουν στην κατηγορία των λαμπτήρων εκκένωσης χαμηλής πίεσης, μέσα στις οποίες το ορατό φως παράγεται κυρίως από επικαλύψεις φωσφόρου ενεργοποιούμενες από την προσπίπτουσα υπεριώδη ακτινοβολία. Ο λαμπτήρας, συνήθως σωληνωτού σχήματος, με ένα ηλεκτρόδιο σε κάθε του άκρη, περιέχει ατμούς υδραργύρου σε χαμηλή πίεση με ένα μικρό ποσό αδρανούς ευγενούς αερίου (κυρίως νέο και αργό) για την διευκόλυνση της έναρξης του τόξου. Στα άκρα του σωλήνα βρίσκονται δύο ηλεκτρόδια με μορφή σύνθετων νημάτων τα οποία εξασφαλίζουν ομοιογενή θερμιονική εκπομπή ηλεκτρονίων και μεγάλο χρόνο ζωής. Τα εσωτερικά τοιχώματα του γυάλινου σωλήνα καλύπτονται από φθορίζουσες πούδρες, κοινώς ονομαζόμενες 'φώσφοροι'. Οι ουσίες αυτές συνήθως είναι άλατα του πυριτίου με προσμίξεις μαγγανίου και άλατα του βορίου ή του βολφραμίου.

### 2.3.2 Αρχή λειτουργίας λαμπτήρων φθορισμού

Όταν εφαρμοστεί η κατάλληλη τάση, παράγεται τόξο μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων διαμέσου του ατμού υδραργύρου εξαιτίας του ιονισμού του. Αυτή η εκκένωση παράγει μερική ορατή ακτινοβολία, αλλά επί το πλείστον αόρατη υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία διεγείρει τους φωσφόρους να εκπέμπουν ορατό φως.

Ο συνδυασμός των φωσφόρων γίνεται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη διέγερση από υπεριώδη ακτινοβολία μήκους κύματος 253,7 nm, το οποίο αποτελεί το βασικό μήκος κύματος που παράγεται από εκκένωση υδραργύρου χαμηλής πίεσης.

Η πίεση του υδραργύρου διατηρείται στην τιμή των 1,07 Pa η οποία είναι η πίεση εξάτμισης του υγρού υδραργύρου στους 40 °C. Επιπρόσθετα, στο σωλήνα υπάρχει ένα μείγμα ευγενών αερίων χαμηλής πίεσης (100-400 Pa) για την διευκόλυνση της εκκένωσης. Κατά τη λειτουργία, εκπέμπεται ορατή και υπεριώδης ακτινοβολία με μέγιστες τιμές στα 254, 313, 365, 405, 436, 546 και 578 nm.

### 2.3.3 Λειτουργική διάταξη λαμπτήρων φθορισμού

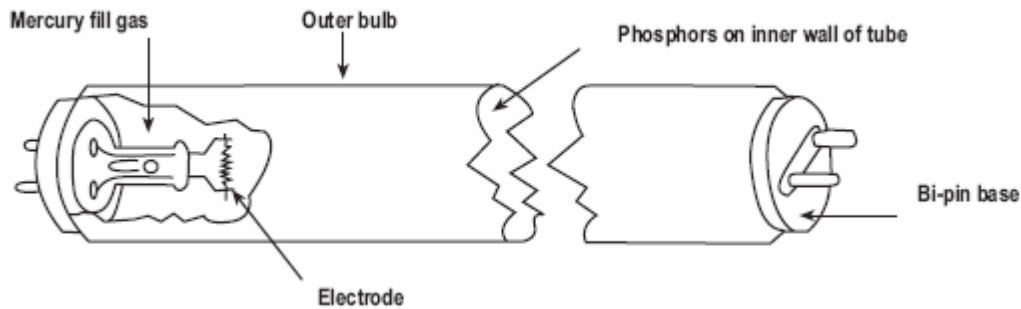
Οι λαμπτήρες φθορισμού είναι συνήθως γραμμικού σωληνωτού σχήματος και διαμέτρου από 12 mm μέχρι 54 mm, που απαντώνται σε μήκη που κυμαίνονται από 100 mm έως 2440 mm.

Τα ηλεκτρόδια είναι ερμητικά κλεισμένα σε κάθε άκρο στο εσωτερικό του λαμπτήρα και σχεδιασμένα για λειτουργία σαν ‘ψυχρές’ ή ‘θερμές’ κάθοδοι, με τις αντίστοιχες λειτουργίες να ονομάζονται αίγλης (glow) και τόξου (arc).

Η λειτουργία με θερμές καθόδους είναι πιο αποδοτική σε σχέση με τις ψυχρές καθόδους, με αποτέλεσμα να έχει επικρατήσει στους περισσότερους λαμπτήρες φθορισμού.

Τα ηλεκτρόδια είναι κατασκευασμένα από νήμα βολφραμίου με επικάλυψη από αλκαλικά οξείδια, τα οποία βοηθούν στην εκπομπή ηλεκτρονίων. Κατά την λειτουργία του λαμπτήρα, το νήμα και η επικάλυψη φτάνουν σε θερμοκρασίες 1100 °C, όπου εκπέμπονται μεγάλες ποσότητες ηλεκτρονίων.

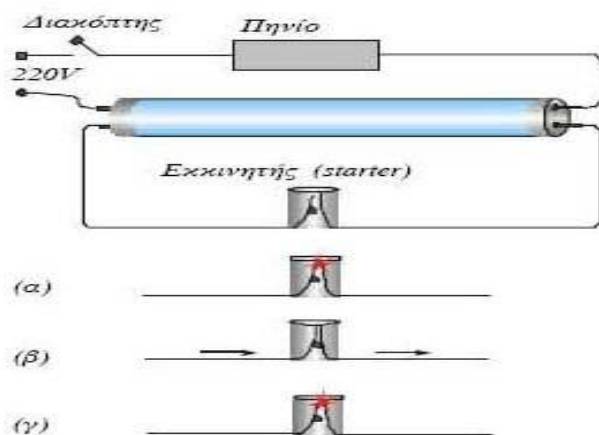




**Σχήμα 2.1.** Λαμπτήρας φθορισμού [3].

Οι λαμπτήρες φθορισμού έχουν μία αρνητική χαρακτηριστική τάσης - ρεύματος και επομένως απαιτείται η χρήση ballast για τον περιορισμό του ρεύματος. Επιπρόσθετα, το ballast εξασφαλίζει την αναγκαία τάση για την έναυση του τόξου. Αυτή η τάση μπορεί να είναι 1,5 έως 4 φορές πολλαπλάσια της κανονικής τάσης λειτουργίας.

Στη συνδεσμολογία του λαμπτήρα φθορισμού, εκτός από το στραγγαλιστικό πηνίο που συνδέεται σε σειρά με τον λαμπτήρα, συνδέεται σε σειρά με τα ηλεκτρόδια και ένας εκκινητής - starter (εκτός των λαμπτήρων φθορισμού άμεσης έναυσεως). Αυτός αποτελείται από διμεταλλικό έλασμα και είναι απαραίτητος για την έναυση του λαμπτήρα η οποία δεν μπορεί να γίνει με απλή σύνδεση προς την τάση του δικτύου, γιατί τα ηλεκτρόδια είναι ψυχρά και δεν εκπέμπουν ηλεκτρόνια.



**Σχήμα 2.2.** Κύκλωμα λειτουργίας λαμπτήρα φθορισμού και φάσεις λειτουργίας του εκκινητή [2].

Ο εκκινητής είναι κατασκευασμένος ώστε η απόσταση των ηλεκτροδίων του να είναι μικρή. Εφαρμόζοντας την τάση του δικτύου, ο λαμπτήρας δεν διαρρέεται

από ρεύμα αλλά η τάση στα άκρα του εκκινητή είναι επαρκής για να ξεκινήσει εκκένωση αίγλης. Η εκκένωση αίγλης θερμαίνει το διμεταλλικό έλασμα του εκκινητή το οποίο παραμορφώνεται και κλείνει το διάκενο που υπάρχει, οπότε διακόπτεται η εκκένωση αίγλης.

Το κύκλωμα εκκινητή – ηλεκτροδίων διαρέεται από ισχυρό ρεύμα που θερμαίνει τα ηλεκτρόδια τα οποία αρχίζουν να εκπέμπουν ηλεκτρόνια. Στο μεταξύ, επειδή έχει διακοπεί η εκκένωση αίγλης, το διμεταλλικό έλασμα του εκκινητή ψύχεται και επανέρχεται στην αρχική του θέση διακόπτοντας το κύκλωμα. Η διακοπή αυτή δημιουργεί (λόγω επαγωγικής τάσης στο στραγγαλιστικό πηνίο) στα άκρα του λαμπτήρα υπέρταση, η οποία προκαλεί την έναρξη της εκκένωσης μέσω των ατμών υδραργύρου που προήλθαν από την εξάτμιση του υδραργύρου μέσα στον σωλήνα λόγω θέρμανσης των νημάτων.

Επειδή η τάση λειτουργίας του εκκινητή είναι μεγαλύτερη από την τάση λειτουργίας του λαμπτήρα, ο εκκινητής κατά την διάρκεια λειτουργίας του λαμπτήρα παραμένει ανοικτός, δηλαδή (εκτός λειτουργίας).

Λόγω του χαμηλού συντελεστή ισχύος των διατάξεων των λαμπτήρων φθορισμού, συνήθως γίνεται αντιστάθμιση με την χρήση πυκνωτών. Η διόρθωση του συντελεστή ισχύος γίνεται με την σύνδεση παράλληλα με τους αγωγούς τροφοδοσίας, κατάλληλου μεγέθους πυκνωτή. Ο πυκνωτής έχοντας χωρητική συμπεριφορά, αντισταθμίζει την επαγωγική συμπεριφορά της στραγγαλιστικής διάταξης του λαμπτήρα. Η αντιστάθμιση μπορεί να γίνει είτε σε μεμονωμένο λαμπτήρα, είτε σε ομάδα λαμπτήρων, είτε ακόμη και στο σύνολο της εγκατάστασης φωτισμού.

Προχωρώντας ένα βήμα πιο πέρα, θα πρέπει η επιλογή του εκκινητή και του στραγγαλιστικού πηνίου να είναι τέτοια, ώστε τα στοιχεία αυτά να συνεργάζονται πλήρως για να έχουμε σωστή απόδοση του λαμπτήρα και μεγάλη διάρκεια ζωής.

Η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων θερμών καθόδων καθορίζεται από τον ρυθμό της εκπεμπόμενης επικάλυψης στα ηλεκτρόδια. Κάθε φορά που γίνεται η έναυση του λαμπτήρα, κάποιες επικαλύψεις διαβρώνονται. Επίσης, κατά την διάρκεια λειτουργίας του λαμπτήρα συμβαίνει εξάτμιση του εκπεμπόμενου υλικού. Τα ηλεκτρόδια είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε αυτά τα φαινόμενα να είναι ελάχιστα.

Το τέλος της διάρκειας της ζωής του λαμπτήρα συμβαίνει όταν είτε η επικάλυψη έχει απομακρυνθεί εξ' ολοκλήρου από το ένα τουλάχιστον ηλεκτρόδιο, είτε η απομένουσα επικάλυψη δεν εκπέμπει περαιτέρω.

Επειδή κάποια ποσότητα του εκπεμπόμενου υλικού χάνεται από τα ηλεκτρόδια σε κάθε έναυση, η συχνότητα των εναύσεων επηρεάζει την διάρκεια ζωής του λαμπτήρα. Η ονομαστική μέση διάρκεια ζωής των λαμπτήρων φθορισμού καθορίζεται σε συχνότητα εναύσεων κάθε τρεις ώρες. Οι λαμπτήρες ψυχρών καθόδων δεν επηρεάζονται σημαντικά από την συχνότητα εναύσεων εξαιτίας του τύπου των χρησιμοποιούμενων ηλεκτροδίων.

Τυπικά υπάρχει μια μείωση 25% στην διάρκεια ζωής ενός λαμπτήρα φθορισμού με αναφορά σε συχνότητα εναύσεων κάθε τρεις ώρες. Συνεπώς, για εφαρμογές με μεγάλη συχνότητα εναύσεων, η λειτουργία στιγμιαίας έναυσης θα πρέπει να αποφεύγεται.

Υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την διάρκεια ζωής του λαμπτήρα φθορισμού σε πραγματικές συνθήκες. Τα χαρακτηριστικά του ballast και του εκκινητή είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες στην περίπτωση των προθερμαινόμενων κυκλωμάτων. Ballasts που δεν παρέχουν τις σωστές απαιτήσεις έναυσης, όπως την κατάλληλη τάση, θα επηρεάσουν επίσης σε μεγάλο βαθμό την διάρκεια ζωής ενός λαμπτήρα φθορισμού.

Για τα προθερμαινόμενα κυκλώματα, οι εκκινητές θα πρέπει να ακολουθούν τις προδιαγραφές λειτουργίας. Το ρεύμα θέρμανσης του ηλεκτροδίου σε λαμπτήρες ταχείας έναυσης, είναι σημαντικό και επηρεάζεται όχι μόνο από το ballast αλλά και από την καλή επαφή του λαμπτήρα στο ντουί. Το αντίθετο θα συντελέσει στην μη θέρμανση των ηλεκτροδίων με αποτέλεσμα την αστοχία του λαμπτήρα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.

Άλλος σημαντικός παράγοντας στη διάρκεια ζωής, είναι η τάση του δικτύου. Σε περίπτωση που η τάση είναι σημαντικά υψηλή, μπορεί να προκαλέσει στιγμιαία έναυση σε λαμπτήρες προθερμαινόμενων και ταχείας έναυσης κυκλωμάτων. Εάν αντίθετα είναι χαμηλή, θα έχουμε ως αποτέλεσμα μια αργή έναυση των λαμπτήρων ταχείας και στιγμιαίας έναυσης και επομένως συνεχείς επανεναύσεις από τους εκκινητές σε προθερμαινόμενα συστήματα.

Τα χαρακτηριστικά των λαμπτήρων φθορισμού εξαρτώνται από την συγκέντρωση του ατμού υδραργύρου, δηλαδή από την πίεση του ατμού η οποία εξαρτάται από την θερμοκρασία. Η επίδραση της θερμοκρασίας στην πίεση του ατμού υδραργύρου παρουσιάζεται στην φωτεινή ροή και στο χρώμα.

Η εσωτερική θερμοκρασία του φωτιστικού σώματος μπορεί επίσης να επηρεάσει αρνητικά την διάρκεια ζωής κάποιων λαμπτήρων φθορισμού. Υψηλότερες

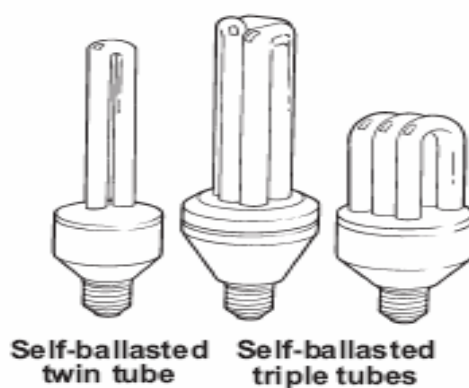
θερμοκρασίες περιβάλλοντος όχι μόνο μειώνουν την φωτεινή ροή αλλά αλλάζουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του λαμπτήρα καθιστώντας ακατάλληλο το ballast, με πιθανό αποτέλεσμα την αύξηση του ρεύματος. Μακροπρόθεσμη λειτουργία με υψηλότερα από τα προβλεπόμενα ρεύματα, θα επιφέρουν τη μείωση της διάρκειας ζωής του λαμπτήρα.

Όσο μειώνεται η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η έναυση των λαμπτήρων γίνεται όλο και πιο δυσχερής. Για αξιόπιστη έναυση σε χαμηλές θερμοκρασίες απαιτούνται υψηλότερες τιμές τάσης και ανάλογα ballasts (συνήθως ηλεκτρομαγνητικά ή ηλεκτρονικά).

### 2.3.4 Συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού

Μια ειδική κατηγορία λαμπτήρων φθορισμού αποτελούν οι λεγόμενοι συμπαγείς (compact) λαμπτήρες φθορισμού [3]. Οι λαμπτήρες αυτοί εμφανίστηκαν στην δεκαετία του 1980 και αποτελούν ένα νέο τύπο λαμπτήρα.

Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι όμοιος με αυτόν των λαμπτήρων φθορισμού, αλλά αποτελούν μικρότερου μεγέθους λαμπτήρες από τους σωληνωτούς λαμπτήρες φθορισμού και εμφανίζουν ανάλογα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά. Εν γένει, αποτελούνται από ένα σωλήνα λυγισμένο σε σχήμα U, όπως φαίνεται στο ακόλουθο εικονίδιο.



Σχήμα 2.3. Συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού [3].

Σήμερα απαντώνται τρεις κύριοι τύποι συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού οι οποίοι είναι:

- Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού με κάλυκα βιδωτό ή μπαγιονέτ για απ'ευθείας τοποθέτηση σε αντίστοιχη λυχνολαβή 230V. Οι λαμπτήρες αυτοί διαθέτουν ενσωματωμένο ηλεκτρονικό ballast.
- Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού με κάλυκα δύο ακίδων και ενσωματωμένο starter για σύνδεση σε ειδική λυχνολαβή με εξωτερικό μαγνητικό ballast και
- Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού με κάλυκα τεσσάρων ακίδων για σύνδεση σε ειδική λυχνολαβή με εξωτερικό ηλεκτρονικό ballast. Η εν λόγω κατηγορία κρίνεται η καταλληλότερη για διαβάθμιση φωτισμού.

Οι λαμπτήρες φθορισμού με ηλεκτρονική έναυση και εξωτερικό ηλεκτρονικό ballast υπερτερούν των ηλεκτρομαγνητικών λαμπτήρων στο ότι έχουν την δυνατότητα διαβάθμισης του φωτισμού, παρουσιάζουν μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και επιμηκύνουν την διάρκεια ζωής του λαμπτήρα.

Πλεονεκτήματα των συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού, είναι η απόδοσή τους (40-80 Lm/W), η ανάπτυξη μικρών θερμοκρασιών, η απόδοση φυσικού φωτός καθώς και η μικρή απαίτηση για συντήρηση. Η διάρκεια ζωής τους ανέρχεται περίπου στις 10.000 ώρες.

