



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ**

**ΓΕΩΡΓΙΑ ΜΠΙΣΜΠΙΚΗ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΑΥΣΗΣ ΜΕ ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΣΤΑΘΜΗ**  
**ΦΩΤΙΣΜΟΥ (ELECTRONIC DIMMABLE BALLAST)**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΘΗΝΑ**

**ΙΟΥΛΙΟΣ 2012**



**ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΑΥΣΗΣ ΜΕ ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΣΤΑΘΜΗ  
ΦΩΤΙΣΜΟΥ (ELECTRONIC DIMMABLE BALLAST)**

**ΜΕΡΟΣ Α:**

**ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

**ΜΕΡΟΣ Β:**

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Επιβλέπων : Φραγκίσκος Τοπαλής  
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την /7/2012

.....  
Φραγκίσκος Τοπαλής  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Σταυρούλα Καβατζά  
Λέκτορας ΕΜΠ

.....  
Γεωργία Μπισμίκη  
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2012

.....  
Γεωργία Μπισμίκη

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Γεωργία Μπισμίκη, 2012

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 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 τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα εργασία ερευνά τις συνθήκες έναυσης και λειτουργίας των λαμπτήρων φθορισμού υπό συνθήκες πλήρους και μειωμένης φωτεινής ροής. Η ρύθμιση της φωτεινής ροής επιτυγχάνεται με τη χρήση συγκεκριμένων ηλεκτρονικών διατάξεων (Electronic Dimmable Ballast) οι οποίες με τον κατάλληλο αισθητήρα αυξομειώνουν τη φωτεινή ροή του λαμπτήρα ανάλογα με το σενάριο που ακολουθούν. Η εργασία αποτελείται από δύο μέρη, το θεωρητικό και το πειραματικό. Στο θεωρητικό μέρος αρχικά γίνεται μία εισαγωγή στα είδη των λαμπτήρων. Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιγράφεται η λειτουργία και η απόδοση των λαμπτήρων φθορισμού. Δίνονται πληροφορίες για τον τρόπο που παράγεται το φως και τους παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία τους. Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των ηλεκτροδίων των λαμπτήρων και του ρόλου τους στην έναυση και στη λειτουργία τους. Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιγράφεται το ηλεκτρικό μέρος των συστημάτων φθορισμού. Συγκεκριμένα αναφέρονται η λειτουργία και τα είδη των μπάλλαστ. Το 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναφέρεται στη διαδικασία του dimming. Στο 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο εξετάζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν τη ζωή των λαμπτήρων. Στο πειραματικό μέρος της εργασίας μελετήθηκε η έναυση και η λειτουργία 5 διαφορετικών συστημάτων μπάλλαστ – λαμπτήρα φθορισμού, κατά τη διάρκεια μέγιστης στάθμης φωτισμού και υπό το καθεστώς dimming. Στο 7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιγράφεται ο σκοπός της εργασίας και η πειραματική διάταξη. Στο 8<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρατίθενται τα πειραματικά αποτελέσματα σε πίνακες ανά συστημα μπάλλαστ – λαμπτήρα. Επιπροσθέτως, έχει γίνει η επεξεργασία τους ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την επίδραση του dimming στη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων. Στο 9<sup>ο</sup> Κεφάλαιο καταγράφονται τα συμπεράσματα τα οποία εξάγονται από τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας και των μετρήσεων.

## **ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ**

Ηλεκτρονικά μπάλλαστ, dimming, λαμπτήρες φθορισμού, χαρακτηριστικά έναυσης, θερμοκρασία ηλεκτροδίου, διάρκεια ζωής λαμπτήρα.

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is to quantify the impact of electronic dimming ballasts (EDBs) on fluorescent lamps, starting their operation at various dimming levels. This thesis is divided into two parts, the theoretical and the experimental part. The 1<sup>st</sup> chapter of the theoretical part is an introduction of the types of lamps and their operating principles. The 2<sup>nd</sup> chapter describes the operation and efficiency of fluorescent lamps. Information is given on how the light is generated and the factors affecting the operation of fluorescent lamps. The 3<sup>rd</sup> chapter is referred to the electrodes of lamps and their role upon the ignition and the operation of fluorescent lamps. The 4<sup>th</sup> chapter refers to ballast technology. Specifically, the types of different ballasts and their functions are presented. In the 5<sup>th</sup> chapter is presented the process of dimming and its characteristics. In the 6<sup>th</sup> chapter are examined the different factors that affect the life of the lamps. In the experimental part of this thesis we studied the ignition and operation of five (5) different systems of ballast-fluorescent lamps, from minimum to maximum level of dimming. The 7<sup>th</sup> chapter refers to the aim of this experiment and presents the experimental method. The 8<sup>th</sup> chapter presents the results of the measurements in tables for each system of ballast-fluorescent lamp. Additionally, the results are elaborated so as to lead to conclusions about the effect of dimming on lamp life. The 9<sup>th</sup> chapter refers to the conclusions that are drawn from the results of the experimental procedure.

## **KEY WORDS**

Electronic ballasts, dimming, fluorescent lamps, starting characteristics, electrode temperature, lamp life.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Φραγκίσκο Τοπαλή του οποίου ο συμβουλευτικός ρόλος υπήρξε καθοριστικός για την εκπόνηση της εργασίας αυτής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα του Ε.Μ.Π. Νικόλαο Χονδράκη για την καθοδήγηση και την αμέριστη συμπαράσταση την οποία μου παρείχε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

### **A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	<b>ΕΙΔΗ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ</b>	<b>10</b>
1.1	Γενικά	10
1.2	Λαμπτήρες πυράκτωσης	11
1.3	Λαμπτήρες εκκένωσης	11
1.4	Δίοδος εκπομπής φωτός (LED)	12
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	<b>ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΩΤΟΣ ΣΤΟΥΣ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ</b>	<b>13</b>
2.1	Γενικά	13
2.2	Λειτουργία	15
2.2.1	Γενικά	15
2.2.2	Διαστάσεις λαμπτήρων φθορισμού	20
2.2.3	Είδη λαμπτήρων φθορισμού	21
2.2.4	Φωτιστικά σώματα	23
2.3	Εκκένωση	25
2.4	Απόδοση	26
2.4.1	Γενικά	26
2.4.2	Επίδραση της συχνότητας	29
2.4.3	Επίδραση της θερμοκρασίας	31
2.4.4	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε σχέση με λαμπτήρες πυράκτωσης	34
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	<b>ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ</b>	<b>36</b>
3.1	Ο ρόλος των ηλεκτροδίων	36
3.2	Είδη ηλεκτροδίων	37
3.3	Χαρακτηριστικά ηλεκτροδίων	39
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	<b>Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΜΠΑΛΛΑΣΤ</b>	<b>42</b>
4.1	Γενικά	42
4.2	Είδη των μπάλλαστ	42
4.2.1	Μαγνητικά μπάλλαστ	42
4.2.2	Υβριδικά μπάλλαστ	45
4.2.3	Ηλεκτρονικά μπάλλαστ	45
4.3	Το ηλεκτρονικό μπάλλαστ	46
4.3.1	Βασικές λειτουργίες	46



4.3.2	Ηλεκτρονικό σύστημα υψηλής συχνότητας	47
4.3.3	Πλεονεκτήματα ηλεκτρονικών έναντι ηλεκτρομαγνητικών μπάλλαστ	49
4.4	Μπάλλαστ ρυθμιζόμενης στάθμης φωτισμού (dimming ballast)	50
4.5	Μέθοδοι έναυσης λαμπτήρα – μπάλλαστ	51
4.6	Χαρακτηριστικά απόδοσης	53
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΡΥΘΜΙΣΗ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΡΟΗΣ – DIMMING</b>		<b>56</b>
5.1	Γενικά	56
5.2	Αρχή λειτουργίας	57
5.3	Αναλογική μέθοδος dimming	59
5.4	Ψηφιακή μέθοδος dimming	61
5.5	Μπάλλαστ DALI	64
5.6	Αρμονική παραμόρφωση	68
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ</b>		<b>69</b>
6.1	Ορισμός	69
6.2	Επεξήγηση των παραγόντων μείωσης του χρόνου ζωής λαμπτήρα φθορισμού	70
6.3	Πειραματικά δεδομένα για το χρόνο ζωής των λαμπτήρων	78
<b>B. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>		
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ</b>		<b>81</b>
7.1	Σκοπός της εργασίας	81
7.2	Πειραματική διάταξη	82
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b>		<b>85</b>
8.1	Εισαγωγή	85
8.2	Πίνακες αποτελεσμάτων	86
8.3	Σύστημα Tridonic –General Electric, 1x49W (1ο σύστημα)	99
8.4	Σύστημα Tridonic -Osram, 1x54W (2ο σύστημα)	102
8.5	Σύστημα Tridonic - General Electric, 1x28W (3ο σύστημα)	105
8.6	Σύστημα Tridonic -Philips, 1x18W (4ο σύστημα)	109
8.7	Σύστημα Philips -Philips, 2x54W (5ο σύστημα)	111
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>		<b>114</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>		<b>117</b>

## **A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΔΗ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ**

#### **1.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Ο λαμπτήρας είναι μία τεχνητή πηγή φωτός. Η απόδοση της φωτεινής ακτινοβολίας που παρέχει είναι πολύ σημαντική στις σύγχρονες συνθήκες ζωής. Γι' αυτό πρέπει να έχει ορισμένα χαρακτηριστικά που θα δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα και θα καλύπτουν όλες τις ανάγκες αλλά και θα επιτρέπουν την απρόσκοπτη λειτουργία του λαμπτήρα.

Τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά των λαμπτήρων είναι τα εξής:

- Θερμοκρασία χρώματος  $T_c$ . Προσδιορίζει την απόχρωση της ακτινοβολίας και μετριέται σε βαθμούς Kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ ). Για  $T_c < 3300^{\circ}\text{K}$  οι λαμπτήρες ανήκουν στη κατηγορία των θερμών χρωμάτων. Για  $T_c > 5000^{\circ}\text{K}$  οι λαμπτήρες ανήκουν στη κατηγορία των ψυχρών χρωμάτων.
- Δείκτης χρωματικής απόδοσης (Ra). Είναι ένας αριθμός που βαθμολογεί πόσο καλά αποδίδονται τα χρώματα σε σχέση με την απόδοσή τους όταν φωτίζονται από φωτεινή πρότυπη πηγή. Οι λαμπτήρες πυράκτωσης έχουν  $R_a=100$  και οι λαμπτήρες φθορισμού 50-100 ανάλογα τη κατασκευή τους.
- Απόδοση Λαμπτήρα. Είναι το κλάσμα της φωτεινής ροής που παράγει ο λαμπτήρας προς την ηλεκτρική του ισχύ. Η μονάδα μέτρησης είναι  $\text{Lm/W}$ .
- Χρόνος ζωής του λαμπτήρα. Αναφέρεται στην αναμενόμενη διάρκεια ζωής του λαμπτήρα. Κυμαίνεται από λίγες χιλιάδες ώρες (λαμπτήρες πυράκτωσης) μέχρι 100000 ώρες (LED).
- Ενεργειακή κλάση. Πρόκειται για ένα χαρακτηριστικό που προστέθηκε τα τελευταία χρόνια στους λαμπτήρες. Ανάλογα με το πόση εξοικονόμηση ενέργειας πετυχαίνει ο λαμπτήρας κατατάσσεται σε μια ενεργειακή κλάση. Οι κλάσεις είναι 7 A, B, C, D, F, G. Οι λαμπτήρες που ανήκουν στη κατηγορία A έχουν τη καλύτερη ενεργειακή συμπεριφορά.