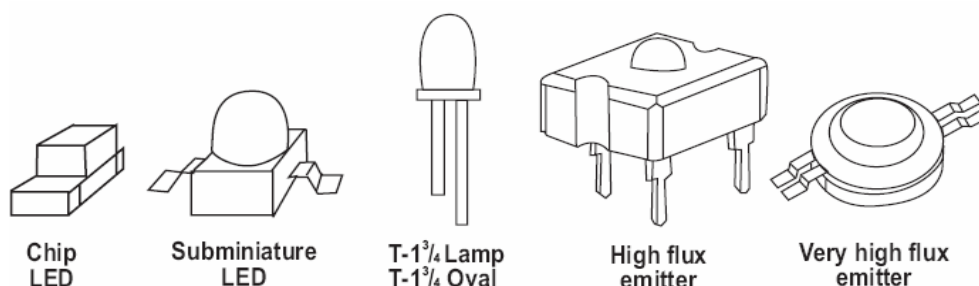
Η εν λόγω κατηγορία λαμπτήρων φθορισμού όμως παρουσιάζει και σημαντικά μειονεκτήματα, Αυτά είναι το υψηλό κόστος, αλλά και ο όγκος και το βάρος τους (ανά μονάδα αποδιδόμενης φωτεινής έντασης), καθώς εξαιτίας της μικρής φωτεινής έντασης που αποδίδουν ανά λαμπτήρα, απαιτείται η εγκατάσταση τουλάχιστον δύο λαμπτήρων μαζί σε κάθε φωτιστικό σημείο, γεγονός οικονομικά αρνητικό ιδίως για εγκαταστάσεις εκτεταμένου εύρους. Επίσης, η ποιότητα του τελικά παραγόμενου φωτός, επηρεάζεται σημαντικά από τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

## **2.4 ΛΑΜΠΗΤΗΡΕΣ LED**

### **2.4.1 Γενική περιγραφή λαμπτήρων LED**

Οι φωτοεκπέμπουσες λυχνίες (ή κοινώς LED) [2] είναι συνδυασμός ημιαγωγών p-n, όπου εκπέμπεται ακτινοβολία όταν εφαρμοσθεί τάση στους δύο ημιαγωγούς. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία μπορεί να είναι είτε υπέρυθρη είτε ορατή. Το φως που εκπέμπεται από τους ημιαγωγούς εκτείνεται σε ένα μεγάλο εύρος μηκών

κύματος, από το χαμηλό όριο ορατής ακτινοβολίας έως πολύ μεγάλα μήκη υπέρυθρης ακτινοβολίας. Το τελικό επιθυμητό χρωματικό αποτέλεσμα προκύπτει από τον συνδυασμό ημιαγωγικών υλικών.



**Σχήμα 2.4.** Λαμπτήρες LED [2].

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τα στοιχεία των LED, είναι ημιαγωγικά υλικά, υψηλής καθαρότητας με μικρές ποσότητες προσθέτων. Κατά βάση, δύο είδη προσθέτων χρησιμοποιούνται.

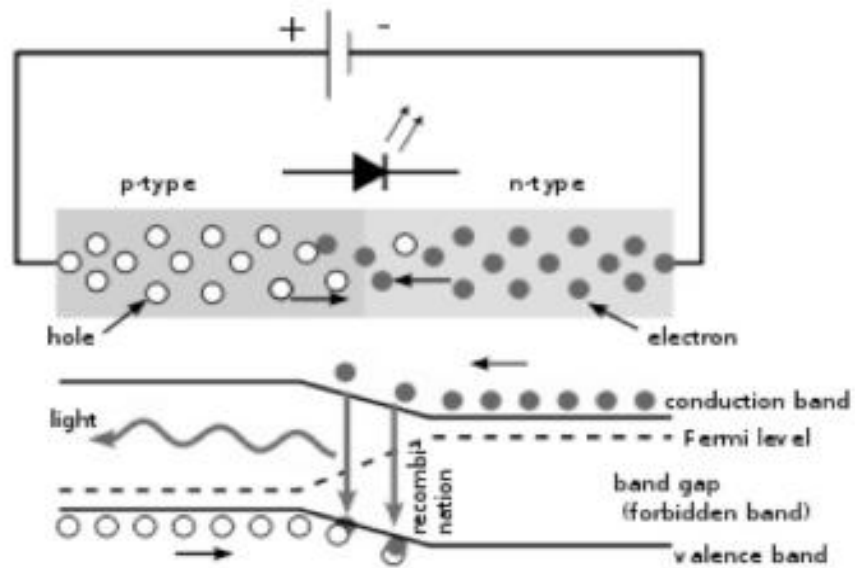
Το ένα παράγει υλικό τύπου-n, το οποίο έχει συγκεντρωμένη περίσσεια ηλεκτρονίων, ενώ το άλλο παράγει υλικό τύπου-p με συγκεντρωμένο έλλειμμα ηλεκτρονίων ή περίσσεια οπών, οι οποίες δρουν ως θετικά φορτία. Τα δύο αυτά υλικά διαχωρίζονται μέσα στο ίδιο κομμάτι του ημιαγωγού, σχηματίζοντας ανάμεσά τους διεπιφάνεια. Η διεπιφάνεια είναι της τάξης των  $0,25 \text{ mm}^2$ , το οποίο δίνει την δυνατότητα κατασκευής μικρών και λεπτών λαμπτήρων.

Τα είδη των ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου λαμπτήρων LED που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε μια εγκατάσταση φωτισμού, κατατάσσονται στις πιο κάτω γενικές κατηγορίες:

- τροφοδοτικά χωρίς τη δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (non dimmable),
- τροφοδοτικά με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (dimmable) και
- συσκευές συγκεντρωτικών λειτουργιών (all in one devices).

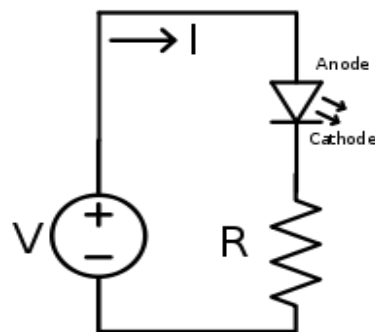
#### **2.4.2 Αρχή λειτουργίας λαμπτήρων LED**

Κατά την εφαρμογή της τάσης στα δύο ηλεκτρόδια, προκαλείται μετακίνηση των ηλεκτρονίων και των οπών προς την διεπιφάνεια, όπου κατά την επαφή τους προκαλείται παραγωγή φωτονίων.



Σχήμα 2.5. Αρχή λειτουργίας LED [2].

Η εφαρμοζόμενη τάση είναι 1-3 V και το ρεύμα που ρέει είναι 1-100 mA με αναφορά σε συνεχή μεγέθη. Κατά την λειτουργία των λαμπτήρων σε περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας, απαιτείται ψύξη ή διακοπόμενη λειτουργία, προκειμένου να αποφευχθεί υποβάθμιση του παραγόμενου φωτός.



Σχήμα 2.6. Απλό κύκλωμα λειτουργίας λαμπτήρων LED [2].

Το τελικό οπτικό αποτέλεσμα των λαμπτήρων LED, εξαρτάται από το υλικό των ημιαγωγών, τα πρόσθετα αλλά και από το περίβλημα του φωτιστικού σώματος.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως ημιαγωγοί είναι κύρια ενώσεις φωσφόρου, αργιλίου, γαλλίου και ινδίου ή ενώσεις αργιλίου, γαλλίου και αρσενίου.

### 2.4.3 Πλεονεκτήματα λαμπτήρων LED

Τα τελευταία χρόνια η τεχνική των LED, εξελίσσεται αλματωδώς και παρέχει μεγάλη αποτελεσματικότητα και εκπομπή φωτός, ενώ καλύπτει επαρκώς όλα τα είδη των νέων απαιτήσεων τόσο του γενικού, όσο και του τοπικού φωτισμού, αλλά και του φωτισμού των δρόμων (οδικός φωτισμός). Η ιδανική πρόβλεψη θα ήταν η παντελής αντικατάσταση των υφιστάμενων συμβατικών πηγών φωτισμού με LED στο κοντινό μέλλον.

Οι λυχνίες LED αποτελούν σχετικά μια νέα τεχνολογία στο πεδίο του φωτισμού και προσφέρουν μεγάλο χρόνο ζωής, στιβαρό και μικρό μέγεθος, χαμηλό κόστος συντήρησης, αλλά και ευκολία στον οπτικό έλεγχο.

Οι λαμπτήρες LED μπορούν να εξασφαλίσουν έως και 95% χαμηλότερη κατανάλωση, με μέση διάρκεια ζωής πάνω από 50000 ώρες, εξοικονομώντας έτσι ενέργεια και κατά συνεπεία χρήμα.

Ενδεικτικά όσον αφορά στον εν λόγω τύπο λαμπτήρων [9]:

- Μειώνουν την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος με την ίδια ή και καλύτερη απόδοση σε φωτισμό έως και 95%. Είναι πιο οικονομικές αν συγκριθούν με ένα λαμπτήρα φθορισμού της ίδιας φωτεινότητας.
- Δεν έχουν κόστος συντήρησης και δεν υπάρχει ανάγκη συχνής αντικαταστάσεως.
- Η μέση διάρκεια ζωής της είναι πάνω από 50000 ώρες.
- Δεν εκπέμπουν υψηλές θερμοκρασίες (λιγότερο από 65 βαθμούς Κελσίου).
- Δεν περιέχουν τοξικές και άλλες επικίνδυνες για τον ανθρώπινο οργανισμό ουσίες.
- Δεν είναι ευαίσθητες σε κραδασμούς και χτυπήματα.
- Δεν τρεμοπαίζουν.
- Παρέχουν άμεσα μέγιστη φωτεινότητα.
- Υπάρχει η δυνατότητα λειτουργίας με ρυθμιστή φωτισμού (dimmer).
- Μπορεί το κόστος απόκτησης τους να είναι φαινομενικά υψηλότερο αλλά η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σταδιακά θα αποσβέσει την διαφορά αυτή σε πολλαπλάσιο βαθμό.



- Οι λαμπτήρες LED αντικαθιστούν τους παλαιούς λαμπτήρες χωρίς να χρειάζεται να αλλάξετε το φωτιστικό σώμα.

Η τυπική αντιστοιχία φωτιστικής απόδοσης μεταξύ λαμπτήρα πυρακτώσεως, λαμπτήρα φθορισμού και λαμπτήρα Led είναι η ακόλουθη [10]:

- Λαμπτήρας πυρακτώσεως → 15 Lumen/Watt.
- Λαμπτήρας φθορισμού → 50 Lumen/Watt.
- Λαμπτήρας οικονομίας → 55 Lumen/Watt.
- Λαμπτήρας LED → 90 Lumen/Watt

Επομένως, για να καταλάβει κάποιος την οικονομία που παρέχουν οι λαμπτήρες LED, αρκεί να παρατηρήσει την ακόλουθη αναλογία [9]:

- Λαμπτήρας πυρακτώσεως (κοινή λάμπα) 1500 Lumen → Κατανάλωση 100 W
- Λαμπτήρας φθορισμού 1500 Lumen → Κατανάλωση 30 W.
- Λαμπτήρας οικονομίας 1500 Lumen → Κατανάλωση 28 W.
- Λαμπτήρας LED 1500 Lumen → Κατανάλωση 16,6 W.

Καταλήγοντας, οι νέες τεχνολογίας λαμπτήρες LED, αποτελούν ένα οικονομικό, οικολογικό και ποιοτικό προϊόν, με μεγάλο φάσμα εφαρμογών, που η χρήση τους μπορεί να αποβεί ωφέλιμη τόσο για επαγγελματίες όσο και για οικιακή χρήση σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση.

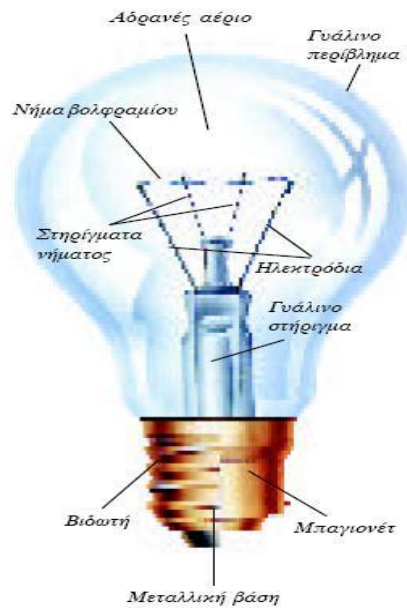
## **2.5 ΛΑΜΠΗΤΗΡΕΣ ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ**

### **2.5.1 Γενική περιγραφή λαμπτήρων πυρακτώσεως**

Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως [3] αποτελούν το αρχαιότερο είδος λαμπτήρα, με τον πρώτο εξ'αυτών να κατασκευάζεται τη δεκαετία του 1870 από τον Thomas Edison.

Ο λαμπτήρας πυρακτώσεως αποτελείται από τα εξής μέρη:

- το γυάλινο περίβλημα,
- τη μεταλλική βάση,
- τα ηλεκτρόδια,
- το νήμα βολφραμίου
- τα στηρίγματα του νήματος και
- το γυάλινο στήριγμα των ηλεκτροδίων.



**Σχήμα 2.7.** Λαμπτήρας πυρακτώσεως και δομικά στοιχεία [3].

Το γυάλινο περίβλημα προστατεύει το νήμα από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Αυτό πετυχαίνεται με την αφαίρεση του αέρα από το εσωτερικό του και την πλήρωσή του με αδρανές αέριο (άζωτο, αργό ή κρυπτό) υπό πίεση λίγο μικρότερη της ατμοσφαιρικής.

Με την αντικατάσταση του ατμοσφαιρικού αέρα από αδρανές αέριο αποφεύγεται η οξείδωση του νήματος βολφραμίου. Επίσης, η παρουσία του αερίου περιορίζει την εξάχνωση του νήματος κατά τη διάρκεια λειτουργίας. Αν επικρατούσε κενό, η εξάχνωση θα ήταν εντονότερη και το νήμα θα καταστρεφόταν πολύ γρήγορα.

Η μεταλλική βάση (βιδωτή ή μπαγιονέτ) σχεδιάστηκε από τον Thomas Edison στην προσπάθειά του να καταστήσει τη διαδικασία τοποθέτησης ή αφαίρεσης του λαμπτήρα σχετικά εύκολη και ακίνδυνη.

Τα ηλεκτρόδια είναι φτιαγμένα από νικέλιο και συνδέουν την πηγή τροφοδοσίας με το νήμα μέσω της μεταλλικής βάσης.

Το νήμα βολφραμίου είναι το σώμα που φωτοβολεί, όταν πυρακτωθεί με τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος. Είναι διαμορφωμένο σε πολύ πυκνές σπείρες, ώστε να πετυχαίνουμε: την τοποθέτηση νήματος μεγάλου μήκους (που φτάνει το ένα μέτρο) στον περιορισμένο όγκο του λαμπτήρα και την ελαχιστοποίηση απαγωγής θερμότητας, κατά τη λειτουργία του λαμπτήρα, στο εσωτερικό των σπειρών, με αποτέλεσμα το νήμα να διατηρείται θερμότερο και να εκπέμπει περισσότερο φως.

Το βολφράμιο προτιμήθηκε για την κατασκευή του νήματος των λαμπτήρων πυρακτώσεως εξαιτίας του γεγονότος ότι όσο πιο θερμό είναι ένα σώμα τόσο πιο έντονα ακτινοβολεί. Έπρεπε λοιπόν το υλικό κατασκευής του νήματος να έχει υψηλό σημείο τήξης. Το βολφράμιο, με σημείο τήξης τους 3380 °C, καλύπτει αυτή την προϋπόθεση.

Όσον αφορά στα στηρίγματα του νήματος, αυτά κρατούν το νήμα στη θέση του και το προστατεύουν από σπάσιμο, όταν βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία.

Τέλος, το γυάλινο στήριγμα έχει παγιδευμένα τα ηλεκτρόδια και τα στηρίγματα του νήματος.

### **2.5.2 Αρχή λειτουργίας λαμπτήρων πυρακτώσεως**

Κλείνοντας το κύκλωμα, στο οποίο είναι συνδεδεμένος ο λαμπτήρας, εφαρμόζεται στα άκρα του μια τάση. Για να λειτουργεί κανονικά ο λαμπτήρας, πρέπει να εφαρμόσουμε στα άκρα του τάση ίση με την τάση κανονικής λειτουργίας του.

Ο λαμπτήρας τότε διαρρέεται από ρεύμα, ώστε το νήμα βολφραμίου να θερμαίνεται στους 2500° C περίπου.

Τα άτομα του βολφραμίου διεγείρονται και ανέρχονται σε υψηλές στάθμες ενέργειας (E4 και E5 στο ακόλουθο σχήμα), στις οποίες δεν μπορούν να παραμείνουν, με αποτέλεσμα να επιστρέφουν στις ενδιάμεσες στάθμες.

Κάθε φορά που ένα άτομο «πέφτει» σε στάθμη χαμηλότερης ενέργειας, εκπέμπεται φως. Η συχνότητα του φωτός που εκπέμπεται είναι [6]:

$$f = \Delta E / h$$

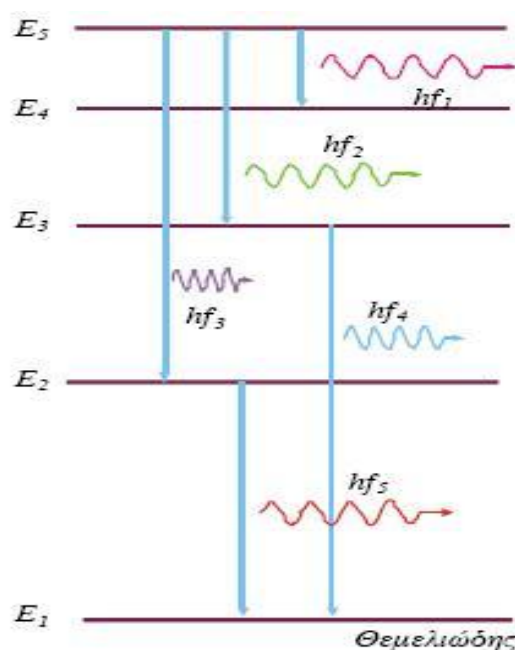
Όπου

- $h$  η σταθερά του Planck και
- $\Delta E$  η ενεργειακή μεταβολή.

Επειδή τα άτομα ‘πέφτουν’ από μία στάθμη σε άλλη με τυχαίο τρόπο και σε τυχαίες χρονικές στιγμές, εκπέμπεται από το πυρακτωμένο νήμα ένα τεράστιο πλήθος φωτονίων με διαφορετικές συχνότητες, που δεν ξεκινούν όλα μαζί.

Η αποδιέγερση των ατόμων βολφραμίου έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή φωτονίων στην περιοχή του ορατού φωτός κατά ένα μικρό ποσοστό (περίπου 10%). Το υπόλοιπο εκπέμπεται ως υπέρυθη ακτινοβολία, η οποία θερμαίνει το περιβάλλον.

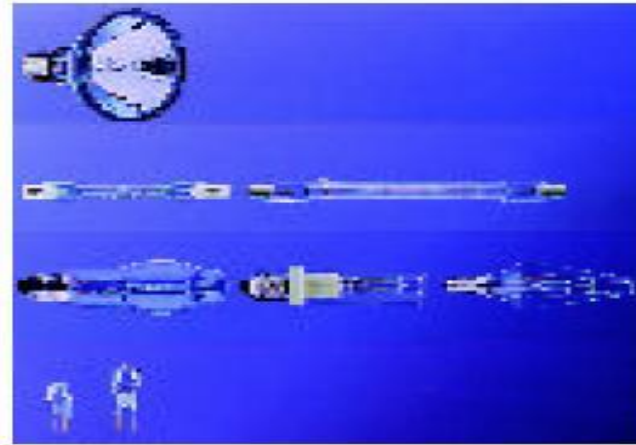
Όπως γίνεται φανερό από τα παραπάνω, η απόδοση ενός κοινού λαμπτήρα σε φως είναι πολύ μικρή. Επιπλέον, η διάρκεια ζωής του κυμαίνεται από 750 έως 1500 ώρες λειτουργίας και εξαρτάται από την ισχύ του.



**Σχήμα 2.8.** Διάγραμμα λειτουργίας λαμπτήρα πυρακτώσεως μέσω της αποδιέγερσης των ατόμων βολφραμίου στις διάφορες ενεργειακές στάθμες [3].

### 2.5.3 Βελτίωση λαμπτήρων πυρακτώσεως – λαμπτήρες αλογόνου

Στην προσπάθειά τους για αύξηση της απόδοσης αλλά και της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων πυρακτώσεως, οι ερευνητές κατασκεύασαν τους λαμπτήρες χαλαζία - ιωδίου, γνωστούς ως λαμπτήρες αλογόνου.

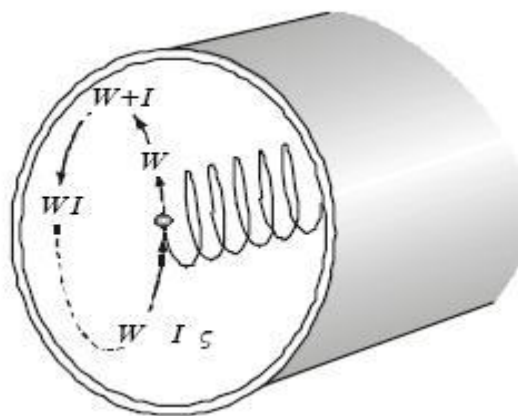


**Σχήμα 2.8.** Τύποι λαμπτήρων αλογόνου [2].

Σ' αυτούς τους λαμπτήρες, η θερμοκρασία του νήματος κατά τη λειτουργία τους, είναι περίπου 3100 °C, ενώ του γυάλινου περιβλήματος, που είναι από χαλαζία, 700 °C. Στους 3100 °C, το νήμα βολφραμίου έχει απόδοση φωτός διπλάσια των συνηθισμένων λαμπτήρων πυρακτώσεως. Στη θερμοκρασία αυτή αυξάνεται η ταχύτητα εξάχνωσης του βολφραμίου και έτσι η διάρκεια ζωής του λαμπτήρα μειώνεται.

Γεμίζοντας όμως το εσωτερικό του γυάλινου περιβλήματος με αδρανές αέριο και με μικρή ποσότητα ατμών ιωδίου, τα εξαχνούμενα άτομα βολφραμίου επανατοποθετούνται στο νήμα.

Η διαδικασία γενικά έχει ως εξής: όταν μόρια ιωδίου ( $I_2$ ) πλησιάζουν στο πυρακτωμένο νήμα, διασπώνται σε άτομα ιωδίου (I) και στη συνέχεια διαχέονται προς τα τοιχώματα του περιβλήματος. Εκεί, ευνοείται ο σχηματισμός ιωδιούχου βολφραμίου (WI), το οποίο σε αέρια κατάσταση επιστρέφει στο νήμα.



**Σχήμα 2.9.** Κύκλος αλογόνου στους λαμπτήρες αλογόνου [2].

Στην περιοχή αυτή λόγω υψηλής θερμοκρασίας, διασπάται σε βολφράμιο το οποίο επικάθεται στο νήμα, και σε ιώδιο, το οποίο ακολουθεί τον ίδιο κύκλο. Με άλλα λόγια, έχουμε καταλυτική δράση του ιωδίου στην επανασύσταση του νήματος.

Με τη διαδικασία αυτή, εκτός του ότι ‘αναζωογονείται’ το νήμα με αποτέλεσμα την αύξηση της ζωής του λαμπτήρα, αποφεύγεται και το μαύρισμα του περιβλήματος, που παρατηρείται στους κοινούς λαμπτήρες από την προσκόλληση βολφραμίου στο εσωτερικό του.

## **2.6 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ**

### **2.6.1 Γενική περιγραφή λαμπτήρων υδρογόνου υψηλής πίεσης**

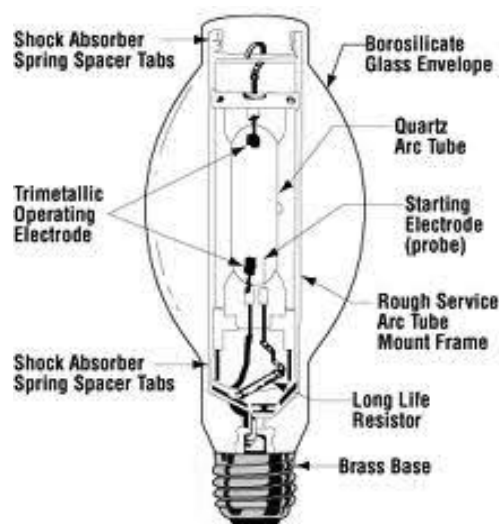
Στους λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης [3], η παραγωγή του φωτός επιτυγχάνεται από τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσω των ατμών υδραργύρου. Λόγω του γεγονότος ότι ο υδράργυρος έχει χαμηλή πίεση εξάτμισης σε θερμοκρασία δωματίου, και ακόμη χαμηλότερη όταν έχει κρύο, γίνεται χρήση ενός μικρού μέρους αργού, το οποίο ιονίζεται ευκολότερα, για την διευκόλυνση της έναυσης. Το αρχικό τόξο σχηματίζεται από τον ιονισμό του αργού και η θερμότητα την οποία παράγει προκαλεί τη μερική εξάτμιση του υδραργύρου, με τη διαδικασία αυτή να επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί η ατμοποίηση όλου του υδραργύρου.

Οι περισσότεροι λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης χρησιμοποιούν για την κατασκευή τους δυο περιβλήματα:

- το εσωτερικό περίβλημα το οποίο περιβάλλει το σχηματιζόμενο τόξο, και
- το εξωτερικό περίβλημα το οποίο:
  - Προστατεύει το σωλήνα εκκένωσης από εξωτερικές επιδράσεις και αλλαγές της θερμοκρασίας.
  - Περιέχει αδρανές αέριο το οποίο αποτρέπει την οξείδωση των εσωτερικών τμημάτων και επιπροσθέτως αυξάνει την τάση αποκοπής.
  - Λειτουργεί σαν φίλτρο για την απομόνωση της ακτινοβολίας συγκεκριμένων μηκών κύματος και συγκεκριμένα των UV-B και UV-C.

Τα δομικά συστατικά ενός λαμπτήρα υδραργύρου υψηλής πίεσης είναι τα εξής:

- Σωλήνας εκκένωσης (ή σωλήνας τόξου): Πρόκειται για τον κύριο σωλήνα του λαμπτήρα στον οποίο λαμβάνει χώρα η δημιουργία τόξου
- Βοηθητικός σωλήνας: Περιλαμβάνει τον πρώτο σωλήνα και είναι επιστρωμένος με φθοριούχες ουσίες
- Ηλεκτρόδια: Κύρια και βοηθητικά ηλεκτρόδια
- Γυάλινο περίβλημα, συνήθως οβάλ σχήματος
- Βάση
- Αέριο και σταγόνα υδραργύρου, των οποίων οι ιδιότητες εξυπηρετούν τη διαδικασία της εκκένωσης



Σχήμα 2.10. Δομή λαμπτήρα υδραργύρου υψηλής πίεσης [3].

### 2.6.2 Αρχή λειτουργίας και χαρακτηριστικά λαμπτήρων υδρογόνου υψηλής πίεσης

Η εκκένωση στους λαμπτήρες υδραργύρου λαμβάνει χώρα στο σωλήνα εκκένωσης, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από χαλαζία και περιλαμβάνει μια ελάχιστη ποσότητα υδραργύρου κι ένα αδρανές αέριο, συνήθως αργό, προς δευκόλυση της δημιουργίας τόξου έναυσης.

Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε άκρο του σωλήνα βρίσκεται ένα κύριο ηλεκτρόδιο και ένα βοηθητικό ηλεκτρόδιο ή ηλεκτροδιο εκκίνησης. Τα ηλεκτρόδια κατά κανόνα είναι τύπου οξειδίου μετάλλου στα οποία το υλικό εκπομπής είναι εμποτισμένο μέσα

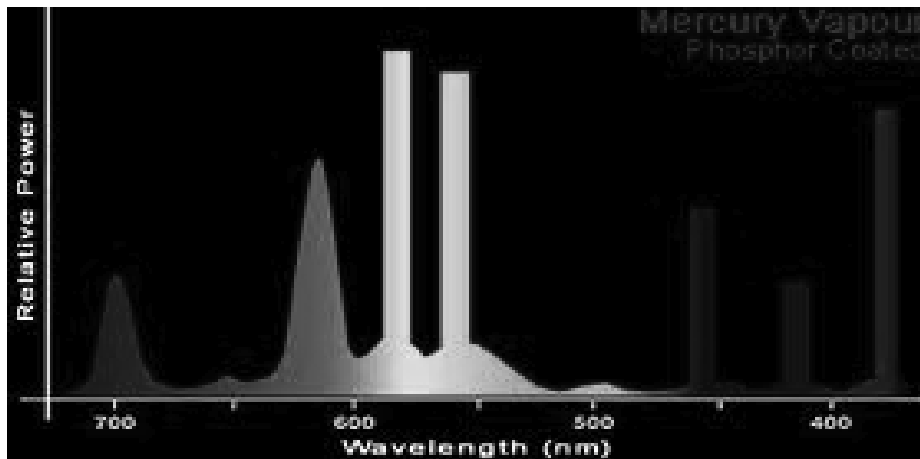
σε σπειροειδές σύρμα βολφραμίου. Κατά την εκκίνηση του λαμπτήρα, μία μεγάλη διαφορά δυναμικού αναπτύσσεται μεταξύ του κύριου και του βοηθητικού ηλεκτροδίου με αποτέλεσμα τον ιονισμό του αερίου. Ο ιονισμός του αερίου ακολουθείται από τη δημιουργία τόξου μεταξύ των δύο κύριων, πλέον, ηλεκτροδίων.

Η αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του σωλήνα που προκαλείται από την ανωτέρω διαδικασία οδηγεί στη σταδιακή εξάτμιση του υδραργύρου και κατά συνέπεια στην αύξηση της πίεσης του αερίου, η οποία μπορεί να κυμανθεί από 200 kPa μέχρι και 400 kPa. Ο χρόνος που απαιτείται μέχρι να εξατμιστεί ο υδράργυρος και ο λαμπτήρας να αποδώσει το 80% της μέγιστης φωτεινής του ροής είναι περίπου 4 λεπτά (χρόνος έναυσης). Στην περίπτωση που ο λαμπτήρας σβήσει, ο χρόνος που απαιτείται μέχρι την ψύξη του αερίου ώστε να μπορεί να δημιουργηθεί εκ νέου τόξο (χρόνος επανέναυσης) κυμαίνεται μεταξύ 3 και 7 λεπτών.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται κατά τη λειτουργία των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης ανήκει κατά ένα μέρος στο ορατό φάσμα, αλλά ένα σημαντικό τμήμα της ανήκει στο υπεριώδες φάσμα. Συνήθως ο σωλήνας εκκένωσης περιλαμβάνεται μέσα σε ένα δεύτερο σωλήνα, ο οποίος επικαλύπτεται με μία ειδική φωσφορίζουσα πούδρα. Η πούδρα φιλτράρει την υπεριώδη ακτινοβολία με τέτοιο τρόπο ώστε να τη μετατρέπει σε ορατό φως. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι λαμπτήρες υδραργύρου που δε διαθέτουν αυτή την ειδική επίστρωση εκπέμπουν λιγότερο φως από τους λαμπτήρες που τη διαθέτουν.

Με βάση τα παραπάνω, οι πλέον ευρέως διαδεδομένοι λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης, είναι επικαλυμμένοι με φώσφορο ο οποίος εκπέμπει ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (πορτοκαλί - κόκκινο). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται βελτίωση της απόδοσης και του προσδιορισμού των χρωμάτων. Ο φώσφορος είναι δυνατό να αναμειχθεί και με άλλα στοιχεία με σκοπό να παραχθούν πιο ψυχρά ή πιο θερμά χρώματα.





Σχήμα 2.11. Φάσμα ακτινοβολίας λαμπτήρα υδραργύρου υψηλής πίεσης [3].

Η μορφή των εμπορικά διαθέσιμων λαμπτήρων υδραργύρου υψηλής πίεσης είναι δυνατό να είναι τύπου κώδωνα ή τύπου επιμήκους σωλήνα. Βασικό μειονέκτημα τους είναι η σταδιακή υποβάθμιση της φωτεινής έντασης σε σχέση με το χρόνο λειτουργίας. Σε πλήθος περιπτώσεων, οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης λειτουργούν για πολύ καιρό μετά τον εκτιμώμενο χρόνο λειτουργίας, αλλά η απόδοση φωτεινής ροής (Lm/W) φθίνει, δηλαδή για την ίδια παροχή ισχύος αποδίδουν πολύ πιο θαμπό φως.

Άλλο ένα μειονέκτημα το οποίο παρουσιάζουν οι λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης είναι το γεγονός ότι αποδίδουν φωτισμό κυανοπράσινης απόχρωσης

Τέλος, ο συγκεκριμένος τύπος λαμπτήρων προτιμάται σε περιπτώσεις ιδιαίτερα χαμηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος

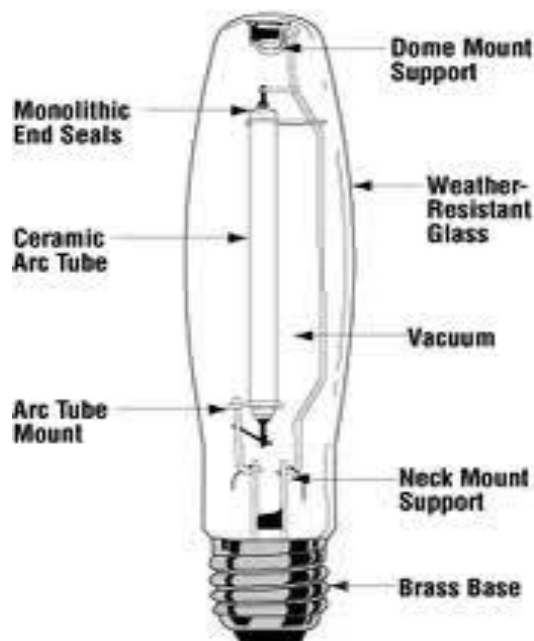
## 2.7 ΛΑΜΠΗΤΗΡΕΣ ΝΑΤΡΙΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

### 2.7.1 Λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης

Οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης [3] βασίζουν τη λειτουργία τους στην παραγωγή φωτός με τη βοήθεια ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο διαρρέει τους ατμούς νατρίου. Οι λαμπτήρες αυτοί είναι κατασκευασμένοι από δυο σωλήνες, ο ένας μέσα στον άλλον.

Η κατασκευή του εσωτερικού σωλήνα πραγματοποιείται από πολυκρυσταλλική αλουμίνα, η οποία είναι ανθεκτική στο νάτριο σε υψηλές θερμοκρασίες και έχει υψηλό σημείο τήξης. Η πολυκρυσταλλική αλουμίνα είναι

διαφανής και παρέχει μεγάλη απόδοση εκπομπής φωτός (άνω του 90%). Η κατασκευή ενός λαμπτήρα νατρίου υψηλής πίεσης δίδεται στο ακόλουθο σχήμα.

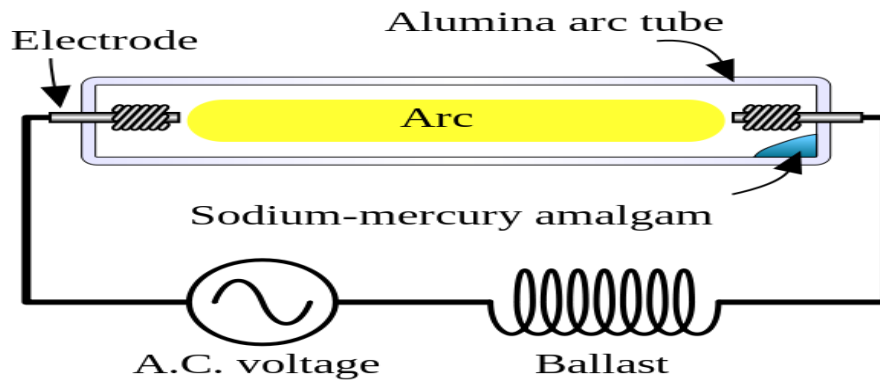


**Σχήμα 2.12.** Λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης [3].

Η πολυκρυσταλλική αλουμίνα δεν είναι δυνατό να λιώσει δίχως να σπάσει και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ένα ενδιάμεσο σφράγισμα το οποίο είναι δυνατό να είναι κατασκευασμένο είτε από γυαλί είτε από ασφάλι. Τα υλικά αυτά προσδίδουν στην αλουμίνα μεγαλύτερη αντοχή, ενώ υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί και κεραμικό σφράγισμα.

Ως αέριο έναυσης περιέχεται στον σωλήνα ξένο, καθώς και ένα μίγμα νατρίου και υδραργύρου, το οποίο καθίσταται μερικώς ατμοποιημένο κατά την λειτουργία του λαμπτήρα. Ο υδράργυρος λειτουργεί ως αέριο απομόνωσης και αυξάνει την πίεση και την τάση λειτουργίας του λαμπτήρα.

Το εξωτερικό γυάλινο κάλυμμα είναι κενό και ο σκοπός του είναι η αποτροπή της αντίδρασης των μεταλλικών μερών του εσωτερικού σωλήνα, και η διατήρηση της θερμοκρασίας του, μέσω της απομόνωσης του από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.



Σχήμα 2.13. Διάγραμμα λαμπτήρα νατρίου υψηλής πίεσης [3].

Λόγω της μικρής διαμέτρου των σωλήνων των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης, δεν είναι δυνατό να τοποθετηθεί ηλεκτρόδιο έναυσης εντός του σωλήνα με αποτέλεσμα ο λαμπτήρας να τροφοδοτείται με παλμό υψηλής συχνότητας. Επίσης, υπάρχουν ειδικοί λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης οι οποίοι χρησιμοποιούν ένα ειδικό μίγμα αερίων έναυσης, το οποίο αποτελεί συνδυασμό από αργό και νέο και απαιτεί χαμηλότερη τάση έναυσης σε σχέση με αυτή την οποία θα απαιτούσε κάθε αέριο χωριστά.

Η απουσία ηλεκτρόδιου έναυσης από τον λαμπτήρα ατμών νατρίου υψηλής πίεσης απαιτεί τη χρήση ενός παλμού υψηλής τάσης και συχνότητας ο οποίος ιονίζει το ξένο, το οποίο είναι το αέριο έναυσης. Μετά την έναρξη λειτουργίας, ο λαμπτήρας θερμαίνεται έως ότου επιτύχει τη μέγιστη απόδοση του. Η διάρκεια της διαδικασίας αυτής είναι περίπου δέκα λεπτά, και το χρώμα του εκπεμπόμενου φωτός κατά τη διαδικασία αυτή μεταβάλλεται έως ότου να σταθεροποιηθεί.

Η τάση των λαμπτήρων ατμών νατρίου υψηλής πίεσης μεταβάλλεται με την ισχύ και για το λόγο αυτό οι παράμετροι λειτουργίας έχουν καθοριστεί για μέγιστη και ελάχιστη ισχύ. Για την επίτευξη της έναυσης του τόξου, απαιτείται ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα έναυσης το οποίο τροφοδοτεί ένα παλμό τάσης και ευθύνεται για την παραγωγή περίπου 4000V πλάτους τάσης για ένα λαμπτήρα 1000W και 2500V πλάτους τάσης για λαμπτήρες άλλης ισχύος, με συχνότητα τουλάχιστον μια φορά για κάθε κύκλο στα 60Hz έως ότου να λειτουργήσει ο λαμπτήρας.