Οι λαμπτήρες διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής της φωτεινής ακτινοβολίας σε λαμπτήρες **πυράκτωσης**, **εκκένωσης** και **Διόδους εκπομπής φωτός (LEDs)**. [1]

## **1.2 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΥΡΑΚΤΩΣΗΣ**

Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στο ότι όταν ένα μεταλλικό νήμα διαρρέεται από ρεύμα, θερμαίνεται και παράγει ακτινοβολία. Οι λαμπτήρες αυτοί έχουν μικρή απόδοση αλλά μεγάλο φάσμα εφαρμογών. Επίσης η θερμοκρασία χρώματος τους κατατάσσεται στο ψυχρό φάσμα και η φωτιστική τους απόδοση είναι περίπου 15 Lm/W. Λόγω της χαμηλής τους απόδοσης και της ενεργοβόρου συμπεριφοράς τους οι λαμπτήρες πυράκτωσης ανήκουν σε μικρή ενεργειακή κλάση. Γι αυτό τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες να αποσυρθούν και να αντικατασταθούν από πιο οικονομικούς λαμπτήρες. Κατασκευάζονται για εύρος ισχύος 25-200W.

Μία εξέλιξη των κλασικών λαμπτήρων πυράκτωσης είναι οι λαμπτήρες πυράκτωσης αλογόνου. Αυτοί οι λαμπτήρες παρουσιάζουν σε σχέση με τους κλασσικούς βελτιωμένη απόδοση και διπλάσιο χρόνο ζωής. Η απόδοσή τους μπορεί να φτάσει μέχρι 25Lm/W.

## **1.3 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ**

Οι πιο συνηθεις λαμπτήρες εκκένωσης είναι:

- Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου χαμηλής πίεσης (φθορισμού)
- Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης
- Λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης
- Λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης
- Μεταλλικών αλογονιδίων

Η λειτουργία τους βασίζεται στην εκκένωση του αερίου που υπάρχει στο εσωτερικό τους. Η φωτεινή ακτινοβολία παράγεται καταρχήν από τον ιονισμό και στη συνέχεια από την αποδιέγερση των ατόμων του αερίου που βρίσκεται στο εσωτερικό του λαμπτήρα. Οι λαμπτήρες εκκένωσης διακρίνονται σε χαμηλής πίεσης και υψηλής

πίεσης ανάλογα με τη πίεση που επικρατεί στο εσωτερικό του λαμπτήρα. Για πίεση μεγαλύτερη των 200mm Hg ο λαμπτήρας είναι υψηλής πίεσης και για πίεση 5-10 mm Hg ο λαμπτήρας είναι χαμηλής πίεσης. Για να επιτευχθεί η απαιτούμενη εκκένωση τόξου χρειάζεται να τοποθετηθεί πηνίο στραγγαλισμού (μπάλλαστ) σε σειρά με το λαμπτήρα. Εξάιρεση αποτελεί ο λαμπτήρας ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης που αντί στραγγαλιστικού πηνίου χρησιμοποιεί αυτομετασχηματιστή. Στους λαμπτήρες φθορισμού θα αναφερθούμε εκτενώς παρακάτω. [2]

#### **1.4 ΔΙΟΔΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΦΩΤΟΣ (LED)**

Στα LED ο ηλεκτρισμός μετατρέπεται κατευθείαν σε φως. Τα LED ουσιαστικά αποτελούνται από ημιαγωγούς. Το χρώμα του φωτός που εκπέμπουν εξαρτάται από το υλικό του ημιαγωγού. Το αρσενικό γάλλιο δίνει κόκκινο και το νιτρικό γάλλιο δίνει μπλε φως. Η απόδοση τους αυξάνεται συνεχώς και προβλέπεται ότι την επόμενη δεκαετία θα ξεπεράσει τα 120 Lm/W. Προσφέρουν αποτελεσματικό φωτισμό και μεγάλη γκάμα από διάφορα χρώματα. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι ο μεγάλος χρόνος ζωής που μπορεί να φτάσει τις 100000 ώρες. Τα LEDs χρησιμοποιούνται στους φωτεινούς σηματοδότες και διαρκούν πολύ περισσότερο και ταυτόχρονα καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια. Τελευταία κυκλοφορούν στην αγορά και φωτιστικά εσωτερικού χώρου που λειτουργούν με LEDs. [3]

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΩΤΟΣ ΣΤΟΥΣ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ**

### **2.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Ο λαμπτήρας φθορισμού ανήκει στη κατηγορία λαμπτήρων εκκένωσης ατμών υδραργύρου χαμηλής πίεσης. Το τοίχωμά του είναι καλυμμένο από φθορίζουσα ουσία. Διαθέτει δύο ηλεκτρόδια στα άκρα του σωλήνα. Τα ηλεκτρόδια είναι κατασκευασμένα από νήμα βολφραμίου που καλύπτεται από μείγμα οξειδίων βαρίου, στροντίου και ασβεστίου. Τα υλικά των ηλεκτροδίων επιλέγονται ώστε να παρουσιάζουν χαμηλή θερμοκρασία θερμοϊονικής εκπομπής. Στο εσωτερικό του λαμπτήρα περιέχονται ευγενή αέρια (νέον και αργό ή ξένον) και υδράργυρος με πίεση  $5 \cdot 10^{-3}$  mmHg στη θερμοκρασία των 40°C. Με τα ηλεκτρόδια πετυχαίνεται θερμοϊονική εκπομπή ηλεκτρονίων απαραίτητα για τη λειτουργία του. Όταν στο λαμπτήρα εφαρμοστεί υψηλή τιμή τάσης στο εσωτερικό του λαμπτήρα προκαλείται εκκένωση του αερίου από την οποία παράγεται υπεριώδης ακτινοβολία. Η υπεριώδης ακτινοβολία προσπίπτει στη φθορίζουσα ουσία που βρίσκεται στο εσωτερικό τοίχωμα του λαμπτήρα και μετατρέπεται σε ακτινοβολία ορατού φάσματος (ορατό φως). Το είδος της φθορίζουσας ουσίας καθορίζει και το φάσμα του εκπεμπόμενου φωτός.

Η απόδοσή τους είναι μέχρι και λίγο πάνω από 100 Lm/W. Αυτό τους κάνει πιο αποδοτικούς και οικονομικούς στη λειτουργία από τους λαμπτήρες πυράκτωσης. Το αρχικό κόστος τους είναι υψηλότερο αλλά γίνεται απόσβεση αυτού λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής και της χαμηλότερης κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος. Επίσης οι λαμπτήρες φθορισμού έχουν τη δυνατότητα ρύθμισης της στάθμης φωτισμού (dimming) με ταυτόχρονη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος. Βασικό εξάρτημά τους είναι το μπάλλαστ που μπορεί να είναι ηλεκτρομαγνητικό ή ηλεκτρονικό. Σκοπός του μπάλλαστ είναι η εξασφάλιση των κατάλληλων συνθηκών έναυσης και ελέγχου της εκκένωσης. Επίσης η δυνατότητα για ρύθμιση της στάθμης φωτισμού είναι εφικτή με χρήση του κατάλληλου μπάλλαστ. Το μπάλλαστ πάντα συνεργάζεται με τον εκκινητή (starter) στα ηλεκτρομαγνητικά. Ο starter προκαλεί τη προθέρμανση των ηλεκτροδίων του λαμπτήρα και δημιουργεί την απαιτούμενη υψηλή τάση που είναι απαραίτητη για την έναυση. Οι παραδοσιακοί starter είναι συνήθως ένας λευκός κύλινδρος. Αποτελούνται από ένα μικρό σωλήνα εκκένωσης που περιέχει τη διμεταλλική επαφή και από ένα αντιπαρασιτικό πυκνωτή. Σήμερα πια

κυκλοφορούν και ηλεκτρονικοί starter που επιτυγχάνουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και καλύτερη έναυση χωρίς θόρυβο και «τρεμπαιγμα».



**Εικόνα 2.1 :** Ηλεκτρομαγνητικό (αριστερά) και ηλεκτρονικό (δεξιά) μπάλλαστ

Στον Πίνακα 1 φαίνονται διάφορες καταναλώσεις λαμπτήρων εκκένωσης και οι αντίστοιχες καταναλώσεις λαμπτήρων πυράκτωσης για απόδοση ίδιας φωτεινής ροής.

**Πίνακας 1 :** Αντιστοίχιση της ισχύος λαμπτήρων φθορισμού και λαμπτήρων πυράκτωσης

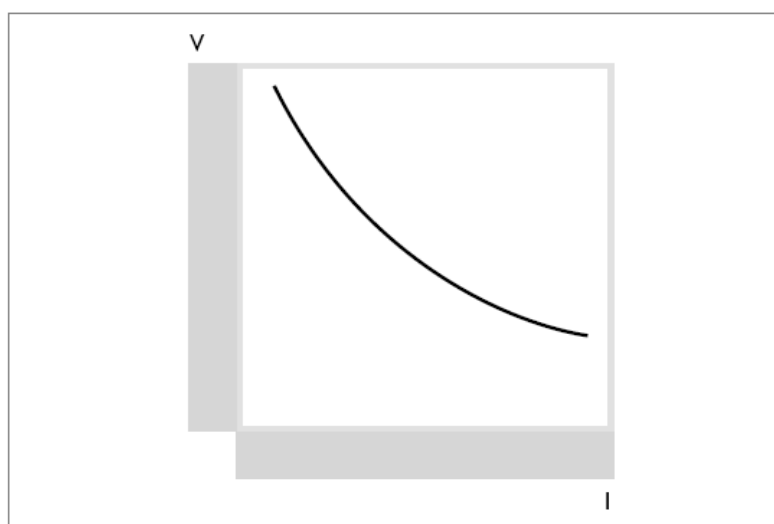
ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ	ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΥΡΑΚΤΩΣΗΣ
5 W	25 W
7 W	40 W
11 W	60 W
15 W	75 W
20 W	100 W
23 W	120 W

Οι κυριότερες εφαρμογές των λαμπτήρων φθορισμού είναι σε χώρους γραφείων, καταστήματα, βιτρίνες και σε βιομηχανικούς χώρους. Λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής και της οικονομικής λειτουργίας χρησιμοποιούνται όπου υπάρχει ανάγκη για πολλές ώρες φωτισμού. Επίσης χρησιμοποιούνται όταν δεν υπάρχει ανάγκη για τέλεια απόδοση των χρωμάτων. Τώρα τελευταία γίνονται προσπάθειες ώστε οι λαμπτήρες φθορισμού να αποκτήσουν πιο «ζεστό» φωτισμό και να μην παράγουν ψυχρή ακτινοβολία που μπορεί να γίνεται δυσάρεστη μερικές φορές. Επιπλέον οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού ή «λαμπτήρες εξοικονόμησης» όπως είναι γνωστοί στην αγορά έχουν κάνει δυνατή τη χρήση τους και στον οικιακό τομέα. [4]

## 2.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

### 2.2.1 Γενικά

Οι λαμπτήρες φθορισμού είναι συσκευές οι οποίες συμπεριφέρονται σαν να έχουν αρνητική ηλεκτρική αντίσταση. Δηλαδή όσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα που διαρρέει τον λαμπτήρα τόσο μειώνεται η τάση στα άκρα του λαμπτήρα και το αντίστροφο. Αυτό σημαίνει ότι όλο και περισσότερο ρεύμα θα διαρρέει το λαμπτήρα κατά τη λειτουργία του. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε ανεξέλεγκτη ροή ρεύματος και καταστροφή του λαμπτήρα. Για τον έλεγχο του ρεύματος λαμπτήρα υπάρχει το μπάλλαστ. Η χαρακτηριστική τάσης – ρεύματος, απλοποιημένη, φαίνεται στην Εικόνα 2.2.