Η ακτινοβολία την οποία εκπέμπουν οι λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης τοποθετείται σε όλο το ορατό φάσμα, εν αντιθέσει με τους λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης οι οποίοι εκπέμπουν κυρίως στα 589 nm. Η αύξηση της πίεσης του νατρίου, προκαλεί αύξηση του ποσοστού της ακτινοβολίας σε μεγαλύτερα

μήκη κύματος από την άλλη όμως έχει ως αρνητική συνέπεια τη μείωση της διάρκειας ζωής και της απόδοσης.

Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης διαθέτουν ηλεκτρόδια παρόμοια με τα ηλεκτρόδια τα οποία χρησιμοποιούνται στους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου. Το γεγονός αυτό, συνοδευόμενο και από τη μικρότερη διάμετρο του τόξου του λαμπτήρα, έχει ως αποτέλεσμα την πολύ καλή διατήρηση των lumen για τους λαμπτήρες ατμών νατρίου.

Η διάρκεια ζωής λαμπτήρων ατμών νατρίου υψηλής πίεσης αντιμετωπίζει το πρόβλημα της αργής αύξησης της τάσης του λαμπτήρα η οποία επιδρά αρνητικά στην διάρκεια ζωής τους. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται από το μαύρισμα του γυαλιού εξαιτίας των εκπομπών του ηλεκτροδίου. Το μαύρισμα αυτό απορροφά ακτινοβολία, η οποία θερμαίνει τα άκρα του γυάλινου περιβλήματος και έχει ως αποτέλεσμα την εξάτμιση επιπρόσθετης ποσότητας νατρίου. Κατά συνέπεια παρατηρείται αύξηση της πίεσης και εν συνεχεία της τάσης. Η αύξηση της τάσης οφείλεται επίσης και σε άλλες αιτίες όπως, η διάχυση του νατρίου από τα στεγανοποιημένα άκρα του σωλήνα και η είσοδος σκόνης και ακαθαρσιών εντός του σωλήνα.

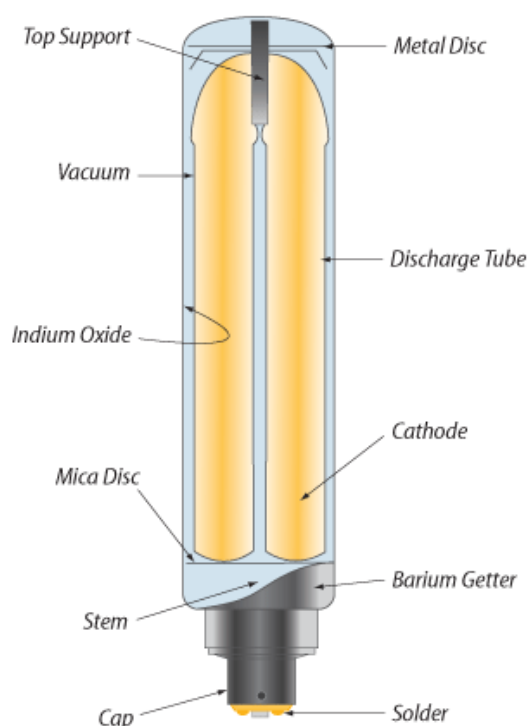
Ο χρόνος ζωής των λαμπτήρων ατμών νατρίου υψηλής πίεσης είναι περίπου 24.000 ώρες αν και ο χρόνος αυτός μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τον κατασκευαστή.

### **2.7.2 Λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης**

Σήμερα, τα εμπορικά διαθέσιμα είδη λαμπτήρων νατρίου χαμηλής πίεσης [3] είναι ο επιμήκης και ο λαμπτήρας σε σχήμα U.

Ο επιμήκης λαμπτήρας περιλαμβάνει σωλήνα εκκένωσης με δυο άκρα, με καλά σφραγισμένα ηλεκτρόδια σε κάθε άκρο. Ο σωλήνας εκκένωσης του είναι κατασκευασμένος από ειδικό γυαλί, το οποίο είναι ανθεκτικό στο νάτριο και είναι καλυμμένος από ένα εξωτερικό περίβλημα μέσα στο οποίο υπάρχει κενό. Ο τύπος U περιλαμβάνει τον σωλήνα εκκένωσης αναδιπλωμένο σε σχήμα φουρκέτας με τα άκρα του να είναι πολύ κοντά το ένα στο άλλο.

## Low-Pressure Sodium



**Σχήμα 2.14.** Διάγραμμα λαμπτήρα νατρίου χαμηλής πίεσης [3].

Η ύπαρξη μεταλλικού νατρίου στους λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης, σημαίνει ότι το μέταλλο τείνει να στερεοποιηθεί στα ψυχρότερα σημεία του σωλήνα τα οποία βρίσκονται στην περιοχή αναδίπλωσης του. Ο έλεγχος του φαινομένου αυτού είναι απαραίτητος καθώς είναι δυνατό το συσσωρευμένο νάτριο στα ψυχρά σημεία να οδηγήσει σε σχηματισμό τμημάτων τόξου νέου και αργού λόγω του γεγονότος ότι δεν θα υπάρχει επαρκές ατμοποιημένο νάτριο. Υπάρχουν δυο τρόποι ελέγχου του φαινομένου:

- Η κατασκευή λακκακίων στην εξωτερική επιφάνεια του σωλήνα εκκένωσης με σκοπό τη δημιουργία εναλλακτικών ψυχρών σημείων τα οποία είναι περισσότερο ομοιόμορφα κατανεμημένα.
- Η χρήση ενός θερμοανακλαστικού φιλμ κατά μήκος της εσωτερικής επιφάνειας του εξωτερικού περιβλήματος.

Στους λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης η δημιουργία του τόξου οφείλεται στο αεριοποιημένο νάτριο. Το φως το οποίο παράγεται από το τόξο νατρίου χαμηλής πίεσης είναι σχεδόν μονοχρωματικό και αποτελείται από μια διπλή γραμμή κοντά στο

κέντρο του ορατού φάσματος στα 589,0 και 589,6 nm. Το αέριο έναυσης είναι το νέο, με μικρά πρόσθετα αργού, ξένου ή ηλίου.

Για την επίτευξη της μέγιστης απόδοσης μετατροπής της ηλεκτρικής ισχύος σε φωτεινή ροή, η πίεση του νατρίου είναι απαραίτητο να είναι της τάξεως των 0,7Pa, η οποία αντιστοιχεί σε θερμοκρασία του τοιχώματος του σωλήνος εκκένωσης περίπου 260 °C. Πιθανή απόκλιση από την προαναφερθείσα πίεση είναι δυνατό να επηρεάσει την απόδοση. Για την διατήρηση της θερμοκρασίας λειτουργίας για την συγκεκριμένη πίεση, ο σωλήνας εκκένωσης, συνήθως βρίσκεται εν κενό.

Ο απαιτούμενος χρόνος ανάμεσα στην έναυση και στην μέγιστη απόδοση κυμαίνεται από 7 έως 15 λεπτά. Έπειτα από την έναρξη λειτουργίας του λαμπτήρα, το εκπεμπόμενο φως χαρακτηρίζεται από χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα λόγω της εκκένωσης του νέου, και βαθμιαία μεταβάλεται σε κίτρινο κατά την εξάτμιση του νατρίου. Η θερμή επανεκκίνηση κρίνεται ικανοποιητική και οι περισσότεροι λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης είναι δυνατό να ανάψουν αμέσως μετά τη διακοπή και επανατροφοδότηση ηλεκτρικής ισχύος.

Ο χρόνος ζωής των λαμπτήρων νατρίου χαμηλής πίεσης, όπως και στην περίπτωση των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης, είναι περίπου 24.000 ώρες αν και ο χρόνος αυτός επίσης μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τον κατασκευαστή.

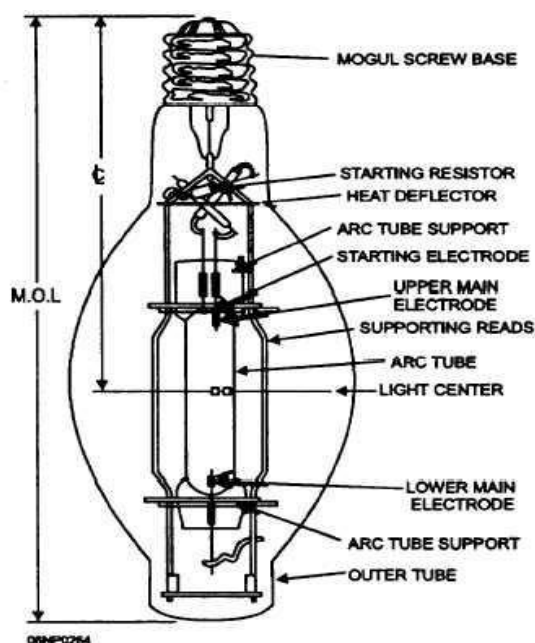
## **2.8 ΛΑΜΠΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΛΟΓΟΝΙΔΙΩΝ**

Οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων [3] παρουσιάζουν ομοιότητες ως προς την κατασκευή τους με τους λαμπτήρες υδραργύρου και η βασική διαφοροποίησή τους οφείλεται στο γεγονός ότι ο σωλήνας εκκένωσης περιέχει διάφορα μεταλλικά αλογονίδια επιπρόσθετα με τον υδράργυρο και το αργό.

Όταν οι ατμοί των αλογονιδίων του μετάλλου πλησιάσουν τον πυρήνα της εκκένωσης, ο οποίος έχει πολύ υψηλή θερμοκρασία, πραγματοποιείται διάσπασή τους σε αλογόνα και μέταλλα. Τα μέταλλα αποδίδουν ακτινοβολία στο δικό τους φάσμα, ενώ τα άτομα αλογόνου μεταβαίνουν προς τα τοιχώματα του σωλήνα τα οποία είναι πιο ψυχρά, επανασυνδέονται και επαναλαμβάνεται ο κύκλος.

Οι εμπορικά διαθέσιμοι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων εμφανίζουν αποδόσεις από 75 έως 125 lm/W, χωρίς να περιλαμβάνονται στα ανωτέρω νούμερα οι απώλειες των ballast. Αξίζει να σημειωθεί ότι σχεδόν όλα τα είδη των λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων με λευκό φως παράγουν απόδοση χρώματος εξίσου καλή ή

και ανώτερη από αυτή την οποία παράγουν οι λαμπτήρες υδραργύρου με επικάλυψη φωσφόρου.



Σχήμα 2.15. Λαμπτήρας μεταλλικών αλογονιδίων [5]

Τα ακτινοβολούντα μέταλλα τα οποία χρησιμοποιούνται, έχουν επιλεκτικά φασματικά χαρακτηριστικά εκπομπής. Μερικά από αυτά παράγουν ένα μήκος κύματος και άλλα ακτινοβολούν ένα πλήθος διακριτών μηκών κύματος. Για να επιτευχθεί ένα πλήρες και ισορροπημένο φάσμα, γίνεται χρήση δυο βασικών συνδυασμών αλογόνων, σκανδίου - νατρίου και δυσπροσίου - ολμίου – θαλίου.

Με την τεχνική των μεταλλικών αλογονιδίων είναι δυνατό να παραχθούν συγκεκριμένα χρώματα. Νάτριο για πορτοκαλί, θάλιο για πράσινο, ίνδιο για μπλε και σίδηρος για υπεριώδες. Οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων διατίθενται επίσης και με επικάλυψη φωσφόρου στο εξωτερικό περίβλημα, με σκοπό την επιπρόσθετη ρύθμιση του χρώματος καθώς επίσης και για τη μείωση της θερμοκρασίας του χρώματος του λαμπτήρα.

Η μέθοδος έναυσης της πελιοψηφίας των λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων πάνω από 150W είναι παρόμοια με αυτή των λαμπτήρων υδραργύρου, όμως η παρουσία των αλογονιδίων έχει ως συνέπεια η απαιτούμενη τάση έναυσης για αρκετούς τύπους λαμπτήρων να είναι υψηλότερη σε σχέση με την απαιτούμενη τάση έναυσης στους λαμπτήρες υδραργύρου.

Κατά την εκκίνηση και κατά τη θέρμανση του λαμπτήρα παρατηρούνται μεταβολές στο χρωματισμό του. Οι μεταβολές αυτές προκαλούνται από την εξάτμιση των αλογόνων έως ότου να αποκατασταθεί το χρώμα ισορροπίας. Ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για χρωματική και ηλεκτρική ισορροπία κυμαίνεται από 2 έως 10 λεπτά.

Το ηλεκτρικό τόξο στους λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων, όπως σε όλους τους λαμπτήρες εκκένωσης αερίων, παρουσιάζει την ιδιαιτερότητα ότι όσο αυξάνεται το ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο διαπερνά τον λαμπτήρα η τάση στα άκρα του μειώνεται, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η χρήση ballast για την μείωση του ρεύματος του τόξου, καθώς σε διαφορετική περίπτωση το ηλεκτρικό ρεύμα θα αύξανε και θα προκαλούσε την καταστροφή του λαμπτήρα. Τα ballast τα οποία χρησιμοποιούνται για τους λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων είναι πιθανό να είναι είτε ballast τα οποία βασίζονται σε επαγωγέα ‘πυρήνα και πηνίου’, είτε ηλεκτρονικά ballast.

Τέλος, οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων έχουν υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας από τους λαμπτήρες υδραργύρου, με συνέπεια ο χρόνος ψύξης και μείωσης της πίεσης του ατμού να είναι μεγαλύτερος. Ο χρόνος επανέναυσης για τον λόγο αυτό είναι περίπου 15 λεπτά. Η μέση διάρκεια ζωής ενός λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων κυμαίνεται ευρέως, ξεκινώντας από 7.500 και φτάνοντας ακόμα και τις 20.000 ώρες.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΤΟ BALLAST ΩΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ DIMMING

#### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το τρίτο κεφάλαιο της εργασίας, αποτελεί μια αναφορά στο ballast ως στοιχείο της λειτουργίας του dimming.

#### 3.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ BALLAST

Το ballast [8] έχει δύο βασικές λειτουργίες: παρέχει μία υψηλή αρχική τάση έναυσης για να ανάψει ο λαμπτήρας και ρυθμίζει το ρεύμα του λαμπτήρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

Εν γένει, ένα ballast παράγει τις απαραίτητες συνθήκες στο κύκλωμα όσον αφορά στην τάση, το ρεύμα και την κυματομορφή ώστε να λάβει χώρα η έναυση και να λειτουργήσει ο λαμπτήρας.

#### 3.3 ΤΥΠΟΙ BALLAST

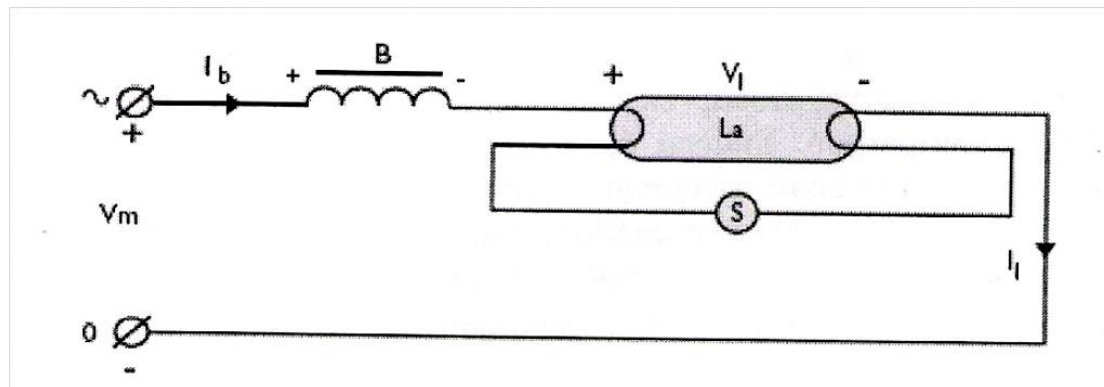
Σήμερα ουσιαστικά απαντώνται τρία βασικά είδη ballast: τα μαγνητικά, τα υβριδικά και τα ηλεκτρονικά. Τα ηλεκτρομαγνητικά συχνά αποκαλούνται στραγγαλιστικά πηνία λόγω κατασκευής και αποτελούνται από ένα απλό πηνίο και ένα μικρό εκκινητή, ενώ τα ηλεκτρονικά αναφέρονται ως ηλεκτρονικές διατάξεις έναυσης λαμπτήρων εκκενώσεως και αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό από ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά όργανα που εκτελούν συγκεκριμένες εργασίες ακριβείας

##### 3.3.1 Μαγνητικά ballast

Τα μαγνητικά μπάλλαστ είναι τύπου πυρήνα-πηνίου. Περιέχουν ένα μαγνητικό πυρήνα που αποτελείται από αρκετά στρώματα χαλύβδινων ελασμάτων περιελιγμένα με ελάσματα χαλκού. Τα μαγνητικά μπάλλαστ συνήθως έχουν μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας από τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ.

Τα μαγνητικά μπάλλαστ θέτουν σε λειτουργία τους λαμπτήρες στη συχνότητα της γραμμής δικτύου και είναι συνήθως η πιο φτηνή πρώτη επιλογή από άποψη κόστους για τους υπευθύνους. Τοποθετούνται σε σειρά με το λαμπτήρα και του παρέχουν την τάση έναυσης, ενώ σταθεροποιούν την εκκένωση. Οι σπείρες του και η συνολική του αντίσταση είναι υπολογισμένα ώστε να παρέχουν τις επιθυμητές συνθήκες λειτουργίας του λαμπτήρα και ισχύος.

Πολλές φορές, όπως στην περίπτωση λαμπτήρων φθορισμού, για να δοθεί στο λαμπτήρα μεγάλη τάση κατά την έναυση, δεν αρκεί μόνο το μαγνητικό μπάλλαστ. Υπάρχει και ένας πρόσθετος χωριστός μηχανισμός που έχει περιγραφεί ήδη, ο εκκινητής. Ο εκκινητής, όταν παρέχεται ρεύμα στο κύκλωμα, δεν αφήνει να εκτελεσθεί η εκκένωση. Όμως το ρεύμα που περνά από τα ηλεκτρόδια τα θερμαίνει και την κατάλληλη στιγμή, όταν ανοίξει ο εκκινητής, το ρεύμα παύει να διέρχεται απ' αυτά. Τότε το πηνίο λόγω αυτεπαγωγής εφαρμόζει μια μεγάλη τάση στα άκρα του λαμπτήρα. Όντας θερμά τα ηλεκτρόδια είναι εύκολο να πραγματοποιήσουν την έναυση.



**Σχήμα 3.1.** Διάταξη λαμπτήρα φθορισμού που οδηγείται από ηλεκτρομαγνητικό ballast με εκκινητή [8].

Υπάρχουν όμως και ballast με γρήγορη έναυση που θερμαίνουν τα ηλεκτρόδια με χωριστά κυκλώματα και η έναυση γίνεται χωρίς τη χρήση εκκινητή. Η παροχή ρεύματος στα ηλεκτρόδια είτε συνεχίζεται σε όλη τη διάρκεια της λειτουργίας, είτε διακόπτεται με κάποιο προγραμματισμό και γίνεται οικονομία στην ενέργεια. Υπάρχει και ο τύπος της άμεσης έναυσης που δίνει στην εκκίνηση μια

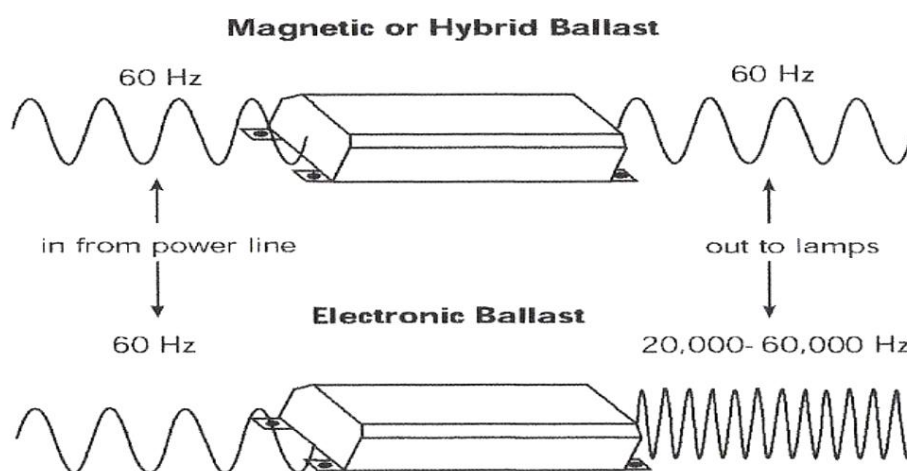
μεγάλη τάση ώστε να γίνει η έναυση, αλλά με αυτό τον τρόπο ως γνωστόν καταστρέφονται τα ηλεκτρόδια πιο σύντομα.

### 3.3.2 Υβριδικά ballast

Τα υβριδικά ballast αποτελούνται από ένα μαγνητικό μετατροπέα πυρήνα - πηνίου και ένα ηλεκτρονικό διακόπτη για τη θέρμανση των ηλεκτροδίων του κυκλώματος. Όπως τα μαγνητικά έτσι και τα υβριδικά μπάλαστ θέτουν σε λειτουργία τους λαμπτήρες στη συχνότητα της γραμμής.

Τα υβριδικά ballast διακόπτουν τη θέρμανση των ηλεκτροδίων μετά την εκκίνηση του λαμπτήρα και αποτελούν πιο ενδεδειγμένη λύση όσον αφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας σε σύγκριση με τα μαγνητικά μπάλαστ. Επιπρόσθετα, κοστίζουν περισσότερο από τα μαγνητικά αλλά λιγότερο από τα ηλεκτρονικά ballast.

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνονται οι συχνότητες λειτουργίας των υβριδικών ballast σε σχέση με τα μαγνητικά και τα ηλεκτρικά ballast.



Σχήμα 3.2. Συχνότητες λειτουργίας ballast [8].

### 3.3.3 Ηλεκτρονικά ballast

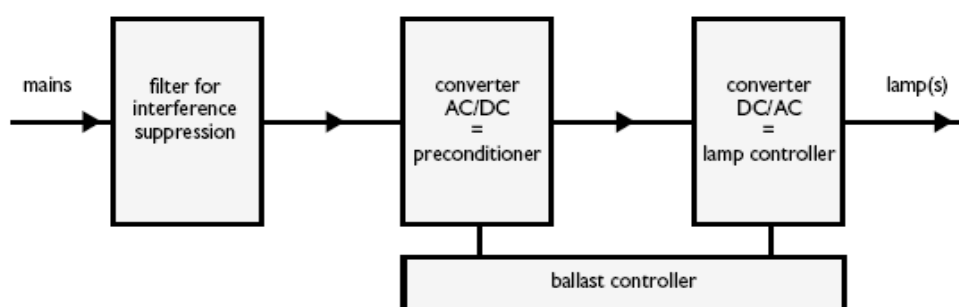
Το κύριο χαρακτηριστικό ενός ηλεκτρονικού ballast τελευταίας τεχνολογίας είναι ότι μπορεί να μετατρέψει τη συχνότητα του ρεύματος του δικτύου από 50 ή 60 Hz σε μερικές δεκάδες kHz, σύμφωνα με το προηγούμενο σχήμα. Με αυτή τη συχνότητα το ballast τροφοδοτεί το λαμπτήρα.

Επιπλέον, τα πιο προηγμένης τεχνολογίας ballast αυτού του τύπου, δίνουν άλλη συχνότητα στην έναυση και άλλη στη λειτουργία ώστε να επιτύχουν και καλύτερη έναυση και επιπρόσθετα να προκύπτει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στους λαμπτήρες. Τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ έχουν περίπου τη μισή ενεργειακή απώλεια σε σχέση με τα μαγνητικά.

Ένα ηλεκτρονικό μπάλλαστ εκτελεί τις εξής βασικές λειτουργίες:

- Περιορίζει και σταθεροποιεί το ρεύμα του λαμπτήρα,
- Εξασφαλίζει την διατήρηση της εκκένωσης,
- Παρέχει την απαιτούμενη τάση για την έναυση του λαμπτήρα,
- Παρέχει το απαραίτητο ρεύμα για την θέρμανση των ηλεκτροδίων κατά την έναυση για την αύξηση της ζωής των λαμπτήρων,
- Εξασφαλίζει ένα υψηλό συντελεστή ισχύος,
- Περιορίζει την εισαγωγή αρμονικών που προκαλούν διαταραχές στο δίκτυο,
- Ελαττώνει τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές που πιθανώς θα είχε το σύστημα φωτισμού προς άλλες συσκευές,
- Περιορίζει τα ρεύματα βραχυκυκλώματος στα ηλεκτρόδια κατά την έναυση για να μην φθείρονται,
- Κλείνει το κύκλωμα όταν δεν επιτυγχάνεται η έναυση για οποιοδήποτε λόγο,
- Κρατά την τάση, το ρεύμα και την ισχύ σε προκαθορισμένες τιμές παρά τις μεταβολές στο δίκτυο.

Περιγράφοντας ένα ηλεκτρονικό σύστημα ballast υψηλής συχνότητας μπορούμε να απομονώσουμε τις διαφορετικές λειτουργίες σε διάφορα μεμονωμένα μπλοκ σε ένα συνολικό μπλοκ διάγραμμα σύμφωνα με το ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 3.3. Μπλοκ διάγραμμα λειτουργιών ηλεκτρονικού ballast [2].

Σύμφωνα με τη γενική λειτουργία, αφού διαπεράσει ένα βαθυπερατό φίλτρο, η τάση εισόδου αποκαθίσταται σε έναν μετατροπέα AC/DC. Αυτός ο μετατροπέας περιέχει επίσης τον ενδιάμεσο πυκνωτή, ο οποίος φορτίζεται μέσω αυτής της συνεχούς τάσης. Στο μετατροπέα DC/AC, η συνεχής τάση μετασχηματίζεται σε μια τάση υψηλής συχνότητας, η οποία παρέχει την ενέργεια για τον ελεγκτή του λαμπτήρα. Ο ελεγκτής του ballast ρυθμίζει όλες αυτές τις λειτουργίες.

### **3.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΑΥΣΗΣ ΛΑΜΠΤΗΡΑ - BALLAST**

Τα ballast χρησιμοποιούν τις ακόλουθες μεθόδους για να εκκινήσουν ένα λαμπτήρα [8].

#### **3.4.1 Στιγμιαία έναυση**

Τα ballast στιγμιαίας έναυσης αναπτύχθηκαν για να εκκινούν λαμπτήρες χωρίς καθυστέρηση ή αναβόσβημα. Αντί να θερμαίνουν τα ηλεκτρόδια πριν την έναυση, τα ballast στιγμιαίας έναυσης παρέχουν μια υψηλή αρχική τάση (πάνω από 400 Volt) για να γίνει εκκίνηση του λαμπτήρα. Η υψηλή τάση απαιτείται για να ξεκινήσει την εκκένωση μεταξύ των κρύων ηλεκτροδίων.

Φυσικά, όπως σε όλα τα συστήματα, η τάση εκκένωσης δεν διατηρείται κατά τη λειτουργία, αλλά ελαττώνεται στην τιμή που έχει υπολογιστεί ότι εργάζεται το σύστημα. Τα ballast στιγμιαίας έναυσης δεν παρέχουν επιπρόσθετη τάση θέρμανσης ούτε πριν ούτε κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, επομένως τα συστήματα στιγμιαίας έναυσης έχουν χαμηλότερες ενεργειακές απώλειες από τα συστήματα γρήγορης έναυσης, όμως οι λαμπτήρες που οδηγούνται από αυτά έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής.

#### **3.4.2 Γρήγορη έναυση**

Για να παραταθεί η διάρκεια ζωής του λαμπτήρα και να εξαλειφθεί το αναβόσβημά του, οι κατασκευαστές δημιούργησαν τα ballast γρήγορης έναυσης. Τα συστήματα αυτά, έχουν ένα ιδιαίτερο ηλεκτρικό κύκλωμα που παρέχει μία χαμηλή τάση στα ηλεκτρόδια, θερμαίνοντάς τα περίπου στους 800 °C μέσα σε 0,5 έως 2 δευτερόλεπτα.

Η θέρμανση των ηλεκτροδίων μειώνει την τιμή της τάσης που χρειάζεται για την εκκίνηση του λαμπτήρα. Καθώς θερμαίνονται τα ηλεκτρόδια, τα ballast γρήγορης

έναυσης εφαρμόζουν τάση 200 - 300 Volt για να ξεκινήσει ο λαμπτήρας. Τα συστήματα αυτά παρέχουν στα ηλεκτρόδια τάση θέρμανσης ακόμη και μετά την έναυση του λαμπτήρα, γεγονός που απαιτεί επιπρόσθετη για κάθε λαμπτήρα.

Τέλος, τα ballast γρήγορης έναυσης εκκινούν τους λαμπτήρες με μικρή καθυστέρηση αλλά χωρίς αναβόσβημα.

### **3.4.3 Προγραμματισμένη έναυση**

Οι κατασκευαστές αναπτύσσουν συνεχώς νέες τεχνολογίες γρήγορης έναυσης που ελέγχουν καλύτερα τη διαδικασία έναυσης, γεγονός που θα παρατείνει κι άλλο τη διάρκεια ζωής του λαμπτήρα. Αυτές οι νέες τεχνολογίες ονομάζονται συστήματα προγραμματισμένης. Τα ballast σε αυτό το είδος έναυσης, θερμαίνουν τα ηλεκτρόδια και στη συνέχεια δημιουργούν την εκκένωση με εφαρμογή της τάσης εκκίνησης που είναι σχετικά χαμηλή.

### **3.4.4 Έναυση με προθέρμανση**

Κατά τη λειτουργία της προθέρμανσης, το ballast θερμαίνει τα ηλεκτρόδια του λαμπτήρα για αρκετά δευτερόλεπτα περίπου στους 700 – 1000 °C.

Μετά την προθέρμανση των ηλεκτροδίων, ο διακόπτης του εκκινήτη (λαμπτήρες φθορισμού) ανοίγει για να εφαρμόσει τάση περίπου 200 - 300 Volt στο λαμπτήρα ώστε να ξεκινήσει.

Τα ηλεκτρομαγνητικά ballast προθέρμανσης μπορεί να προκαλέσουν αναβόσβημα για λίγα δευτερόλεπτα προτού να ανάψουν τελικά το λαμπτήρα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η κάθοδος δεν έχει θερμανθεί πλήρως και δεν είναι δυνατόν να υπάρξει εκκένωση με την παρεχόμενη τάση. Τέλος, η τάση παρέχεται μέσω πηνίου επαγωγικά.

## **3.5 BALLAST ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ (DIMMING BALLAST)**

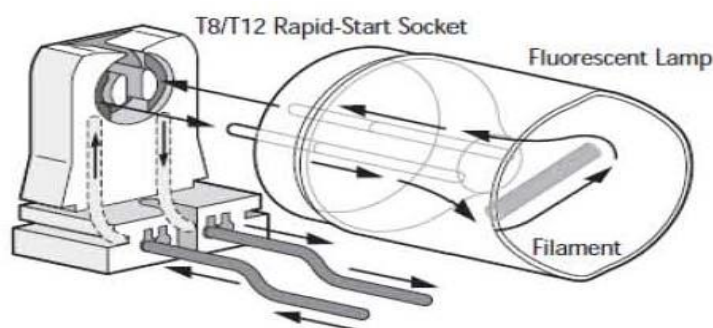
Σήμερα κατασκευάζονται μαγνητικά και ηλεκτρονικά μπάλλαστ ρυθμιζόμενης στάθμης φωτισμού (dimnable). Τα εν λόγω ballast ρυθμίζουν τη στάθμη φωτισμού στους λαμπτήρες αυξομειώνοντας το ρεύμα του λαμπτήρα [8].

Τα περισσότερα dimming ballast που απαντώνται παροντικά στην αγορά είναι ηλεκτρονικά, επιτρέπουν τη ρύθμιση της στάθμης του φωτισμού και εξοικονομούν

ενέργεια καθώς η καταναλισκομένη ενέργεια ενός dimming ballast μειώνεται όσο μειώνουμε τη στάθμη φωτισμού. Επίσης αυξάνουν το εύρος της φωτεινής ροής που παράγεται από το σύστημα.

Τα περισσότερα ηλεκτρονικά dimming ballast είναι αθόρυβα και δεν προκαλούν αισθητό τρεμόσβημα. Οι συσκευές ελέγχου αυτών περιλαμβάνουν αυτόματα και χειροκίνητα dimmers, φωτοαισθητήρες για να μειώνουν το φωτισμό όταν υπάρχει το φως της ημέρας και συστήματα διαχείρισης ενέργειας που μειώνουν το φωτισμό κατά τη διάρκεια της νύχτας ή στις ώρες υψηλότερης ζήτησης.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση των σωλήνων φθορισμού, τα ηλεκτρονικά dimming ballast είναι διαθέσιμα τόσο για σωληνωτούς λαμπτήρες φθορισμού όσο και για συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού. Όλοι οι σωληνωτοί λαμπτήρες θα πρέπει να έχουν δύο ακίδες ανά ηλεκτρόδιο, χαρακτηριστικό των λαμπτήρων γρήγορης έναυσης καθώς τα ηλεκτρονικά dimming ballast παρέχουν θερμική τάση στα ηλεκτρόδια του λαμπτήρα κατά τη διάρκεια της έναυσης και της λειτουργίας του λαμπτήρα. Για τον ίδιο λόγο, οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού όταν χρησιμοποιούνται με ηλεκτρονικά dimming ballast χρειάζονται βάση τεσσάρων ακίδων.



**Σχήμα 3.4.** Dimming ballast σε λαμπτήρα φθορισμού με πρόσβαση και στις δύο ακίδες ανά ηλεκτρόδιο [2].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΡΥΘΜΙΣΗ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΡΟΗΣ - DIMMING

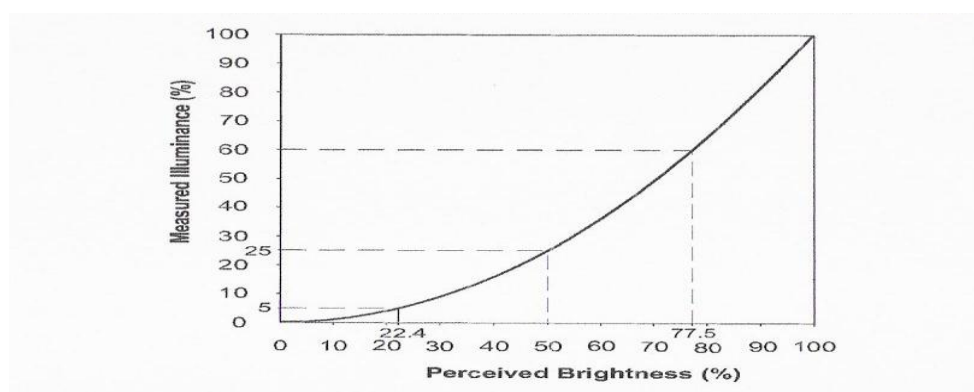
#### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το τέταρτο κεφάλαιο του συγγράμματος αποτελεί εξειδικευμένη αναφορά στην έννοια της ρύθμισης της φωτεινής ροής σε συνάρτηση με την παρεχόμενη ισχύ (dimming).

#### 4.2 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ DIMMING

Η ρύθμιση της φωτεινής ροής (dimming) μπορεί να περιγραφεί ως ποσοστό του μέγιστου παραγόμενου φωτός (κανονική λειτουργία), της μετρούμενης φωτεινής ροής ανά μονάδα επιφάνειας (δηλαδή της έντασης φωτισμού) και της έντασης φωτισμού που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι.

Η ένταση φωτισμού που αντιλαμβανόμαστε μπορεί να χαρακτηριστεί από την προσαρμοστικότητα του ανθρώπινου ματιού όταν εκτίθεται σε διαφορετικές ποσότητες φωτός. Για παράδειγμα, ένα χώρο με ρυθμισμένη φωτεινή ροή στο 25% του μέγιστου παραγόμενου φωτός, μπορεί να τον αντιληφθούμε ως κατά το ήμισυ περίπου φωτεινό σε σύγκριση με τον ίδιο χώρο στο μέγιστο φωτισμό [7].



**Σχήμα 4.1.** Σχέση μεταξύ μετρούμενης έντασης φωτισμού και αντιληφθείσας έντασης φωτισμού [7].



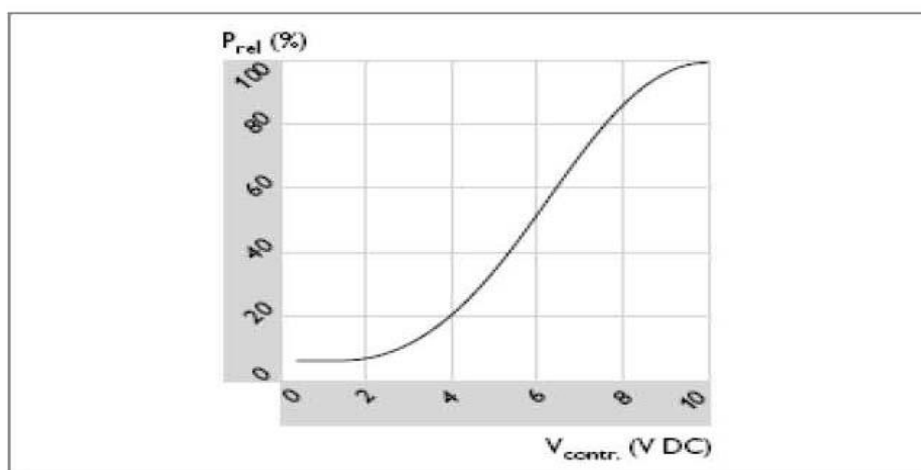
Η ρύθμιση της φωτεινής ροής ενός λαμπτήρα είναι πολύ σημαντική για την οικονομία, θα πρέπει όμως, μειώνοντας την, η ένταση φωτισμού στο χώρο να μην πέφτει σε μη επιτρεπτό όριο, ώστε να υπάρχει ανεκτή ορατότητα.