**Εικόνα 2.2 :** Απλοποιημένη χαρακτηριστική τάσης-ρεύματος

Ο ρόλος του μπάλλαστ είναι να ρυθμίζει το ρεύμα του λαμπτήρα. Η συνήθης μορφή του είναι ένα πηνίο τυλιγμένο γύρω από μαγνητικό πυρήνα. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα σιδηρομαγνήτη. Αν η τάση τροφοδοσίας δεν είναι επαρκής το μπάλλαστ είναι ένας αυτομετασχηματιστής με επαγωγική αντίδραση. Χρήσιμο είναι το μπάλλαστ να διαθέτει και πυκνωτή για βελτίωση του συντελεστή ισχύος.

Το στραγγαλιστικό πηνίο (μπάλλαστ) και ο εκκινητής (starter) συνδέονται σε σειρά με το λαμπτήρα. Ο starter αποτελείται από ένα διμεταλλικό έλασμα και χρησιμεύει για την έναυση του λαμπτήρα. Η έναυση δε μπορεί να γίνει με τη συνήθη τάση δικτύου 230 V διότι τα ηλεκτρόδια είναι ψυχρά και δεν μπορούν να εκπέμψουν ηλεκτρόνια. Θα πρέπει και τα ηλεκτρόδια να θερμανθούν και η τάση εκκένωσης να είναι υψηλή. Κατά την εφαρμογή της τάσης του δικτύου ο λαμπτήρας δε διαρρέεται

από ρεύμα, αλλά η τάση στα άκρα των ηλεκτροδίων είναι επαρκής για τη δημιουργία εκκένωσης αίγλης. Η εκκένωση αίγλης θερμαίνει το διμεταλλικό έλασμα και κλείνει το διάκενο. Αυτό σταματά το φαινόμενο της εκκένωσης αίγλης και τα ηλεκτρόδια μαζί με τον εκκινητή διαρρέονται από υψηλό ρεύμα. Η κυκλοφορία υψηλού ρεύματος θερμαίνει τα ηλεκτρόδια και προκαλεί εκπομπή ηλεκτρονίων από αυτά. Παράλληλα λόγω διακοπής της εκκένωσης αίγλης το διμεταλλικό έλασμα ψύχεται, ανοίγει και διακόπτει το κύκλωμα. Το στραγγαλιστικό πηνίο λόγω διακοπής του ρεύματος επάγει πολύ υψηλή τάση, τιμής μεγαλύτερης από αυτή του δικτύου, στα άκρα του λαμπτήρα. Η υψηλή αυτή τάση προκαλεί την έναρξη της εκκένωσης μέσω των ατμών του υδραργύρου. Οι ατμοί υδραργύρου παρήχθησαν κατά την εξάτμιση του υδραργύρου μέσα στο λαμπτήρα λόγω της θέρμανσης των ηλεκτροδίων του. Επειδή η τάση λειτουργίας του εκκινητή είναι μεγαλύτερη από την τάση δικτύου ο εκκινητής παραμένει εκτός λειτουργίας σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας του λαμπτήρα.

Εκτός από τα μαγνητικά μπάλλαστ υπάρχουν και τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ. Τα ηλεκτρονικά χρησιμοποιούν τρανζίστορ για να μετατρέψουν τη συχνότητα του δικτύου (50Hz) σε υψηλή συχνότητα. Επίσης με τη βοήθεια των τρανζίστορ γίνεται ο έλεγχος του ρεύματος. Τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ είναι πιο αποδοτικά από τα μαγνητικά διότι ο λαμπτήρας λειτουργεί καλύτερα σε υψηλότερες συχνότητες. Συνήθως εφαρμόζονται σε λαμπτήρες γρήγορης (rapid) ή στιγμιαίας (instant) έναυσης.

Η κατασκευή ενός ηλεκτρονικού μπάλλαστ ουσιαστικά αποτελείται από ένα μετατροπέα AC/DC/AC. Δηλαδή περιέχει ένα ανορθωτή που ανορθώνει την AC τάση σε συνεχή. Έπειτα η συνεχής τάση με ένα αντιστροφέα μετατρέπεται πάλι σε AC υψηλότερης συχνότητας από αυτή της εισόδου. Ο αντιστροφέας χρησιμοποιεί διαμόρφωση εύρους παλμών. Τα πιο σύγχρονα ηλεκτρονικά μπάλλαστ ελέγχονται από ένα μικροεπεξεργαστή PIC. Η λειτουργία τους είναι πιο πολύπλοκη. Ο μικροεπεξεργαστής όμως τους επιτρέπει λειτουργίες όπως την ανίχνευση κατεστραμμένου ηλεκτροδίου, και συνεργασία του μπάλλαστ με πολλούς τύπους λαμπτήρων. Αυτό επιτρέπει και δυνατότητα ρύθμισης φωτεινότητας, dimming. [5]

Τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ εκτός από την απόδοση πλεονεκτούν των μαγνητικών διότι όταν ανάβει ο λαμπτήρας δεν εμφανίζεται τρεμοπαίξιμο (flickering) του φωτός και δεν υπάρχει θόρυβος κατά τη λειτουργία τους.



Για την επιλογή ενός ηλεκτρονικού μπάλλαστ υπάρχουν έξι κριτήρια σύμφωνα με το NLPIP [6]:

1. Μέθοδος έναυσης. Δύο μέθοδοι έναυσης χρησιμοποιούνται κυρίως με ηλεκτρονικό μπάλλαστ, η γρήγορη έναυση (rapid start) και η στιγμιαία έναυση (instant start). Οι μέθοδοι έναυσης θα αναλυθούν παρακάτω.

Ballast factor. Ο συντελεστής μπάλλαστ είναι ο λόγος της φωτιστικής απόδοσης του λαμπτήρα όταν λειτουργεί με το συγκεκριμένο μπάλλαστ προς τη φωτιστική απόδοση του λαμπτήρα όταν λειτουργεί με ένα μπάλλαστ αναφοράς.

2. Συντελεστής Ισχύος και Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD). Ο συντελεστής ισχύος εκφράζει την άεργο ισχύ (η οποία είναι ανεπιθύμητη) που καταναλώνει το μπάλλαστ. Είναι καλό ο συντελεστής ισχύος να είναι μεγαλύτερος από 0,9. Ο Συντελεστής Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης (THD) εκφράζει ποσοτικά πόσο παραμορφωμένη είναι η τάση και το ρεύμα που εγχέει το μπάλλαστ στο δίκτυο. Υψηλό THD συνεπάγεται μείωση του συντελεστή ισχύος, παρεμβολές σε άλλες ηλεκτρονικές συσκευές και διαταραχές στο ηλεκτρικό δίκτυο. Οι συνήθεις προδιαγραφές απαιτούν THD του ρεύματος να είναι μικρότερο του 32%. Τα πιο ποιοτικά μπάλλαστ έχουν THD <5%.

3. Συμβατότητα Μπάλλαστ-Λαμπτήρα. Οι λαμπτήρες φθορισμού έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις για μπάλλαστ για να επιτύχουν βέλτιστα χαρακτηριστικά λειτουργίας και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Δηλαδή κάθε τύπος λαμπτήρα είναι συμβατός με συγκεκριμένα μπάλλαστ. Ασύμβατα μπάλλαστ μπορεί να προκαλέσουν κακή εκκίνηση και μειωμένο χρόνο ζωής.

4. Αρχικό ρεύμα (inrush current). Το αρχικό ρεύμα είναι ένα στιγμιαίο ρεύμα που παρουσιάζεται όταν ξεκινά τη λειτουργία της μια ηλεκτρονική συσκευή. Η διάρκειά του είναι μικρότερη από 3ms. Το αρχικό ρεύμα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την επιλογή του μπάλλαστ έτσι ώστε να μη προκαλεί άνοιγμα των διακοπών προστασίας και των ασφαλειών του κυκλώματος.

5. Αξιοπιστία του μπάλλαστ. Η εγγύηση που δίνουν οι κατασκευαστές είναι 3-5 χρόνια. Η αξιοπιστία του μπάλλαστ εξαρτάται από την εφαρμοζόμενη τάση και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Επιπλέον παράμετροι της αξιοπιστίας είναι η αντοχή τους σε υπερτάσεις και μεταβατικές καταστάσεις.

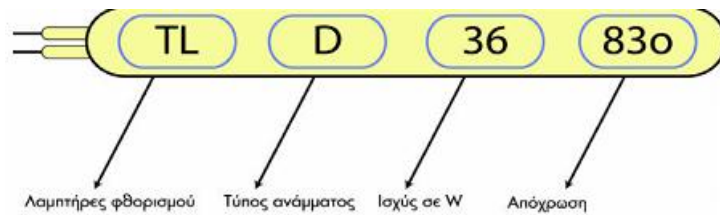
Η αρχή λειτουργίας του λαμπτήρα φθορισμού απαιτεί την ύπαρξη υψηλής τάσης για την **έναυση** του λαμπτήρα. Υπάρχουν 3 είδη έναυσης:

1. Με προθέρμανση (preheat). Με αυτό τον τρόπο τα ηλεκτρόδια προθερμαίνονται πριν την εγκατάσταση του ηλεκτρικού τόξου κατά μήκος του λαμπτήρα.
2. Γρήγορη έναυση (rapid start). Οι λαμπτήρες φθορισμού γρήγορης έναυσης λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο όπως οι κλασικές, αλλά δε διαθέτουν starter. Αντί αυτού το μπάλλαστ διοχετεύει σταθερά ρεύμα στα άκρα των ηλεκτροδίων
3. Στιγμιαία έναυση (instant start). Λέγονται και μπάλλαστ ψυχρής έναυσης. Σε αυτή τη μέθοδο έναυσης μια πολύ υψηλή αρχική τάση εφαρμόζεται στα άκρα των ηλεκτροδίων.