Με τη μείωση της φωτεινής ροής η κατανάλωση είναι μικρότερη γεγονός, που δεν αρκεί όμως από μόνο του. Πρέπει και η διάρκεια ζωής του λαμπτήρα να μην μικραίνει, ή τουλάχιστον όχι τόσο πολύ ώστε να μην ισοσταθμίζεται με το κέρδος από τη μειωμένη κατανάλωση.

### 4.3 ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ DIMMING

Η πιο συνήθης αναλογική μέθοδος dimming είναι η 0 –10 V DC. Το dimming γίνεται με ρύθμιση του πλάτους του ρεύματος του λαμπτήρα με μείωση της ισχύος του. Όσο μειώνεται η ισχύς τόσο αυξάνεται η τάση του λαμπτήρα (αναλόγως) ώστε να διατηρηθεί η εκκένωση. Εκτός από τη μέθοδο 0-10 VDC υπάρχει και η αναλογική

μέθοδος με έλεγχο φάσης δύο καλωδίων ή τριών καλωδίων και χωρίς καλώδια, με υπέρυθρες ακτίνες.

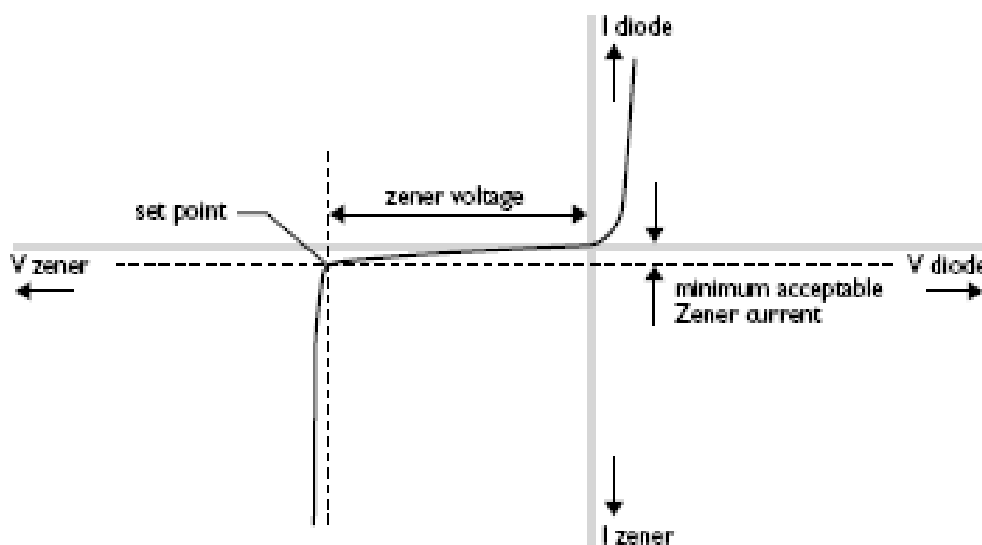


Σχήμα 4.2. Μεταβολή ισχύος λαμπτήρα με αναλογική μέθοδο dimming [2].

Όταν το κύκλωμα ελέγχου δεν συνδέεται, η αποδιδόμενη φωτεινότητα είναι 100%, δηλαδή το κύκλωμα ελέγχου είναι ανοικτοκυκλωμένο και στα άκρα του εφαρμόζεται τάση ελέγχου 10 V. Όταν το κύκλωμα ελέγχου βραχυκυκλωθεί (τάση ελέγχου 0 V) τότε ο λαμπτήρας αποδίδει την ελάχιστη φωτεινότητα. Με τη βοήθεια

ενός ποτενσιόμετρου μεταβάλλεται η τάση ελέγχου και επιτυγχάνεται συνεχής ρύθμιση.

Αν δεν είναι επιθυμητό όλο το εύρος ρύθμισης της φωτεινότητας (0 - 100%) χρησιμοποιείται δίοδος Zener.



Σχήμα 4.3. Δίοδος Zener [2].

Αν θέλω να ρυθμίσω το ελάχιστο επίπεδο φωτεινότητας συνδέω τη δίοδο Zener σε σειρά με τη τάση ελέγχου. Για παράδειγμα μια δίοδος Zener 3,9 V θα προκαλεί ελάχιστο επίπεδο φωτεινότητας 20%. Τοποθετώντας τη δίοδο παράλληλα περιορίζεται το μέγιστο επίπεδο φωτεινότητας. Για παράδειγμα τοποθετώντας μια δίοδο Zener 6,8 V παράλληλα το μέγιστο επίπεδο φωτεινότητας θα είναι 70%.

Τα dimmable ballast με αναλογική μέθοδο 1-10V DC είναι τα πιο κοινά στην αγορά, ωστόσο παρουσιάζουν κάποιες ελλείψεις όπως [6]:

- Μπορούν μόνο να ρυθμίσουν την ισχύ. Η λειτουργία (ON/OFF) του λαμπτήρα γίνεται από ξεχωριστό κύκλωμα ελέγχου.
- Το σήμα αλλοιώνεται σε καλώδια μεγάλου μήκους.
- Δεν υπάρχει σαφής καθορισμός του ελάχιστου επιπέδου φωτεινότητας (διάφορα μπάλλαστ δίνουν διαφορετικό ελάχιστο επίπεδο με την ίδια τάση ελέγχου).

Οι παραπάνω ελλείψεις διορθώνονται σε σημαντικό βαθμό με το ψηφιακό dimming.

#### 4.4 ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ DIMMING

Στο ψηφιακό dimming [2], το κύκλωμα ελέγχου αποθηκεύει τις εντολές του ballast, λαμβάνει σήματα ελέγχου και στέλνει στο ballast την κατάσταση του συστήματος.

Η πιο γνωστή ψηφιακή μέθοδος είναι το σύστημα DALI (Digital Addressable Lighting Interface) που στην ουσία είναι το επίσημο ευρωπαϊκό πρωτόκολλο που ακολουθούν τα ballast, για να μπορούν να εναλλάσσονται στις εγκαταστάσεις χωρίς πρόβλημα, ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή.

Το σύστημα DALI όταν εφαρμόζεται ελέγχει είτε λίγα είτε πολλά ballast, όλα μαζί είτε κατά ομάδες. Συνήθως χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του φωτισμού σε ολόκληρα κτίρια. Πλεονεκτεί έναντι του αναλογικού τρόπου dimming, διότι σε μεγάλες εγκαταστάσεις έχει την ικανότητα ο χρήστης να ελέγχει ακόμα και κάθε ballast ξεχωριστά.

Τα ballast που ακολουθούν το σύστημα DALI διαφέρουν από τα αναλογικά στα εξής σημεία:

- Η είσοδος ελέγχου δεν έχει πολικότητα.
- Διαθέτουν ένα chip για επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου DALI.
- Το ballast από μόνο του διεκπεραιώνει τις λειτουργίες άνοιγμα - κλείσιμο χωρίς να χρειάζονται εξωτερικοί διακόπτες.
- Πρέπει να συνδέονται με συσκευές ελέγχου DALI.

Στα ballast που ακολουθούν το σύστημα DALI, η συνδεσμολογία του κυκλώματος ελέγχου είναι ίδια όπως και στα με αναλογικό τρόπο dimmable ballast. Η κύρια διαφορά είναι ότι ρυθμίζουν και ανοιγοκλείνουν τα κυκλώματα. Επιπρόσθετα, με τη διευθυνσιοδότηση των ballast δίνεται η δυνατότητα το κύκλωμα ελέγχου να είναι ανεξάρτητο από το κύκλωμα ισχύος, ενώ υπάρχει η δυνατότητα να στέλνονται εντολές προς τα ballast και να λαμβάνονται πληροφορίες από αυτά.

Το πρωτόκολλο DALI υποστηρίζει τις παρακάτω εντολές:

- ρύθμιση του επιπέδου φωτισμού,

- απομακρυσμένο άνοιγμα και κλείσιμο του λαμπτήρα,
- αποθήκευση και επανάκτηση των προκαθορισμένων ρυθμίσεων

Εκτός από τις εντολές υπάρχουν και αιτήματα που μπορούν να ικανοποιηθούν. Τα αιτήματα μπορεί να αφορούν στη λειτουργία του λαμπτήρα ή το τέλος ζωής αυτού. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται από το ballast χρησιμεύουν για την ανίχνευση προβλημάτων στην εγκατάσταση.

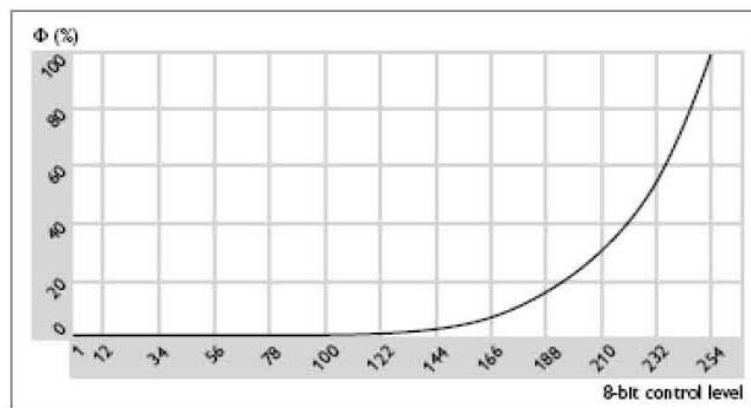
Οι λειτουργίες που εμπεριέχει το πρωτόκολλο DALI είναι:

- **Άνοιγμα/κλείσιμο**

Ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονικών ballast DALI που μπορεί να διαχειριστεί είναι 64 - υπάρχουν το πολύ 64 διαφορετικές διευθύνσεις.

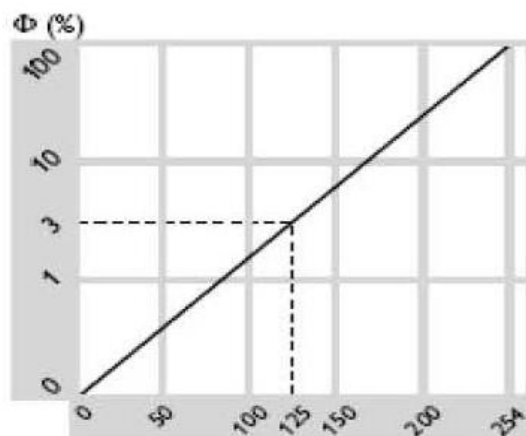
- **Dimming**

Αυτά τα ballast μπορούν να ρυθμίσουν λογαριθμικά τη φωτεινότητα από 0,1% μέχρι 100% σε 254 διακριτά βήματα.



**Σχήμα 4.4.** Λογαριθμική καμπύλη dimming 254 βημάτων [2].

Η λογαριθμική καμπύλη dimming ballast DALI είναι η ακόλουθη:

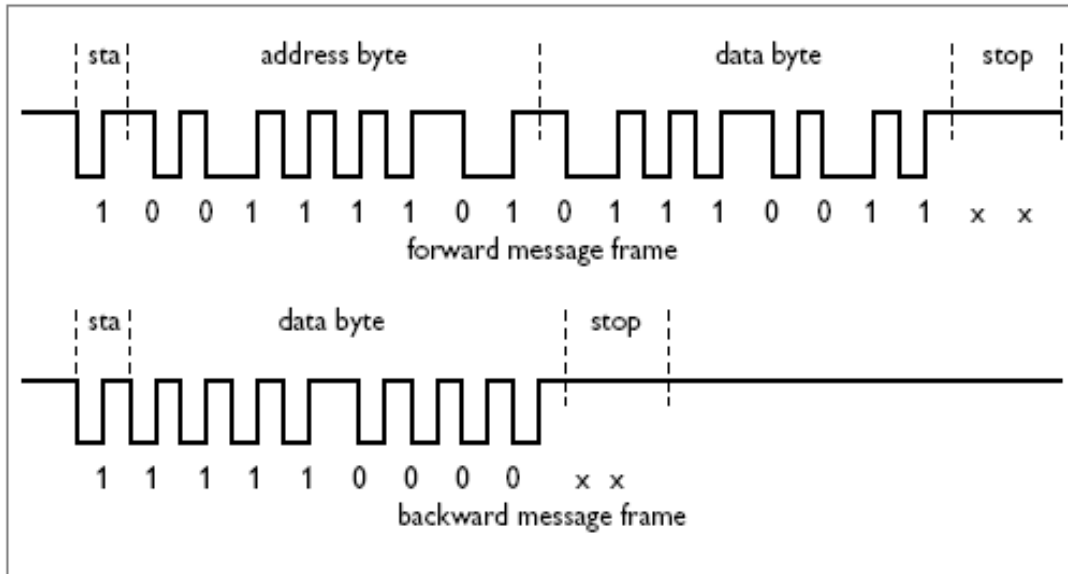


**Σχήμα 4.5.** Λογάριθμική καμπύλη dimming ballast DALI [2].

Προχωρώντας ένα βήμα πιο πέρα, η ψηφιακή μέθοδος μπορεί να δημιουργήσει μέχρι 16 σκηνικά φωτισμού, ενώ μπορεί να εμφανίζει σε οθόνη την κατάσταση του ballast ή του λαμπτήρα.

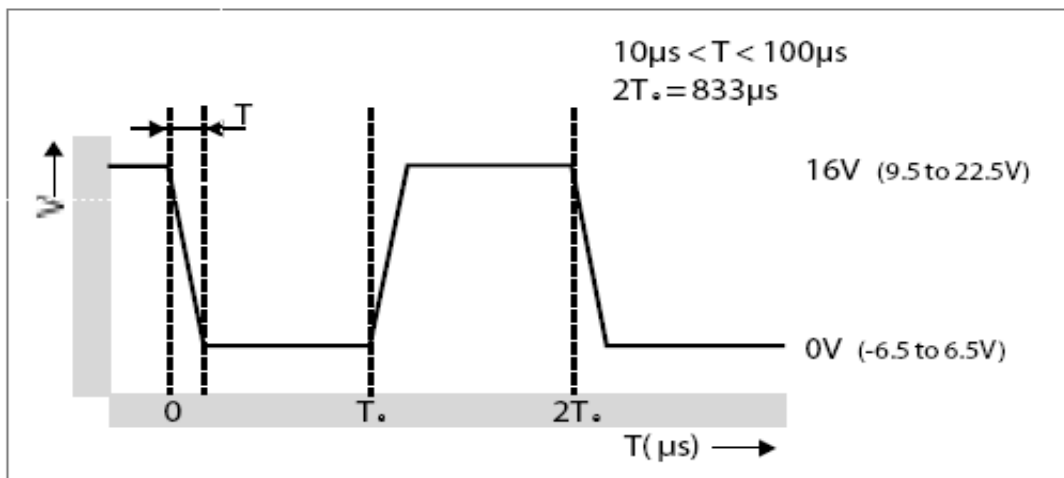
Το πρωτόκολλο DALI αποτελείται από υλικό (hardware) και λογισμικό (software). Το hardware αποτελεί την διεπαφή ανάμεσα στα καλώδια ελέγχου και στον μικροεπεξεργαστή του ballast. Το software τρέχει μέσα στον επεξεργαστή και είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση των εντολών που οδηγούν το ballast. Παραδείγματα τέτοιων εντολών είναι η αύξηση ισχύος του λαμπτήρα, το σβήσιμο του λαμπτήρα ή η απάντηση σε ένα αίτημα.

Το λογισμικό του μικροεπεξεργαστή βασίζεται σε ψηφιακή γλώσσα. Ο controller επικοινωνεί με πακέτα δεδομένων με ρυθμό 1200 bit/sec. Τα πακέτα δεδομένων αποτελούνται από 19 bit. 1 bit είναι η αρχή του πακέτου (start bit), τα επόμενα 16 είναι τα δεδομένα (data bits) και τα 2 τελευταία είναι τα bit λήξης (stop bits).



**Σχήμα 4.6.** Οργάνωση πακέτων δεδομένων στο πρωτόκολλο DALI [5].

Η τάση που επικρατεί στο πρωτόκολλο DALI είναι 16 V με τις ανοχές που φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα.

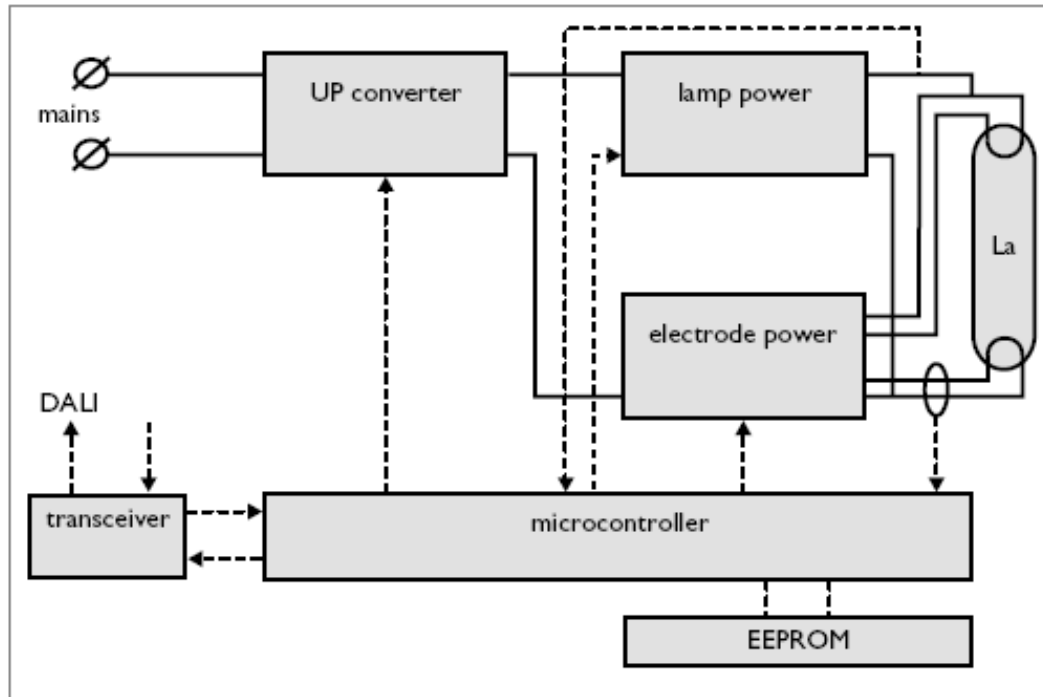


**Σχήμα 4.7.** Τάση και ανοχές πρωτόκολλου DALI [5].

Με βάση το παραπάνω σχήμα, το επίπεδο 0 V μπορεί να κυμαίνεται από -6,5 έως 6,5 V και το επίπεδο 16 V μπορεί να κυμαίνεται από 9,5 έως 22,5 V. Το ρεύμα σε ένα controller DALI περιορίζεται στη μέγιστη τιμή του, δηλαδή στα 250 A, ενώ το ρεύμα κάθε ballast ρυθμίζεται στα 2 mA.

### **To ballast DALI**

Η δομή ενός ψηφιακού μπάλαστ φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



**Σχήμα 4.8.** Δομή του ψηφιακού ballast DALI [5].

Οι συμπαγείς γραμμές απεικονίζουν σήματα ισχύος και οι διακεκομμένες γραμμές σήματα ελέγχου. Ο μικροεπεξεργαστής (microcontroller) είναι η κεντρική μονάδα της δομής αυτής και δέχεται τις εντολές από το πρωτόκολλο DALI μέσω του transceiver.

Το ballast αποτελείται από 3 μονάδες. Ο up converter προετοιμάζει και ομαλοποιεί την τάση τροφοδοσίας, η μονάδα lamp power παράγει το ρεύμα του ηλεκτρικού τόξου και τέλος η μονάδα electrode power ελέγχει το ρεύμα των ηλεκτροδίων.

Οι μονάδες lamp power και electrode power λαμβάνουν τα σήματα ελέγχου από τον μικροεπεξεργαστή και σύμφωνα με αυτά τα σήματα ελέγχου εκτελούν τη λειτουργία τους. Επίσης, ο μικροεπεξεργαστής λαμβάνει από αισθητήρες σήματα για την τάση και το ρεύμα από το κύκλωμα ισχύος. Τέλος, τα σήματα που λαμβάνει ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να τα αποθηκεύσει σε μια μνήμη EEPROM. Αυτό χρησιμεύει στο να αποθηκεύονται χρήσιμα σήματα όταν το ballast αποσυνδέεται από τη τροφοδοσία.

Με αυτή τη δομή επιτυγχάνονται τα εξής πλεονεκτήματα [2]:

- Το ρεύμα του τόξου και το ρεύμα των ηλεκτροδίων ελέγχονται ανεξάρτητα. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερο χρόνο ζωής.
- Το ballast μπορεί να οδηγήσει περισσότερους από 1 λαμπτήρες και μάλιστα διαφορετικού τύπου.
- Όλοι οι έλεγχοι και η επεξεργασία σημάτων γίνεται στον μικροεπεξεργαστή. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερη αξιοπιστία και ακρίβεια.
- Αν προκύψει κάποια αλλαγή συνήθως γίνεται σε επίπεδο λογισμικού και όχι αντικατάστασης υλικού, κάτι που είναι προτιμότερο από θέμα ευελιξίας.
- Το ballast μπορεί να αναφέρει κάποιο πρόβλημα έπειτα από αίτηση.

Μια μεγάλη διαφορά του DALI ballast είναι ότι το άναμμα και το σβήσιμο του λαμπτήρα γίνεται από το ηλεκτρονικό ballast. Έτσι δεν απαιτούνται διακόπτες χειρισμού. Επίσης το άναμμα ή σβήσιμο και το dimming μπορούν να προέλθουν σαν εντολή από το DALI.

Τα ballast μπορούν να οργανωθούν σε ομάδες φωτισμού. Μια ομάδα έχει την ίδια συμπεριφορά χειρισμού και ρύθμισης της φωτεινότητας. Μια γραμμή DALI μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 16 ομάδες φωτισμού. Με το αναλογικό ballast υψηλής συχνότητας, θα έπρεπε να υπάρχουν 16 διαφορετικά καλώδια ελέγχου, ενώ με το DALI χρειάζεται μόνο 1 καλώδιο ελέγχου.

Ο έλεγχος του φωτισμού με dimming και κύκλωμα ελέγχου συνήθως γίνεται με τους ακόλουθους τρόπους:

- Χειροκίνητα, οπότε το κύκλωμα ελέγχου αντικαθιστά τον διακόπτη.
- Με χρονικό προγραμματισμό της ρύθμισης της φωτεινής ροής.
- Με φωτοαισθητήρα που εκμεταλλεύεται το φυσικό φωτισμό του χώρου.
- Με αισθητήρα κίνησης που έχει δύο επίπεδα λειτουργίας: μέγιστο όταν υπάρχουν άτομα στο χώρο και μείωση του φωτισμού όταν περάσει κάποιο διάστημα χωρίς να ανιχνευθεί κίνηση.

Σε γενικές γραμμές, σε περιοχές που φωτίζονται με ηλεκτρικό φως και δεν λαμβάνεται υπόψη φυσικός φωτισμός, οι τρόποι ρύθμισης του φωτισμού είναι τρεις:

- Με διακόπτη (switch-dimming). Όπου μέσω του διακόπτη ελέγχονται ένας ή περισσότεροι λαμπτήρες ενός φωτιστικού.



- Βηματική ρύθμιση (step-dimming). Όπου ρυθμίζεται η ισχύς σε όλους ταυτόχρονα τους λαμπτήρες με προκαθορισμένες τιμές.
- Συνεχής ρύθμιση (continuous-dimming). Είναι ο προηγούμενος τρόπος, αλλά με δυνατότητα αλλαγής της ισχύος συνεχώς.

#### 4.5 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ DIMMING

Τα πολύ χαμηλά ποσοστά (μεγάλη μείωση φωτισμού) συνήθως είναι για αρχιτεκτονικά εφέ ή για οπτικοακουστικές ανάγκες. Πρακτικά σε χώρους που υπάρχουν άνθρωποι και ο φωτισμός ελέγχεται με φωτοαισθητήρα, δεν απαιτείται μείωση κάτω του 20%.

Για dimming μέχρι 1% το ballast είναι απαραίτητως ηλεκτρονικό. Τα ηλεκτρομαγνητικά επιτυγχάνουν μείωση του φωτισμού μέχρι περίπου 50%.

Μεταβολές στην ένταση φωτισμού μέχρι και 33% από την ενδεδειγμένη τιμή για ένα χώρο, δε γίνονται αντιληπτές από τους περισσότερους ανθρώπους. Αυτή η παρατήρηση δίνει τη δυνατότητα της μεταβολής του φωτισμού σε ένα χώρο χωρίς να γίνεται ενοχλητική για τους παρευρισκόμενους.

Όμως το dimming επηρεάζει τη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων. Αυτό που δεν είναι γνωστό είναι το πόσο ένας συγκεκριμένος τρόπος χειρισμού της ισχύος ενός λαμπτήρα θα μειώσει τη διάρκεια ζωής του. Έχει διαπιστωθεί ότι αυτό που σίγουρα μειώνει τη ζωή είναι η έναυση του λαμπτήρα όταν αυτός δε βρίσκεται στην πλήρη ισχύ του και όταν αυτό γίνεται χωρίς προθέρμανση των ηλεκτροδίων. Αυτό γίνεται όταν έχει σβήσει ο λαμπτήρας ενώ ήταν σε θέση χαμηλής ισχύος και όταν ανάψει την επόμενη φορά δεν έχει επανέλθει στην θέση πλήρους ισχύος.

Σε συστήματα ρύθμισης φωτισμού, για χρόνο dimming εκατό ωρών ετησίως και μείωση το πολύ μέχρι 50%, δεν έχει παρατηρηθεί μετρήσιμη μείωση της ζωής του λαμπτήρα.

Το dimming ειπώθηκε ότι σκοπό έχει την εξοικονόμηση ενέργειας με ταυτόχρονη όμως ικανοποίηση των απαιτήσεων των παρευρισκομένων σε φωτισμό. Έχει παρατηρηθεί ότι όταν μειωθεί κατά ένα ποσοστό η φωτεινή ροή στους λαμπτήρες με τη μέθοδο dimming, οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται μικρότερη μείωση του φωτισμού όπως άλλωστε αποδεικνύει και το σχήμα 4.1.

Μαθηματικά, η σχέση που συνδέει το μετρούμενο φως με το λαμβανόμενο φως είναι η ακόλουθη [6]:

$$\text{Λαμβανόμενο φως (\%)} = 100 * \sqrt{\frac{\text{Μετρούμενο φως (\%)}}{100}}$$

Σύμφωνα με τη σχέση αυτή, αν το dimming είναι 10%, το ποσοστό του αρχικού φωτός (100%) που αντιλαμβάνεται ένας άνθρωπος είναι το 32% και όχι το 10% που είναι πραγματικά, γεγονός που αποδεικνύει και μαθηματικά την παραπάνω παρατήρηση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΡΥΘΜΙΣΗ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΡΟΗΣ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ

#### 5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο συγκεκριμένο χωρίο, θα προχωρήσουμε στο σχεδιασμό των τυπικών καμπύλων φωτεινής ροής καθώς και των κυκλωμάτων dimming των τύπων λαμπτήρων που αναπτύχθηκαν στο κεφάλαιο 2 του παρόντος συγγράμματος.

#### 5.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως και οι λαμπτήρες πυρακτώσεως με αλογόνα, όπως και όλοι οι λαμπτήρες φθορισμού και οι compact λαμπτήρες φθορισμού, μπορούν να υποστούν διαβάθμιση της ισχύος τους σχεδόν σε όλο το εύρος, συνήθως από 100% έως 10% περίπου.

Οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων δεν συνιστανται από τους κατασκευαστές για διαβάθμιση της ισχύος τους, επειδή αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανεξέλεγκτες αρνητικές επιδράσεις στην ποιότητα του φωτός τους και στην διάρκεια της ζωής τους.

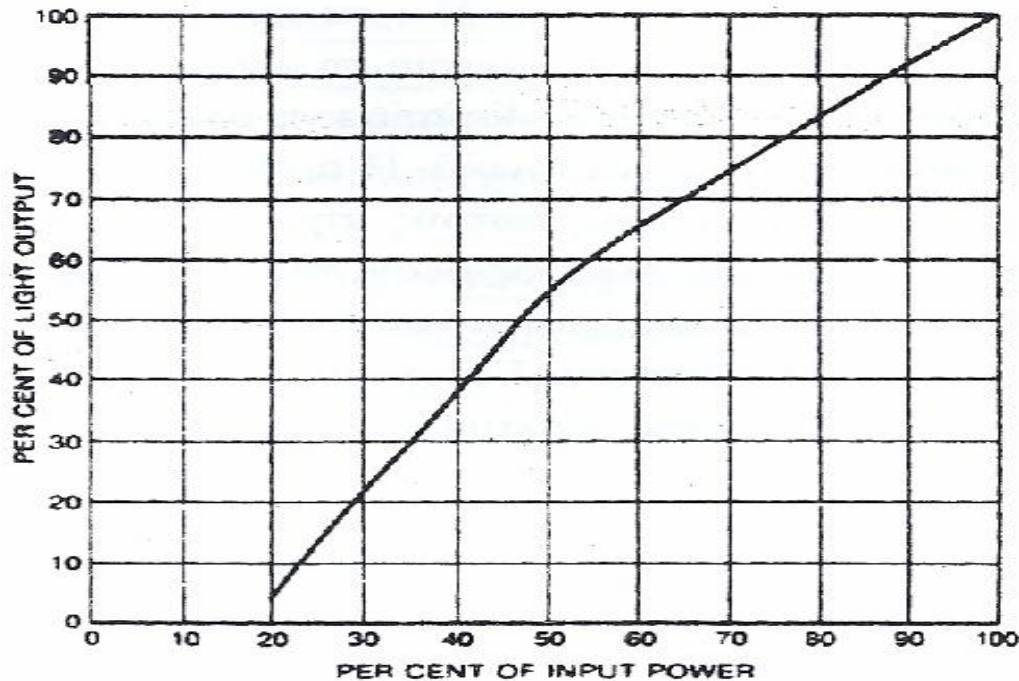
Τέλος, η ισχύς των λαμπτήρων ατμών νατρίου υψηλής πίεσης και αυτή των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου μπορεί να διαβαθμιστεί αλλά μόνο σε διακριτά επίπεδα.

#### 5.3 ΚΑΜΠΥΛΗ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΚΥΚΛΩΜΑ DIMMING ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ

Τα συστήματα dimming των λαμπτήρων φθορισμού όπως ειπώθηκε μπορούν να φθάσουν σε περιορισμό της φωτεινής ροής έως περίπου 10% της μέγιστης τιμής.

Επίσης η θερμοκρασία του χρώματος δεν μεταβάλλεται σημαντικά όπως συμβαίνει στους λαμπτήρες πυρακτώσεως.

Η καμπύλη φωτεινής ροής ως συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος για ένα τυπικό σύστημα διαβάθμισης λαμπτήρα φθορισμού ταχείας έναυσης, είναι η ακόλουθη.

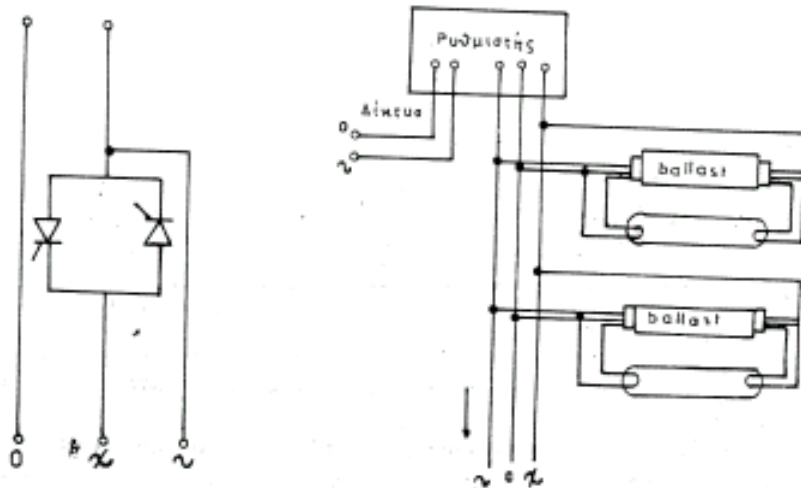


Σχήμα 5.1 Καμπύλη φωτεινής ροής ως συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος για ένα τυπικό σύστημα διαβάθμισης λαμπτήρα φθορισμού ταχείας έναυσης.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι όταν η ρύθμιση υπερβαίνει το 50% της ονομαστικής τιμής της φωτεινής ροής, λαμβάνει χώρα μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας που είναι ανάλογη με τη μείωση της φωτεινής ροής.

Για τους λαμπτήρες φθορισμού, το τυπικό κύκλωμα dimming στηρίζεται στην τεχνολογία ballast και απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα.

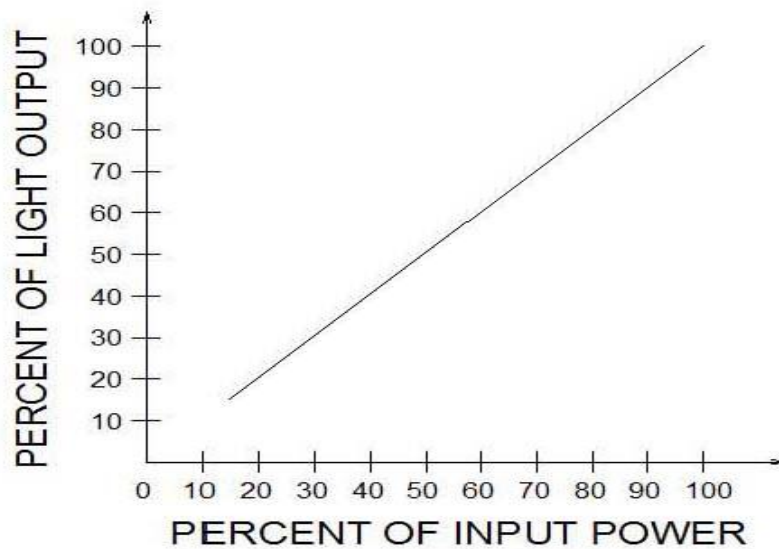
Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στην χρησιμοποίηση δυο θυρίστορ  $Q_1$  και  $Q_2$ , συνδεδεμένα αντιπαράλληλα όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2. Το θυρίστορ  $Q_1$  άγει το ρεύμα κατά την ημιπερίοδο θετικής τάσης, ενώ το  $Q_2$  άγει το ρεύμα κατά την ημιπερίοδο της αρνητικής τάσης. Η διάρκεια αγωγιμότητας των θυρίστορ ρυθμίζεται από τα ηλεκτρόδια έλεγχου.



Σχήμα 5.2 Κύκλωμα dimming λαμπτήρα φθορισμού ταχείας έναυσης.

#### 5.4 ΚΑΜΠΥΛΗ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΚΥΚΛΩΜΑ DIMMING ΛΑΜΠΗΤΗΡΩΝ LED

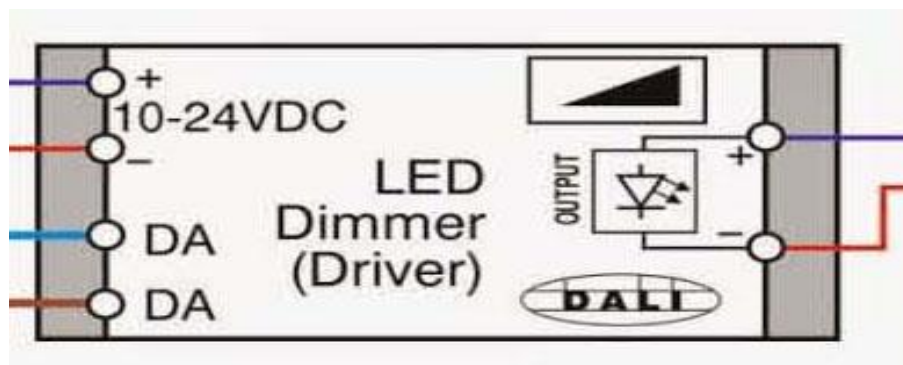
Όπως ήδη ειπώθηκε, οι λαμπτήρες LED παρέχουν σημαντική δυνατότητα για εξοικονόμηση ισχύος, όπως αποδεικνύεται εκτός των άλλων και από την καμπύλη φωτεινής ροής ως συνάρτηση της ισχύος για έναν τυπικό λαμπτήρα LED.



Σχήμα 5.3 Καμπύλη φωτεινής ροής ως συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος για ένα τυπικό σύστημα διαβάθμισης λαμπτήρα LED.

Όπως εύκολα μπορούμε να παρατηρήσουμε από την κλίση της παραπάνω καμπύλης, επιβεβαιώνεται η εξοικονόμηση ενέργειας που προσφέρουν οι λαμπτήρες LED σε σχέση με τους προαναφερθέντες λαμπτήρες φθορισμού (βλέπε προηγούμενο διάγραμμα) αλλά και σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους λαμπτήρων (βλέπε επόμενα διαγράμματα).

Για τους λαμπτήρες led, το τύπικο κύκλωμα dimming στηρίζεται στην τεχνολογία DALI και απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα.



**Σχήμα 5.4** Κύκλωμα dimming λαμπτήρα LED.

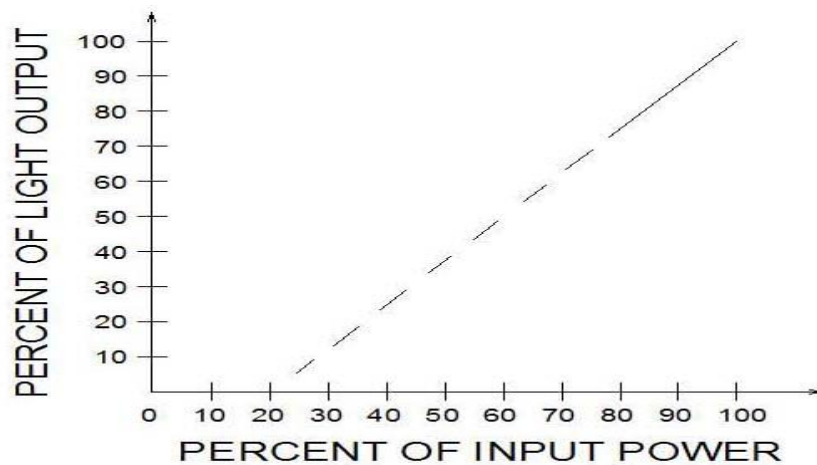
Η λειτουργία dimming στηρίζεται στην κεντρική μονάδα της δομής αυτής και δέχεται τις εντολές από το πρωτόκολλο DALI μέσω του transceiver. Πιο συγκεκριμένα, οι μονάδες dimming λαμβάνουν τα σήματα ελέγχου από τον μικροεπεξεργαστή και σύμφωνα με αυτά τα σήματα ελέγχου εκτελούν τη λειτουργία τους. Επίσης, ο μικροεπεξεργαστής λαμβάνει από αισθητήρες σήματα για την τάση και το ρεύμα από το κύκλωμα ισχύος και με βάση τις πληροφορίες αυτές καθορίζεται ο βαθμός που θα 'ψαλιδιστούν' στο πεδίο του χρόνου οι ημιπερίοδοι του ημιτόνου, δράση στην οποία στηρίζεται η λειτουργία του dimming.