Τα χαρακτηριστικά που χαρακτηρίζουν την έναυση του λαμπτήρα και αποτελούν και κριτήριο για την επιλογή του συνδυασμού λαμπτήρα-μπάλλαστ είναι:

- Τάση έναυσης του λαμπτήρα
- Τάση προθέρμανσης του ηλεκτροδίου
- Ο χρόνος προθέρμανσης των ηλεκτρονίων
- Το ρεύμα αίγλης

Οι λαμπτήρες φθορισμού έχουν κάποια χαρακτηριστικά τα οποία αναγράφονται πάνω τους με κωδικοποιημένη ονομασία. Στην Εικόνα 2.3 φαίνεται η αποκωδικοποίηση αυτών των χαρακτηριστικών.



**Εικόνα 2.3 :** Επεξήγηση της κωδικοποίησης σε λαμπτήρα φθορισμού

Ο τύπος ανάμματος μπορεί να είναι:

- Με μπάλλαστ και starter. Συμβολίζεται με D.
- Με ηλεκτρονικό starter. Συμβολίζεται με HF.
- Ταχείας εκκίνησης. Συμβολίζεται με M.

Η απόχρωση είναι ένας συνδυασμός συγκεκριμένου δείκτη χρωματικής απόδοσης Ra και θερμοκρασίας χρώματος Tc. Π.χ. απόχρωση 83 αναφέρεται σε Ra=85 και σε Tc=3000°K. Οι κατασκευαστές λαμπτήρων φθορισμού προσφέρουν 11 διαφορετικές αποχρώσεις του λευκού, κάθε μία κατάλληλη για συγκεκριμένους χώρους και εφαρμογές. Για να είναι ευχάριστος ο φωτισμός ενός χώρου με λαμπτήρες φθορισμού πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η κατάλληλη απόχρωση.

Μια άλλη κωδικοποίηση που εφαρμόζεται στην ονομασία του λαμπτήρα φθορισμού είναι για παράδειγμα: F30T12/CW/RS

F: αναφέρεται σε λαμπτήρα φθορισμού (Fluorescent)

30: αναφέρεται στην ισχύ σε W του λαμπτήρα

T: αναφέρεται στο σχήμα του λαμπτήρα (Tube=σωλήνας). Αν είναι TC σημαίνει κυκλικού σχήματος.

12: αναφέρεται στη διάμετρο του σωλήνα του λαμπτήρα όπως θα εξηγήσουμε παρακάτω.

CW: αναφέρεται στην απόχρωση του λαμπτήρα, CW= cool white, δηλαδή ψυχρό λευκό.

RS: αναφέρεται στο τρόπο έναυσης rapid start (γρήγορης έναυσης).

## 2.2.2 Διαστάσεις λαμπτήρων φθορισμού

Το μήκος των λαμπτήρων φθορισμού ποικίλλει από 100mm (πολύ μικροί λαμπτήρες) μέχρι 2,43 μέτρα (για λαμπτήρες υψηλής απόδοσης).

Οι λαμπτήρες φθορισμού κατασκευάζονται σε ευθύγραμμη ή κυκλική ή σωληνωτή (τύπου U) μορφή με διαμέτρους 16, 26, 38 mm. Πιο συγκεκριμένα οι λαμπτήρες T12 έχουν διάμετρο 1 ½ inches ή 38mm. Το γράμμα T υποδηλώνει ότι το σχήμα του λαμπτήρα είναι σωληνωτό (tube). Ο αριθμός 12 υποδηλώνει τη διάμετρο του λαμπτήρα μετρημένη σε 1/8 inches. Οι λαμπτήρες T12 λειτουργούν μόνο με μαγνητικό μπάλλαστ και είναι οι πιο ενεργοβόροι. Οι λαμπτήρες T8 έχουν διάμετρο 1 inch ή 26mm. Οι λαμπτήρες T8 λειτουργούν και με μαγνητικό και με ηλεκτρονικό μπάλλαστ. Οι λαμπτήρες T5 έχουν διάμετρο 5/8 inches ή 16mm. Οι λαμπτήρες T5 είναι η τελευταία εξέλιξη στους λαμπτήρες φθορισμού και λειτουργούν μόνο με ηλεκτρονικό μπάλλαστ, γι' αυτό έχουν τα περισσότερα πλεονεκτήματα και καλύτερη απόδοση σε σχέση με τους άλλους δύο τύπους λαμπτήρων.

**Πίνακας 2 :** Ενδεικτικές διαστάσεις και ισχείς διάφορων λαμπτήρων

Είδος Λαμπτήρα	Μήκος	Ονομαστική ισχύς
T5	150 mm	4 W
T5	225 mm	6 W
T5	300 mm	8 W
T5	525 mm	13 W
T8	450 mm	15 W
T12	600 mm	20 W
T12	1200 mm	40 W
T12	1500 mm	65 W, 80 W
T12	1800 mm	75 W, 85 W
T12	2400 mm	125 W

### 2.2.3 Είδη λαμπτήρων φθορισμού

Οι λαμπτήρες φθορισμού μπορούν να χωριστούν σε 2 μεγάλες κατηγορίες:

**1. Γραμμικός λαμπτήρας φθορισμού (ή σωληνωτός):** Λαμπτήρας φθορισμού ευθείας σωληνοειδούς μορφής που φέρει από ένα ζεύγος ακίδων για ηλεκτρική τροφοδοσία σε κάθε άκρο του.

Διακρίνονται σε T12 (38mm διάμετρος), T8 (26mm διάμετρος) και T5 (16mm διάμετρος). Μεγαλύτερη απόδοση παρουσιάζουν οι T5, ενώ το κόστος των T8 είναι μικρότερο από αυτό των T12. Γενικά οι λαμπτήρες T12 χρησιμοποιούνται πολύ σπάνια πια. Σε εφαρμογές όπου χρειάζεται πιο πιστή απόδοση των χρωμάτων πιο κατάλληλοι είναι οι T8 (έχουν το υψηλότερο Ra- ειδικά οι τριφωσφορικοί). Οι διαστάσεις των λαμπτήρων T5 είναι διαφορετικές από τις διαστάσεις T8 και T12, οπότε δε μπορούν να τους αντικαταστήσουν σε ήδη υπάρχοντα φωτιστικά. Να σημειωθεί ότι η απόδοση των λαμπτήρων T5 είναι 21% μεγαλύτερη από αυτή των T8 με ηλεκτρομαγνητικό μπάλλαστ.

**Πίνακας 3 :** Χαρακτηριστικά γραμμικών λαμπτήρων φθορισμού

ΙΣΧΥΣ	20-140 W T12 10-58 W T8 14-80 W T5
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΛΑΜΠΤΗΡΑ	3000-4100 K T12 2700-6500 K T8 3000-6000 K T5
ΔΕΙΚΤΗΣ ΧΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ Ra	60-85 T12 50-98 T8 85 T5
ΦΩΤΕΙΝΗ ΑΠΟΔΟΣΗ	45-100 lm/W T12 77-100 lm/W (τριφωσφορικός με ηλεκτρονικό μπάλλαστ) T8 80-100 lm/W T5

**2. Συμπαγής Λαμπτήρας Φθορισμού (CFL):** Λαμπτήρας φθορισμού ενός άκρου με κυρτό σωλήνα εκκένωσης μικρής διαμέτρου, περίπου 10-16 mm, ο οποίος αποτελεί μία πολύ συμπαγή μονάδα. Το ηλεκτρονικό μπάλλαστ μπορεί να είναι ενσωματωμένο στο λαμπτήρα (βιδωτοί λαμπτήρες) ή ανεξάρτητο. Είναι πιο ακριβοί από τους λαμπτήρες πυράκτωσης αλλά έχουν 8πλάσιο χρόνο ζωής και μεγαλύτερη απόδοση άρα συμφέρει οικονομικά η αντικατάσταση των λαμπτήρων πυράκτωσης με αυτούς.

**Πίνακας 4 :** Χαρακτηριστικά συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού

ΙΣΧΥΣ	3-23 W
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΛΑΜΠΤΗΡΑ	2700-4000 K
ΔΕΙΚΤΗΣ ΧΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ Ra	85
ΦΩΤΕΙΝΗ ΑΠΟΔΟΣΗ	30-65 lm/W



**Εικόνα 2.4 :** Λαμπτήρες φθορισμού. Από πάνω προς τα κάτω, οι 2 πρώτοι είναι συμπαγείς, ο τρίτος T5 και ο τέταρτος T8.



**Εικόνα 2.5 :** Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού SL Comfort, για βιδωτό ντουί.

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά κάποιοι ειδικοί λαμπτήρες φθορισμού για ειδικές εφαρμογές.

1. Λαμπτήρες απόχρωσης 79. Πρόκειται για λαμπτήρες με θερμοκρασία χρώματος 3800 K που τονίζουν τα ζεστά χρώματα, όπως το κόκκινο. Χρησιμοποιούνται σε βιτρίνες ανθοπωλείων, κρεοπωλείων κλπ.
2. Λαμπτήρες απόχρωσης 89. Έχουν θερμοκρασία 10000 °K και για αυτό έντονα ψυχρό φωτισμό. Χρησιμοποιούνται στο φωτισμό ενυδρείων.

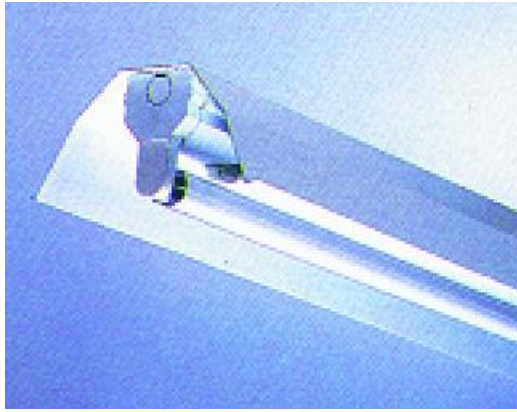
3. Λαμπτήρες μαύρου φωτός. Λαμπτήρες υπεριωδών ακτινοβολιών με περίβλημα φίλτρο με προσμίξεις κοβαλτίου. Χρησιμοποιούνται στην ανίχνευση πλαστών χαρτονομισμάτων και στην αναζήτηση ελαττωματικών προϊόντων.
4. Με εξωτερικό κάλυμμα προστασίας. Αυτοί οι λαμπτήρες έχουν αντιθραυστική προστασία και ακόμη και αν σπάσουν κάθε κομμάτι γυαλιού μένει στη θέση του. Χρησιμοποιούνται σε χώρους που παράγονται, διανέμονται ή πωλούνται τρόφιμα.
5. Λαμπτήρες φθορισμού με ένα σημείο εφαρμογής. Χρησιμοποιούνται σε φωτιστικά αντιακρηκτικού τύπου. Βρίσκουν εφαρμογή σε χώρους που υπάρχει ο κίνδυνος έκρηξης (π.χ. ορυχεία).

#### **2.2.4 Φωτιστικά σώματα**

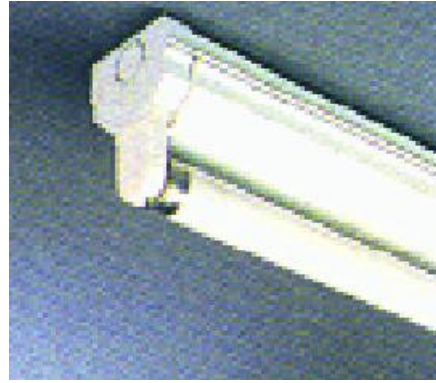
Τα φωτιστικά σώματα παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόδοση των λαμπτήρων φθορισμού.

Τα φωτιστικά σώματα για λαμπτήρες φθορισμού διακρίνονται σε:

- Απλά φωτιστικά σώματα ή σκαφάκια
- Σκαφάκια βιομηχανικού τύπου με ανταυγαστήρες
- Φωτιστικά σώματα με πλαστικό κάλυμμα.
- Φωτιστικά σώματα με περσίδες



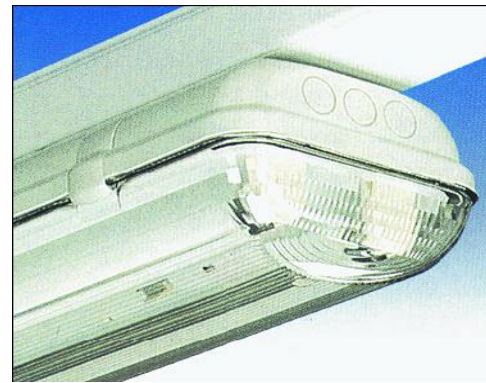
α)



β)



γ)



δ)

**Εικόνα 2.6 :** α) απλό φωτιστικό σώμα, β) σκαφάκι βιομηχανικού τύπου με ανταυγαστήρες, γ) φωτιστικό με περσίδες, δ) φωτιστικό με πλαστικό κάλυμμα

Τα φωτιστικά επίσης διαφέρουν και ως προς τη συνδεσμολογία μπάλλαστ και λαμπτήρων. Υπάρχουν συνδεσμολογίες που κάθε λαμπτήρας του φωτιστικού έχει ξεχωριστό μπάλλαστ και συνδεσμολογίες που 4 λαμπτήρες χρησιμοποιούν 1 μπάλλαστ. Πιο συγκεκριμένα τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ μπορούν να λειτουργήσουν έως 4 λαμπτήρες ταυτόχρονα, ενώ τα ηλεκτρομαγνητικά έως 2 λαμπτήρες. Για παράδειγμα ένα τυπικό φωτιστικό 4X18W καταναλώνει 86,8W όταν λειτουργεί με 2 συμβατικά μπάλλαστ ενώ η κατανάλωσή του μειώνεται στα 74 W όταν 1 ηλεκτρονικό αντικαταστήσει τα 2 συμβατικά.

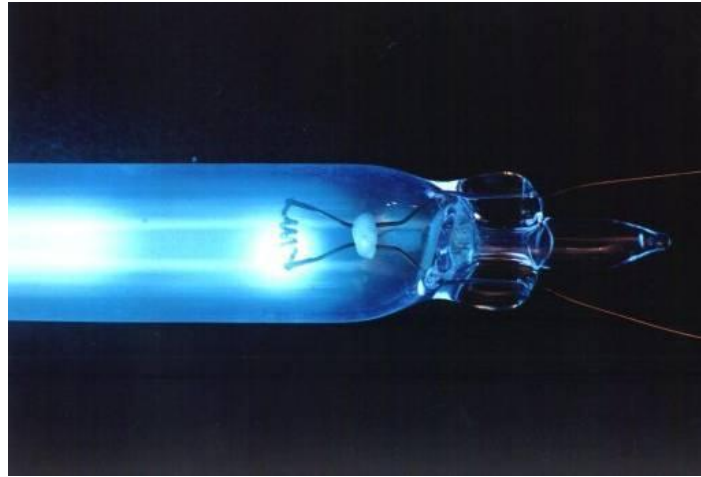
Σημαντικός παράγοντας του φωτιστικού είναι το οπτικό του σύστημα (διαχυτής, κάτοπτρο, περσίδες κλπ). Απαραίτητη είναι η ύπαρξη οπίσθιου ανακλαστήρα διότι έτσι το φως αντανακλάται προς το χώρο και δε χάνεται μέσα στο φωτιστικό. Οι περσίδες χρησιμεύουν στη καλύτερη διάχυση του φωτός και στη καλύτερη ποιότητα φωτισμού του χώρου. Οι συνθετικοί διαχυτές έχουν συνήθως μικρότερο βαθμό



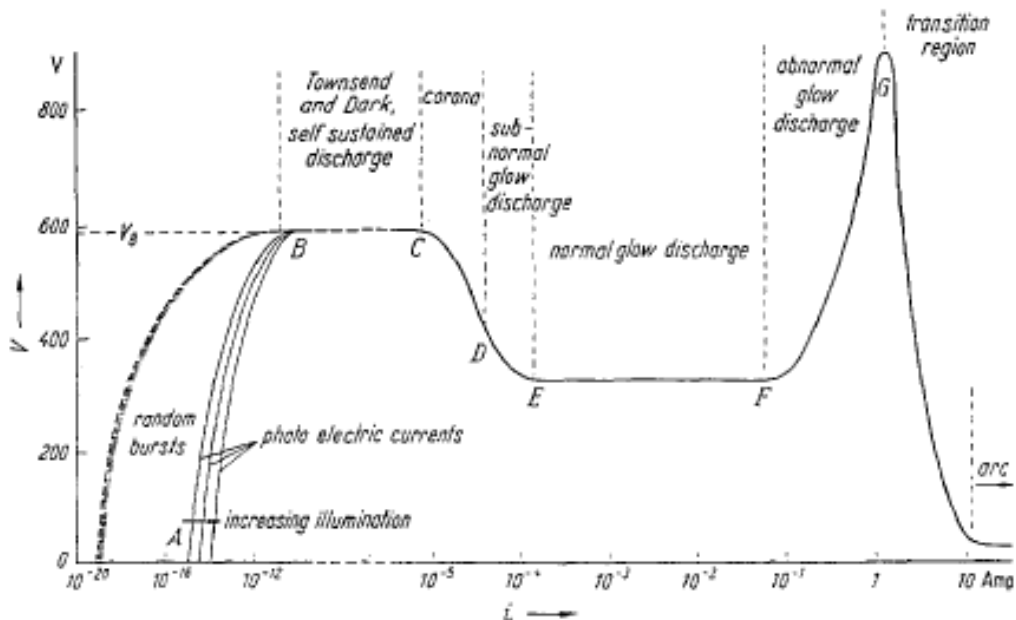
απόδοσης (LOR) και χειρότερο συντελεστή συντήρησης. Τα οπτικά συστήματα από ανοδιωμένο αλουμίνιο εμφανίζουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης (έως 85% έναντι 55%-60% των συνθετικών πολυκαρβονικών διαχυτών) αλλά και σ' αυτή την περίπτωση η ποιότητα της ανοδίωσης και ο βαθμός καθαρότητας του αλουμινίου είναι οι κρίσιμοι παράγοντες. Ο βαθμός καθαρότητας του αλουμινίου επηρεάζει την απόδοση των ανακλαστήρων και κατ' επέκταση των φωτιστικών. Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι αποκλίσεις κλάσματος της εκατοστιαίας μονάδας στην καθαρότητα του αλουμινίου επιφέρουν δεκαπλάσια απόκλιση (μερικές εκατοστιαίες μονάδες) στην ανακλαστικότητα των οπτικών του φωτιστικού. Τα οπτικά βαφής φούρνου έχουν πολύ χειρότερη απόδοση, ειδικότερα δε με την πάροδο του χρόνου οπότε αποσυντίθεται η βαφή και η απόδοση του φωτιστικού μειώνεται σε τιμές μικρότερες του 50%. [7]

### **2.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ**

Όταν ο λαμπτήρας τίθεται σε λειτουργία ρεύμα διαρρέει τα ηλεκτρόδια. Για μια ορισμένη τιμή της τάσης στα άκρα των ηλεκτροδίων υπάρχει εκπομπή ηλεκτρονίων από τα ηλεκτρόδια. Τα ηλεκτρόνια προκαλούν και ιονισμό των ατόμων του ευγενούς αερίου. Η ενέργεια αυτών των ηλεκτρονίων εξατμίζει τον υδράργυρο και τον μετατρέπει σε αέριο. Τα ηλεκτρόνια και τα φορτισμένα σωματίδια του αερίου συγκρούονται με τα αέρια άτομα του υδραργύρου. Από τη σύγκρουση αυτή τα άτομα διεγείρονται και έπειτα αποδιεγείρονται παράγοντας φωτόνια. Τα φωτόνια αυτά είναι στο φάσμα του υπεριώδους. Το υπεριώδες φως πρέπει να μετατραπεί σε ορατό φως. Αυτή τη λειτουργία την αναλαμβάνει η επικάλυψη φωσφόρου που υπάρχει στο εσωτερικό του σωλήνα του λαμπτήρα. Όταν τα φωτόνια που παρήχθησαν στο εσωτερικό του λαμπτήρα προσκρούουν στο φώσφορο τα ηλεκτρόνια του φωσφόρου παίρνουν ενέργεια και ανεβαίνουν σε ανώτερη στιβάδα. Όταν τα ηλεκτρόνια επανέρχονται εκπέμπουν φωτόνια στο ορατό φάσμα. Συνεπώς ο φώσφορος «δίνει» λευκό φως. Η απόχρωση του φωτός μπορεί να διαφοροποιείται χρησιμοποιώντας διαφορετικές προσμίξεις φωσφόρου.



Εικόνα 2.7 : Ηλεκτρόδιο κατά τη λειτουργία του



Εικόνα 2.8 : Μεταβολή τάσης-ρεύματος για διάφορα είδη εκκενώσεων.

## 2.4 ΑΠΟΔΟΣΗ – ΕΠΙΔΡΩΝΤΕΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

### 2.4.1 Γενικά

Η υψηλή απόδοση των λαμπτήρων φθορισμού οφείλεται κυρίως στο εξής γεγονός. Ο υδράργυρος χαμηλής πίεσης όταν διεγείρεται, το 65% της συνολικής ακτινοβολίας είναι σε μήκος κύματος 254nm (ένα υπόλοιπο 10-20% είναι σε μήκος κύματος 185nm). Η υπεριώδης ακτινοβολία που παράγεται από τον υδράργυρο απορροφάται από τη φθορίζουσα ουσία στο εσωτερικό του σωλήνα και μετατρέπεται σε φως στο ορατό φάσμα.

Η ηλεκτρική ενέργεια που τροφοδοτεί ένα σύστημα λαμπτήρα φθορισμού μετατρέπεται σε:

- φωτεινή ενέργεια στο μπάλλαστ. Κάποια μπάλλαστ είναι μέχρι 90% αποδοτικά
- σε πτώση τάσης πάνω στα ηλεκτρόδια
- θερμότητα

Το 85% της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε φως (υπεριώδης και ορατή ακτινοβολία) στους λαμπτήρες φθορισμού. Ωστόσο ένα μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας μετατρέπεται σε ορατό φως. Σε ένα σύγχρονο λαμπτήρα για κάθε 100 φωτόνια που «πέφτουν» πάνω στην επικάλυψη φωσφόρου τα 86 μετατρέπονται σε φωτόνια ορατού φωτός. Η κύρια απώλεια οφείλεται στη χαμηλότερη ενέργεια των φωτονίων ορατής ακτινοβολίας σε σχέση με τα υπεριώδη φωτόνια που είναι η πηγή τους. Συγκεκριμένα μόνο το 45% της ενέργειας της υπεριώδους ακτινοβολίας μετατρέπεται σε ενέργεια ορατής ακτινοβολίας.