## **5.5 ΚΑΜΠΥΛΗ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΚΥΚΛΩΜΑ DIMMING ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ**

Τα συστήματα dimming των λαμπτήρων πυρακτώσεως, όμοια με τα αντίστοιχα συστήματα των λαμπτήρων φθορισμού, μπορούν να φθάσουν σε περιορισμό της φωτεινής ροής έως περίπου 10% της μέγιστης τιμής.

Η διαφορά σε σχέση με τους λαμπτήρες φθορισμού, είναι ότι στην περίπτωση των λαμπτήρων πυρακτώσεως, η θερμοκρασία του χρώματος μεταβάλλεται σημαντικά (διακεκομμένη γραμμή στο ακόλουθο διάγραμμα).

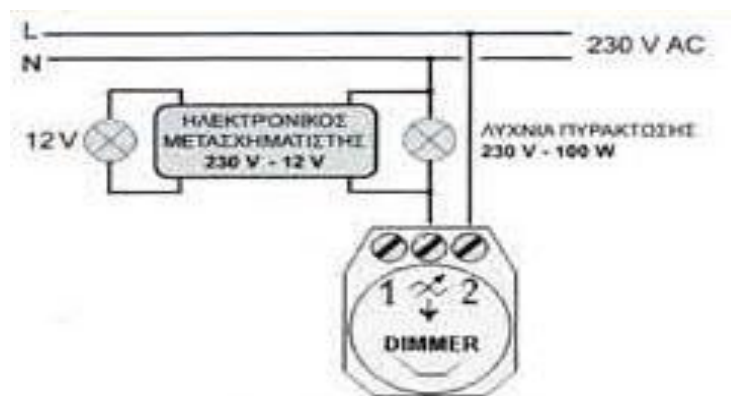
Η καμπύλη φωτεινής ροής ως συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος για ένα τυπικό σύστημα διαβάθμισης λαμπτήρα πυρακτώσεως, είναι η ακόλουθη.



**Σχήμα 5.5.** Καμπύλη φωτεινής ροής ως συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος για ένα τυπικό σύστημα διαβάθμισης λαμπτήρα πυρακτώσεως.

Από την παραπάνω γραφική απεικόνιση παρατηρούμε ότι έχουμε μεταβολή του χρώματος για ρύθμιση της φωτεινής ροής κάτω του 80%, ενώ από την μετατόπιση της καμπύλης είναι προφανής η έλλειψη εξοικονόμησης ενέργειας που χαρακτηρίζει τους λαμπτήρες πυρακτώσεως σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους λαμπτήρων.

Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι λαμπτήρες πυρακτώσεως αποτελούν πεπαλαιωμένη τεχνολογία όσον αφορά στους λαμπτήρες και παρουσιάζουν σύμφωνα με τα παραπάνω σημαντική μεταβολή στη θερμοκρασία του χρώματος, για την ομαλότερη λειτουργία dimming, χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικοί μετασχηματιστές τοποθετούμενοι παράλληλα στο πρωτεύον πηνίο σύμφωνα με το ακόλουθο σχήμα.

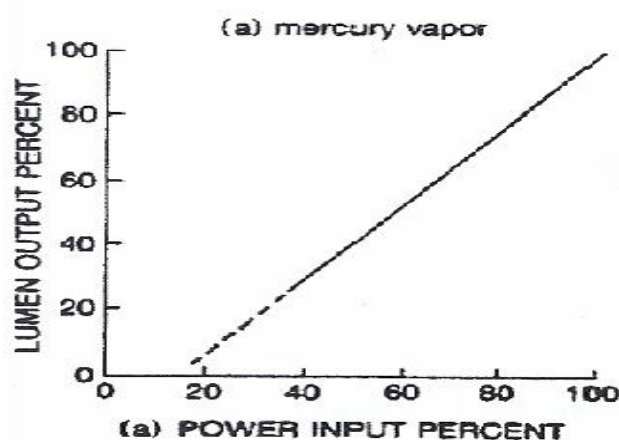


**Σχήμα 5.6** Κύκλωμα dimming λαμπτήρα πυρακτώσεως.

## 5.6 ΚΑΜΠΥΛΗ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΚΥΚΛΩΜΑ DIMMING ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ

Η ισχύς των λαμπτήρων υδραργύρου μπορεί να διαβαθμιστεί αλλά μόνο σε διακριτά επίπεδα κάτι που ισχύει και για την περίπτωση των λαμπτήρων ατμών νατρίου υψηλής πίεσης

Η καμπύλη φωτεινής ροής ως συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος για ένα τυπικό σύστημα διαβάθμισης λαμπτήρα υδραργύρου υψηλής έντασης εκκένωσης, είναι η ακόλουθη.

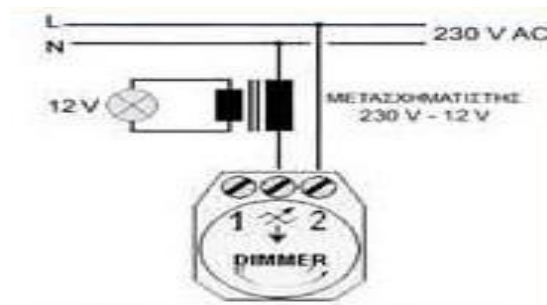


**Σχήμα 5.7.** Καμπύλη φωτεινής ροής ως συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος για ένα τυπικό σύστημα διαβάθμισης λαμπτήρα υδραργύρου.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι λαμπτήρες υδραργύρου παρουσιάζουν πολύ μικρή μεταβολή στο χρώμα για ρύθμιση της φωτεινής ισχύος από 100% έως 25% (διακεκομμένη γραμμή).

Για την περίπτωση των λαμπτήρων υδρογόνου, ο βαθμός που θα περιοριστούν στο πεδίο του χρόνου οι ημιπερίοδοι του ημιτόνου για την επίτευξη της λειτουργίας dimming, καθορίζεται από ένα κύκλωμα που χρησιμοποιεί έναν απλό μετασχηματιστή. Στην παρούσα περίπτωση, δεν είναι απαραίτητη η χρήση ηλεκτρονικού μετασχηματιστή, μιας και δεν παρατηρείται σύμφωνα με τα προηγούμενα, σημαντική μεταβολή του χρώματος κατά τη ρύθμιση της φωτεινής ισχύος.



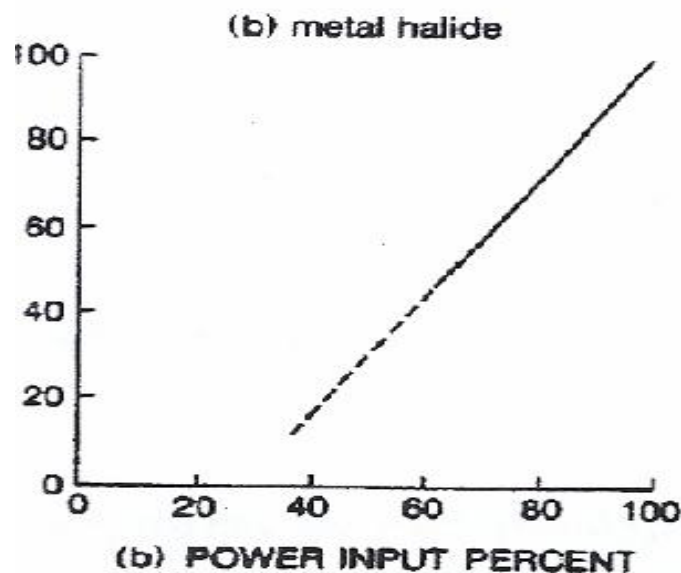


Σχήμα 5.8 Κύκλωμα dimming λαμπτήρα υδρογόνου.

### 5.7 ΚΑΜΠΥΛΗ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΚΥΚΛΩΜΑ DIMMING ΛΑΜΠΗΤΗΡΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΛΟΓΟΝΙΔΙΩΝ

Όπως αναφέρθηκε στο χωρίο των γενικών παρατηρήσεων, οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων δεν συνιστανται για διαβάθμιση της ισχύος τους, επειδή αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανεξέλεγκτες αρνητικές επιδράσεις στην ποιότητα του φωτός τους αλλά και στην διάρκεια της ζωής τους. Εντούτοις, σε πολλές περιπτώσεις, εφαρμόζεται και σε αυτή την περίπτωση λαμπτήρων dimming.

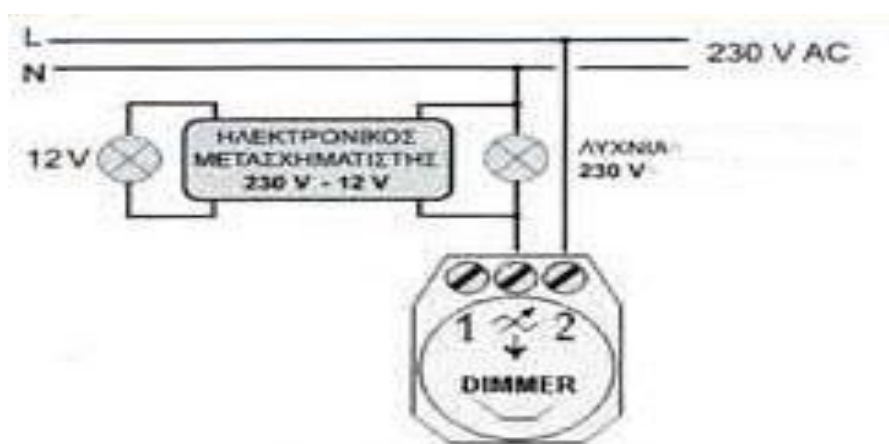
Η καμπύλη φωτεινής ροής ως συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος για ένα τυπικό σύστημα διαβάθμισης λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων υψηλής έντασης εκκένωσης, είναι η ακόλουθη.



Σχήμα 5.9 Καμπύλη φωτεινής ροής ως συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος για ένα τυπικό σύστημα διαβάθμισης λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων.

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι στους λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων, η εμφάνιση και η σύσταση του χρώματος αρχίζει να μεταβάλλεται όταν η ρύθμιση της φωτεινής ροής μειωθεί κάτω του 80%. Για λαμπτήρες μεγαλύτερης ισχύος η αλλαγή του χρώματος ξεκινάει στο 60% της φωτεινής ροής όπου κάνει την εμφάνισή της μια μπλε - πράσινη απόχρωση (χαρακτηριστική του ατμού υδραργύρου).

Για τη λειτουργία dimming όσον αφορά στους λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων, ένεκα του γεγονότος της ύπαρξης σημαντικών επιδράσεων στην ποιότητα του φωτός αλλά και στη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων κατά τη ρύθμιση της φωτεινής ισχύος, είναι απαραίτητη η χρήση ηλεκτρονικών μετασχηματιστών για την επίτευξη ομαλότερης λειτουργίας περιορισμού στο πεδίο του χρόνου, των ημιπεριόδων του ημιτόνου.

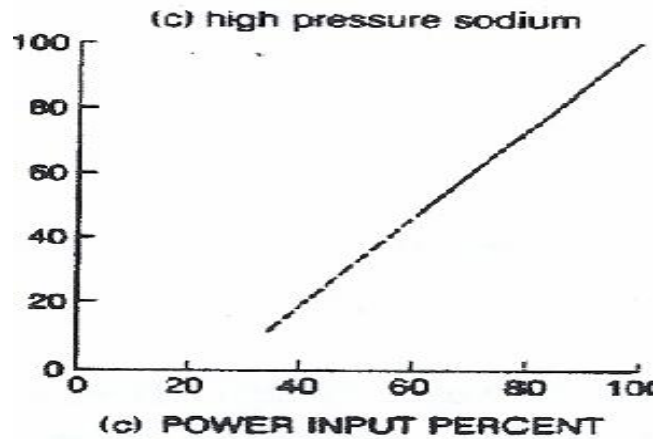


Σχήμα 5.10 Κύκλωμα dimming λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων.

## 5.8 ΚΑΜΠΥΛΗ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΚΥΚΛΩΜΑ DIMMING ΛΑΜΠΗΤΗΡΩΝ ΝΑΤΡΙΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

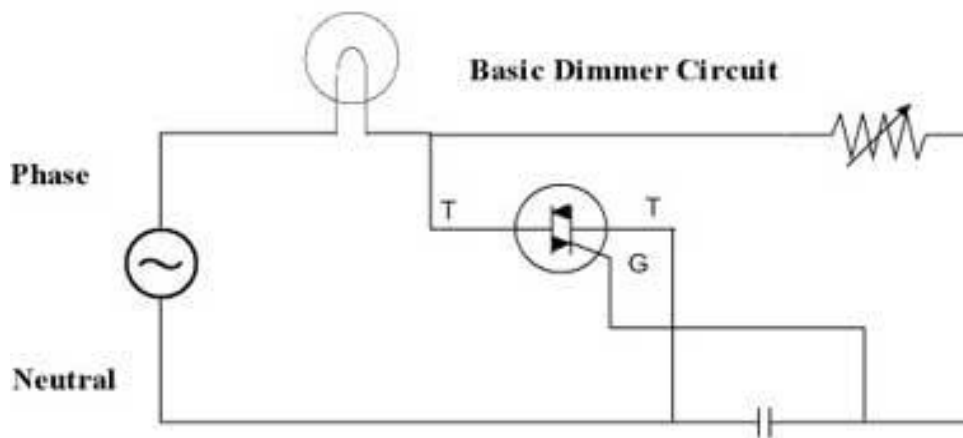
Όσον αφορά στους τυπικούς λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης, η εμφάνιση του χρώματος δεν αλλάζει σημαντικά μέχρι περίπου τη ρύθμιση στο 50% της φωτεινής ροής. Κάτω από το 50% εμφανίζεται ένα ισχυρό κίτρινο χρώμα που είναι χαρακτηριστικό του νατρίου χαμηλής πίεσης.

Η καμπύλη φωτεινής ροής ως συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος για ένα τυπικό σύστημα διαβάθμισης λαμπτήρα νατρίου υψηλής πίεσης, είναι η ακόλουθη.



**Σχήμα 5.11** Καμπύλη φωτεινής ροής ως συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος για ένα τυπικό σύστημα διαβάθμισης λαμπτήρα νατρίου υψηλής πίεσης.

Για την επίτευξη της αποδοτικότερης λειτουργίας dimming όσον αφορά στην περίπτωση των λαμπτήρων υδρογόνου, χρησιμοποιείται ο βασικός τύπος διάταξης που σχετίζεται με τα ηλεκτρονικά κυκλώματα dimming, το οποίο περιλαμβάνει συνήθως και ένα στοιχείο ελέγχου το οποίο δεν επιτρέπει τη ρύθμιση της φωτεινής ισχύος κάτω από το 50% προς αποφυγή φαινομένων εμφάνισης ισχυρού κίτρινου χρώματος σύμφωνα με τα προηγούμενα.



**Σχήμα 5.12** Κύκλωμα dimming λαμπτήρα πυρακτώσεως.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, ο φωτισμός αποτελεί σήμερα στοιχειώδες κομμάτι της υποδομής κάθε σύγχρονης κατασκευής και ως εκ τούτου, η αποδοτικότερη χρήση των διατάξεων που σχετίζονται με αυτόν, αποτελεί μια σημαντική πρόκληση όσον αφορά στον τεχνολογικό τομέα. Οι λαμπτήρες, ως η κατεξοχήν διάταξη παροχής φωτισμού, αποτελούν στο σημερινό τεχνολογικό γίγνεσθαι το σημαντικότερο πεδίο στο οποίο εκδηλώνεται η πρόκληση αυτή.

Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως αποτελούν τους αρχαιότερους τύπους λαμπτήρων και εξαιτίας αυτού του γεγονότος είναι λογικό να εμφανίζουν τη χαμηλότερη δυνατότητα για εξοικονόμηση ενέργειας. Από την άλλη, οι λαμπτήρες LED, όντας η πιο πρόσφατη τεχνολογία, εμφανίζουν ενισχυμένη αυτή την ιδιότητα. Επιπρόσθετα, οι λαμπτήρες φθορισμού, υδραργύρου, μεταλλικών αλογονιδίων και νατρίου αποτελούν ευρέως απαντώμενους τύπους λαμπτήρων σήμερα, με την επιλογή για χρήση τους να καθορίζεται ανά περίπτωση ανάλογα με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις της εκάστοτε κατασκευής.

Η ρύθμιση της φωτεινής ροής (dimming) ως ποσοστό του μέγιστου παραγόμενου φωτός της μετρούμενης φωτεινής ροής ανά μονάδα επιφάνειας και της έντασης φωτισμού που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι, αποτελεί σήμερα μια διαδικασία που υιοθετείται με κύριο σκοπό τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας των λαμπτήρων.

Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως και οι λαμπτήρες πυρακτώσεως με αλογόνα, όπως και όλοι οι λαμπτήρες φθορισμού και οι compact λαμπτήρες φθορισμού, μπορούν να υποστούν διαβάθμιση της ισχύος τους σχεδόν σε όλο το εύρος, συνήθως από 100% έως 10% περίπου. Οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων δεν συνιστανται από τους κατασκευαστές για διαβάθμιση της ισχύος τους, επειδή αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανεξέλεγκτες αρνητικές επιδράσεις στην ποιότητα του φωτός τους και στην διάρκεια της ζωής τους. Τέλος, η ισχύς των λαμπτήρων ατμών νατρίου υψηλής πίεσης και αυτή των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου μπορεί να διαβαθμιστεί αλλά μόνο σε διακριτά επίπεδα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Jacobs A, (2008), 'SynthLight Handbook Chapter 1: Fundamentals', Low Energy Architecture Research Unit, LEARN, London Metropolitan University.
- [2] Karlicek, R., (2014), 'Handbook of Advanced Lighting Technology', Springer International Publishing.
- [3] Kitsinelis, S., (2015), 'Light Sources', CRC Press.
- [4] Lighting Research Center, (2015), 'Illumination Fundamentals'.
- [5] Lutkevich, P. et al., (2012), 'FHWA Lighting Handbook', Parsons Brinckerhoff, New Jersey.
- [6] Ryer A., (2012), 'The Lighting Measurement Handbook', InternationalLight, Newbury Port.
- [7] Κοντορήγας Θ., (2006), 'Φωτισμός και Αρχιτεκτονική', Θεσσαλονίκη.
- [8] Μπισμπικη Γ., (2012), 'Μελετη Συστηματων Εναυσης Με Ρυθμιζομενη Σταθμη Φωτισμου (Electronic Dimmable Ballast)', Αθήνα.
- [9] Χαραλαμπίδης Λ., (2007), 'Εξοικονόμηση Ενέργειας στο Φωτισμό Κτιρίων', Αθήνα.
- [10] Σημειώσεις Φωτοτεχνίας, (2014), Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.