Γεγονός είναι πάντως ότι οι λαμπτήρες φθορισμού είναι πιο αποδοτικοί από τους πυρακτώσεως. Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως ξοδεύουν ένα μεγάλο ποσοστό της ενέργειάς τους σε θερμότητα και παρουσιάζουν ένα ποσοστό μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας της τάξης 2%. Αντίθετα οι λαμπτήρες φθορισμού μπορούν να φτάσουν μέχρι 15%.

Η τεχνολογία του μπάλλαστ παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του λαμπτήρα. Τα σύγχρονα ηλεκτρονικά μπάλλαστ μπορούν να επιφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας έναντι των συμβατικών μπάλλαστ. Αυτό διότι τα ηλεκτρονικά βοηθούν στη καλύτερη απόδοση του λαμπτήρα και έχουν μικρότερη κατανάλωση. Τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ σταματούν τη λειτουργία τους όταν ο λαμπτήρας δε λειτουργεί, ενώ το συμβατικό συνεχίζει να καταναλώνει ενέργεια. Έχει μετρηθεί ότι η πραγματική απόδοση σε φωτεινή ροή του λαμπτήρα με μαγνητικό μπάλλαστ είναι 80-95% της ονομαστικής. Τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ έχουν απόδοση σε φωτεινή ροή κατά 10-12% περίπου μεγαλύτερη από τα ηλεκτρομαγνητικά.

Η κατανάλωση του λαμπτήρα είναι χαμηλότερη όταν αυτός λειτουργεί με ηλεκτρονικό μπάλλαστ π.χ. ο λαμπτήρας ονομαστικής ισχύος 36 W καταναλώνει 32 W ενώ με συμβατικό μπάλλαστ η κατανάλωσή του θα ήταν ίση με την ονομαστική (36 W). Επιπροσθέτως, οι απώλειες του ηλεκτρονικού μπάλλαστ είναι μικρότερες του συμβατικού π.χ. σε ένα τυπικό φωτιστικό 2X36 W απαιτείται 1 ηλεκτρονικό μπάλλαστ με απώλειες 8 W ενώ στη συμβατική λειτουργία απαιτούνται 2 μαγνητικά μπάλλαστ με απώλειες 16,2 W, άρα το φωτιστικό με ηλεκτρονική λειτουργία θα καταναλώνει 72 W ενώ με τη συμβατική 88,2 W.

Επίσης η συνεργασία των ηλεκτρονικών μπάλλαστ με τεχνολογίες αυτοματισμού αυξάνει περισσότερο την επιτυγχανόμενη εξοικονόμηση. Για παράδειγμα μπορεί να συνδυαστεί με dimming και να ρυθμίζεται η φωτεινότητα του λαμπτήρα ανάλογα με το φυσικό φωτισμό ή τη χρήση του φωτιζόμενου χώρου.

Ο τρόπος έναυσης επηρεάζει επίσης την απόδοση του λαμπτήρα. Οι λαμπτήρες με γρήγορη έναυση συνεχίζουν να θερμαίνουν τα ηλεκτρόδια και μετά την έναυση του λαμπτήρα. Αυτό το χαρακτηριστικό συνεπάγεται ότι το μπάλλαστ γρήγορης έναυσης έχει ενεργειακές απαιτήσεις 2-4W ανά λαμπτήρα σε σχέση με τα μπάλλαστ στιγμιαίας έναυσης.

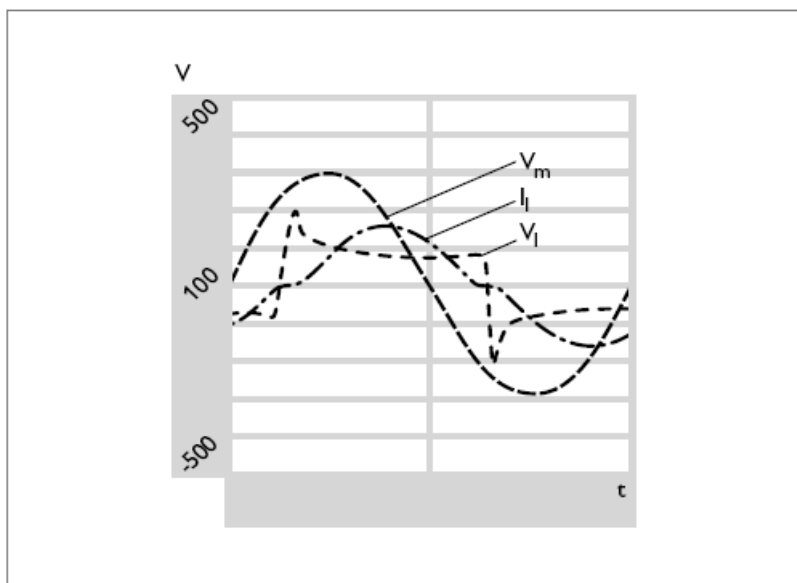
Ένα γενικό συμπέρασμα είναι ότι για την αποδοτική λειτουργία του συστήματος λαμπτήρα-μπάλλαστ σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή του κατάλληλου μπάλλαστ για κάθε λαμπτήρα. Αυτό παίζει μεγαλύτερο ρόλο στη περίπτωση που χρησιμοποιείται ηλεκτρομαγνητικό μπάλλαστ, τα οποία συνεργάζονται με συγκεκριμένη τάση και συχνότητα τροφοδοσίας. Τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ είναι πιο ευέλικτα ως προς τη τάση και συχνότητα τροφοδοσίας. Άρα όταν δε γίνει σωστή επιλογή λαμπτήρα και μπάλλαστ παρουσιάζονται προβλήματα σε:

- χρόνο ζωής λαμπτήρα
- θερμοκρασίες
- έναυση και λειτουργία του λαμπτήρα
- παρεμβολές σε άλλες ηλεκτρονικές συσκευές
- παραγόμενο φως

Επιπλέον η συχνότητα του μπάλλαστ και η θερμοκρασία επηρεάζουν την απόδοση του λαμπτήρα όπως εξηγείται παρακάτω.

#### 2.4.2 Επίδραση της συχνότητας

Οι λαμπτήρες φθορισμού με ηλεκτρομαγνητικό μπάλλαστ που συνδέονται σε δίκτυο τροφοδοσίας 50Hz δε παρουσιάζουν ημιτονική τάση και ρεύμα. (Εικόνα 2.9)



**Εικόνα 2.9 :** Τάση τροφοδοσίας ( $V_m$ ), τάση λαμπτήρα ( $V_l$ ) και ρεύμα λαμπτήρα ( $I_l$ )

Κάθε φορά που το ρεύμα περνά από το 0, ο λαμπτήρας χρειάζεται να επανεκκινήσει και για αυτό χρειάζεται μια τάση επανεκκίνησης (re-ignition voltage peak). Η ισχύς του λαμπτήρα  $W_{la}$  συνδέεται με την αρχική ισχύ  $V_{la} \cdot I_{la}$  με ένα συντελεστή ισχύος  $a$ , όπως φαίνεται από τη σχέση:  $W_{la} = a \cdot V_{la} \cdot I_{la}$ .

Τυπικές τιμές για ένα λαμπτήρα 36W είναι:

$$V_{la} = 103V$$

$$I_{la} = 0,44 A$$

$$W_{la} = 36W$$

$$a = 0,79$$

Παρατηρούμε ότι ο συντελεστής  $a$  είναι χαμηλός.

Αν όμως αυξηθεί η συχνότητα, ο χρόνος που το ρεύμα θα μηδενίζεται θα είναι μικρότερος και θα απαιτείται μικρότερη τάση επανεκκίνησης. Έτσι αυξάνοντας τη συχνότητα η τάση και το ρεύμα λαμπτήρα θα πλησιάζουν περισσότερο την ημιτονοειδή μορφή, με συνέπεια ο συντελεστής  $a$  να είναι μεγαλύτερος (Εικόνα 2.10).

Έτσι ο ίδιος λαμπτήρας αν συνδυαστεί με μπάλλαστ υψηλής συχνότητας (HF) Θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

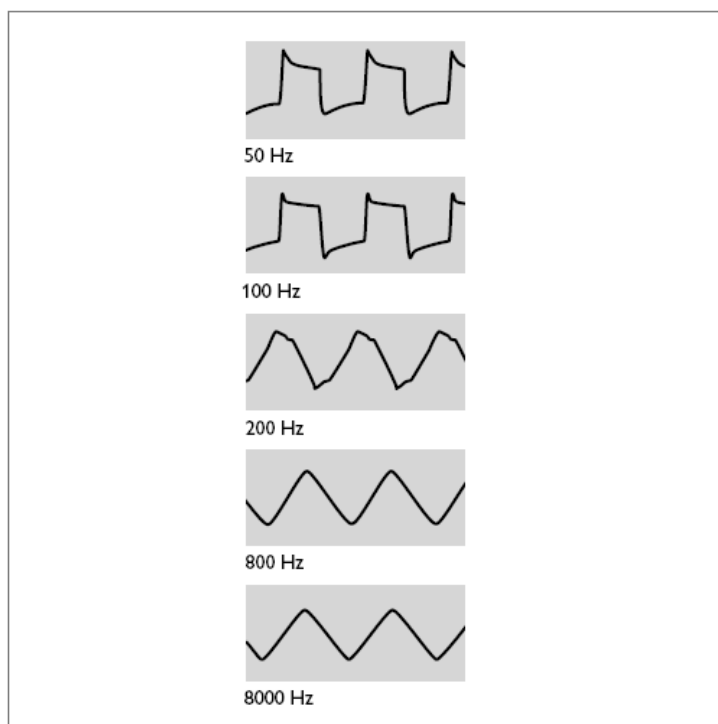
$$V_{la}=103V$$

$$I_{la} =0,32 A$$

$$W_{la} =32W$$

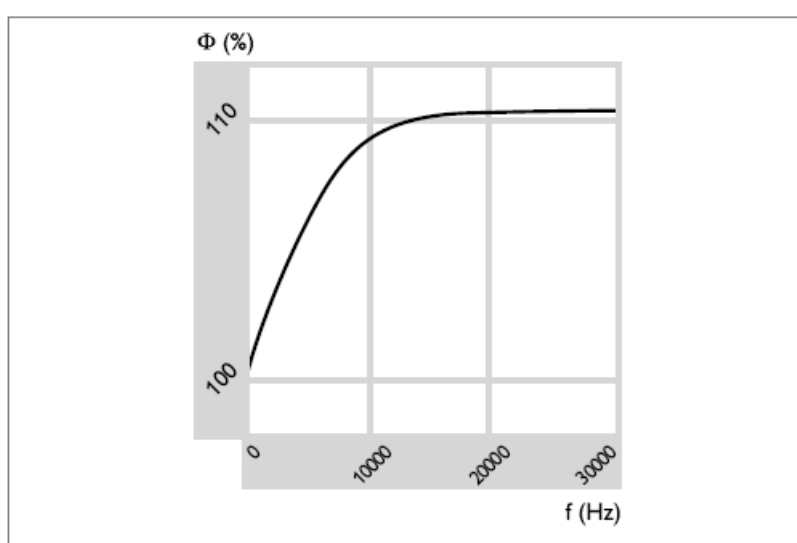
$$a=0,99$$

Παρατηρείται ότι με αύξηση της συχνότητας ο συντελεστής ισχύος αυξάνεται και το ρεύμα μειώνεται. Άρα παρουσιάζεται καλύτερη απόδοση. Αυτή η ανάλυση εξηγεί γιατί τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ είναι πιο αποδοτικά από τα συμβατικά.



**Εικόνα 2.10 :** Τάση λαμπτήρα φθορισμού 36 W συναρτήσει της συχνότητας.

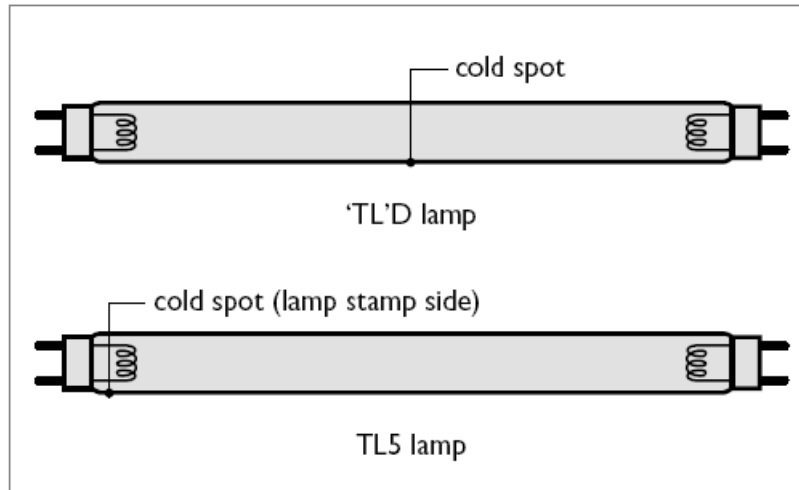
Επιπλέον τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ μπορεί να αυξήσουν την απόδοση ( $Lm/W$ ) του λαμπτήρα κατά 10%, όπως φαίνεται από την Εικόνα 2.11. Ένας από τους λόγους αυτής της καλύτερης απόδοσης είναι η υψηλότερη απόδοση του ηλεκτρικού τόξου εξαιτίας του μικρότερου ρεύματος λαμπτήρα. Η αύξηση της φωτεινής ροής κατά 10% επιτυγχάνεται για συχνότητες μεγαλύτερες από 10kHz. Για λόγους όμως παρεμβολών σε άλλες ηλεκτρονικές συσκευές χρησιμοποιούνται ακόμη πιο υψηλές συχνότητες. Στη πράξη οι κατασκευαστές ανάλογα με το τύπο λαμπτήρα χρησιμοποιούν 24-31kHz και 40-50kHz.



**Εικόνα 2.11** :Φωτεινή ροή σε ποσοστό % σαν συνάρτηση της συχνότητας.

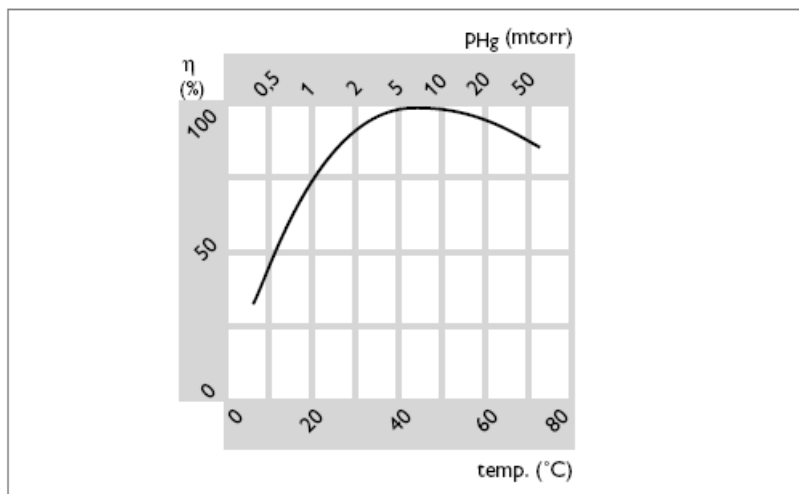
### 2.4.3 Επίδραση της θερμοκρασίας

Για κάθε λαμπτήρα φθορισμού υπάρχει μια βέλτιστη συμπεριφορά που σχετίζεται με τη πίεση του υδραργύρου μέσα στο σωλήνα. Η πίεση του υδραργύρου είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη θερμοκρασία του ψυχρότερου σημείου στο εσωτερικό του σωλήνα. Αυτό το σημείο λέγεται «ψυχρό σημείο» (cold spot). Στους ευθύγραμμους λαμπτήρες TL, TLD το «ψυχρό σημείο» βρίσκεται στη μέση του σωλήνα στο κάτω μέρος. Στους λαμπτήρες T5 βρίσκεται στην άκρη του σωλήνα (Εικόνα 2.12).



**Εικόνα 2.12** Ψυχρό σημείο για λαμπτήρες TLD, T5.

Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του λαμπτήρα υπό διάφορες θερμοκρασίες περιβάλλοντος, η θερμοκρασία του «ψυχρού σημείου» μεταβάλλεται και μαζί με αυτή μεταβάλλεται η απόδοση του λαμπτήρα όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.13. Είναι εμφανές ότι για θερμοκρασία περιβάλλοντος μικρότερη από 20 °C η απόδοση μειώνεται αρκετά. Επίσης σε υψηλές θερμοκρασίες η απόδοση μειώνεται. Υπάρχει δηλαδή μια βέλτιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος για κάθε τύπο λαμπτήρα που πρέπει να δίνει ο κατασκευαστής.

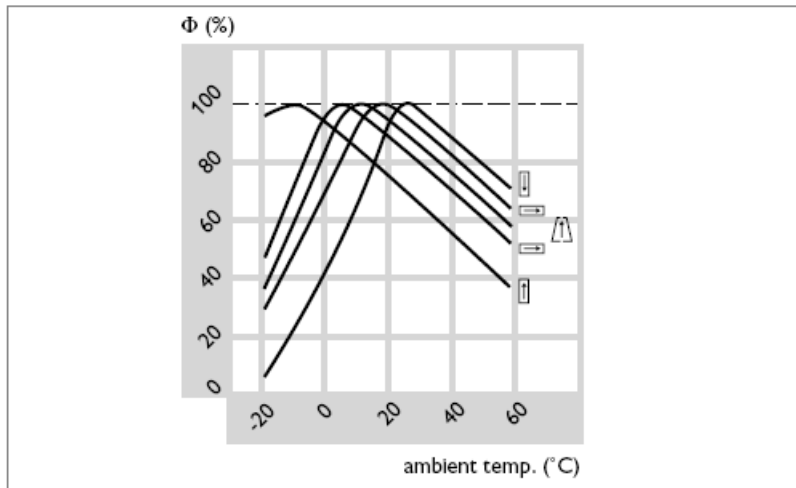


**Εικόνα 2.13 :** Απόδοση λαμπτήρα και πίεση του υδραργύρου σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος

Η λειτουργία του λαμπτήρα επηρεάζεται και από το φωτιστικό σώμα. Αν αυτό είναι κλειστό θα αναπτυχθεί μεγαλύτερη θερμοκρασία. Άρα για την ίδια θερμοκρασία περιβάλλοντος το παραγόμενο φως μπορεί να είναι διαφορετικό ανάλογα με το

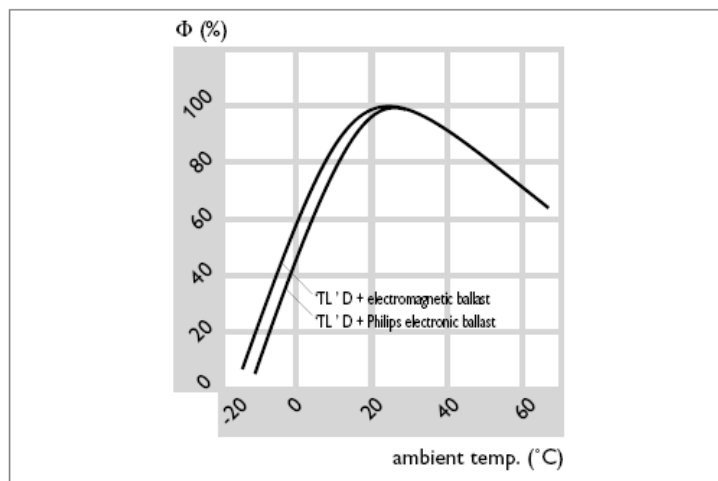


φωτιστικό σώμα. Πάντως για όλους τους λαμπτήρες υπάρχουν διαγράμματα που η φωτεινή ροή συσχετίζεται με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τέτοια διαγράμματα για κάποιους λαμπτήρες φαίνονται στην Εικόνα 2.14.

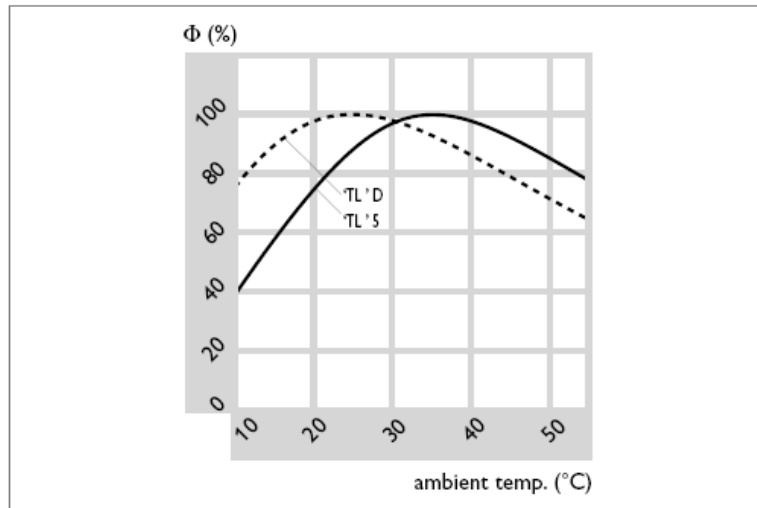


**Εικόνα 2.14 :** Φωτεινή ροή ως ποσοστό σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος για διάφορους λαμπτήρες φθορισμού

Επίσης στην Εικόνα 2.15 γίνεται σύγκριση ανάμεσα στις αποδόσεις λαμπτήρων με ηλεκτρομαγνητικό και με ηλεκτρονικό μπάλλαστ Phillips. Στην Εικόνα 2.16 φαίνεται η μεταβολή της φωτεινής ροής με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος για λαμπτήρα TLD και TL5.



**Εικόνα 2.15 :** Φωτεινή ροή ως ποσοστό σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος για λαμπτήρα με ηλεκτρομαγνητικό και ηλεκτρονικό μπάλλαστ



**Εικόνα 2.16 :** Σύγκριση της φωτεινής ροής σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος μεταξύ λαμπτήρα TLD και λαμπτήρα TL5.

#### 2.4.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε σχέση με λαμπτήρες πυράκτωσης

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα θετικά στοιχεία των λαμπτήρων φθορισμού σε σχέση με τους λαμπτήρες πυράκτωσης καθώς και τα αρνητικά στοιχεία σχετικά με την απόδοσή τους και άλλα χαρακτηριστικά.

##### Πλεονεκτήματα

1. Έχουν πολλαπλάσια απόδοση (Lm/W).
2. Κατά τη λειτουργία τους δεν εμφανίζουν υψηλές θερμοκρασίες.
3. Η ποικιλία και η ένταση του φωτισμού τους επιτρέπει τη χρήση σε πλήθος εφαρμογών.
4. Περιορίζουν το φαινόμενο της θάμβωσης.
5. Το λειτουργικό τους κόστος είναι μικρότερο, αφού καταναλώνουν λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια για την ίδια φωτεινή ροή.
6. Έχουν περίπου 10 φορές μεγαλύτερο χρόνο ζωής Αυτό συνεπάγεται λιγότερο συχνή αντικατάσταση.

## Μειονεκτήματα

1. Απαιτούν τη τοποθέτηση σε ειδικά φωτιστικά. Αυτό σε συνδυασμό με το υψηλότερο κόστος των λαμπτήρων φθορισμού συνεπάγεται υψηλότερο αρχικό κόστος εγκατάστασης.
2. Στη λειτουργία με ηλεκτρομαγνητικό μπάλλαστ έχουν θόρυβο.
3. Ο φωτισμός τους είναι πιο ψυχρός και υστερεί στην απόδοση χρωμάτων.
4. Συχνό άναμμα και σβήσιμο μειώνει το χρόνο ζωής τους.
5. Περιέχουν μικρή ποσότητα υδραργύρου, που είναι τοξικός.
6. Τα ηλεκτρομαγνητικά μπάλλαστ έχουν μικρό συντελεστή ισχύος. Γι' αυτό απαιτείται διόρθωση Συντελεστή ισχύος με πυκνωτές. Επίσης το μπάλλαστ σημαίνει μη γραμμικό φορτίο, άρα έγχυση αρμονικών στο δίκτυο.

Στον Πίνακα 5 φαίνεται μια σύγκριση των διάφορων λαμπτήρων πυράκτωσης και φθορισμού για την απόδοση (Lm/W) και το ποσοστό μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε φωτεινή ενέργεια. [8]

**Πίνακας 5 :** Σύγκριση της απόδοσης για λαμπτήρες πυράκτωσης και φθορισμού

Είδος λαμπτήρα	Lm/W	Ηλεκτρική ενέργεια / φωτεινή ενέργεια
Λαμπτήρας βολφραμίου 100W	13,8	2%
Λαμπτήρας αλογόνου 100W	16,7	2,4%
Λαμπτήρας φθορισμού T12	60	9%
Λαμπτήρας φθορισμού T5	70-100	10-15%
Λαμπτήρας T8 με ηλεκτρονικό μπάλλαστ	80-100	12-15%

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ

### 3.1 Ο ρόλος των ηλεκτροδίων

Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται σε λαμπτήρες εκκένωσης και άλλες συσκευές εκκένωσης διακρίνονται σε θερμά και ψυχρά ηλεκτρόδια.

Τα θερμά ηλεκτρόδια (hot cathode) όταν θερμανθούν κατάλληλα εκπέμπουν ηλεκτρόνια λόγω της θερμοϊονικής εκπομπής. Τα θερμά ηλεκτρόδια πετυχαίνουν υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας από τα ψυχρά και εκπέμπουν περισσότερα ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόδια αποτελούνται συνήθως από βολφράμιο. Επικαλύπτονται όμως και από άλλο υλικό με μικρότερο έργο εξαγωγής, που διευκολύνει την εκπομπή ηλεκτρονίων και μειώνει την απαραίτητη θερμοκρασία. Έργο εξαγωγής (work function) είναι η ενέργεια που χρειάζεται για να απομακρυνθεί ένα ηλεκτρόνιο από το άτομο στο άπειρο. Στο βολφράμιο μπορεί να προστεθεί φθόριο για να βελτιώσει την ικανότητα εκπομπής ηλεκτρονίων. Επίσης αναφέρονται και ηλεκτρόδια κατασκευασμένα από ταλάντιο.

Το υλικό επικάλυψης αποτελείται από οξείδια. Το πρώτο οξείδιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν του βορίου. Σήμερα χρησιμοποιείται συνδυασμός από οξείδια του βορίου, στροντίου και ασβεστίου. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί οξείδιο βορίου, ασβεστίου και αλουμινίου με αναλογία 5:3:2. Το οξείδιο του θορίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης. Για την κατασκευή των ηλεκτροδίων χρησιμοποιούνται ανθρακικά άλατα που μετατρέπονται σε οξείδια με θέρμανση. Η καθαρότητα των υλικών του ηλεκτροδίου είναι καθοριστική για το χρόνο ζωής τους. Επειδή το θόριο είναι τοξικό υπάρχει δυνατότητα να αντικατασταθεί από ζirkονιούχο βολφράμιο. Τα ηλεκτρόδια υψηλών ρευμάτων χρησιμοποιούν  $\text{LaB}_6$ ,  $\text{CeB}_6$ . τα εξαβορίδια ( $\text{B}_6$ ) έχουν χαμηλό έργο εξαγωγής. Επίσης είναι ανθεκτικά στο «δηλητηριασμό» τους. Τα ηλεκτρόδια βοριδίου είναι πιο παράγουν περισσότερο φως από τα ηλεκτρόδια βολφραμίου και έχουν 10-15 φορές μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Αυτά τα ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικά μικροσκόπια, σωλήνες μικροκυμάτων και ακτίνων X και σε laser ελεύθερων ηλεκτρονίων.

Το υλικό επικάλυψης χάνεται με τη πάροδο του χρόνου και με τη λειτουργία του ηλεκτροδίου. Αυτή η φθορά επιταχύνεται όταν το ρεύμα των ηλεκτροδίων είναι πολύ υψηλό. Το αποτέλεσμα είναι εκπομπή λιγότερων ηλεκτρονίων και μειωμένη ισχύς ή

φωτεινότητα ανάλογα με την εφαρμογή. Τα ηλεκτρόδια μπορούν να καταστραφούν αν έλθουν σε επαφή με οξυγόνο ή άλλες χημικές ουσίες (πυρίτιο για παράδειγμα). Αυτές οι ουσίες μπορεί να έχουν διαρρεύσει μέσα στο σωλήνα ή να προέρχονται από κατασκευαστικά υλικά του λαμπτήρα. Αυτή η διαδικασία φθοράς λέγεται «δηλητηριασμός καθόδου». Η αποφυγή του δηλητηριασμού επιτυγχάνεται στους ποιοτικούς λαμπτήρες με σωστή κατασκευή και καθαρά αμιγή υλικά.

Σε αυτό το σημείο χρειάζεται να εξηγήσουμε τι είναι η θερμιονική εκπομπή.

Ο ορισμός της είναι: η ροή φορτίων από μια επιφάνεια ή πάνω από ένα ενεργειακό κατώφλι (εμπόδιο) που προκλήθηκε από θερμότητα. Αυτό πολύ απλά συμβαίνει επειδή η θερμότητα που προσφέρεται υπερνικά τις δυνάμεις που κρατούν το φορτίο δέσμιο. Τα φορτία μπορεί να είναι ηλεκτρόνια ή ιόντα.

Κλασικό παράδειγμα θερμιονικής εκπομπής είναι η εκπομπή ηλεκτρονίων από μια θερμή μεταλλική κάθοδο προς το κενό, που χρησιμοποιείται στους σωλήνες κενού. Η θερμιονική εκπομπή είναι πολύ χρήσιμη στη λειτουργία ηλεκτρονικών συσκευών. Το φορτίο που εκπέμπεται αυξάνεται εκθετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Βέβαια η εκπομπή από μέταλλα επιτυγχάνεται για θερμοκρασίες άνω των 1000K. [9]



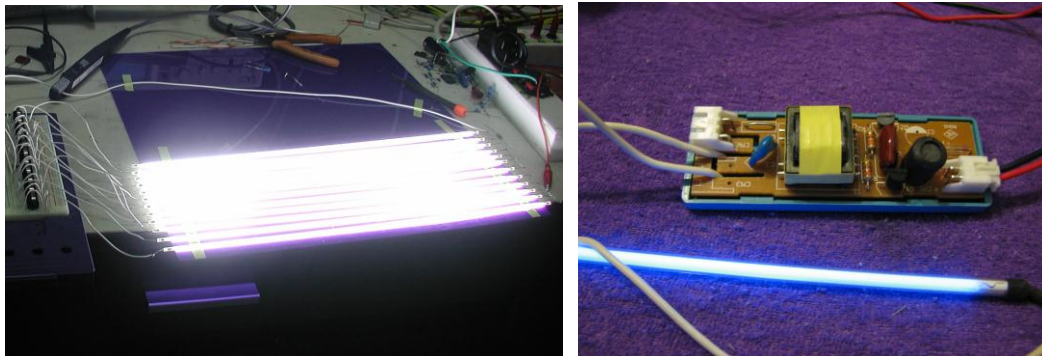
**Εικόνα 3.1 :** Κοντινή άποψη ηλεκτροδίων λαμπτήρα φθορισμού.

### 3.2 ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

Τα ψυχρά ηλεκτρόδια (cold cathode) χρησιμοποιούνται επίσης σε σωλήνες κενού και λαμπτήρες εκκένωσης. Το ψυχρό ηλεκτρόδιο δεν απαιτεί θερμότητα για να εκπέμπει ηλεκτρόνια. Ωστόσο το ηλεκτρόδιο μπορεί να λειτουργήσει σε θερμοκρασίες ανάλογες με τις υψηλές θερμοκρασίες του θερμού ηλεκτροδίου. Το θερμό ηλεκτρόδιο

χρησιμοποιεί θερμότητα και τη θερμοϊονική εκπομπή για να εκπέμψει ηλεκτρόνια. Στο ψυχρό ηλεκτρόδιο δεν απαιτείται θερμότητα αλλά μια τάση κατάλληλα υψηλή. Αυτή η τάση προκαλεί την αποδέσμευση των ηλεκτρονίων ακόμη και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η ψυχρή κάθοδος δε θερμαίνεται αρχικά αλλά μετά από ένα διάστημα λειτουργεί σε υψηλότερη θερμοκρασία. Για να επιτευχθεί η εκπομπή ηλεκτρονίων τα ψυχρά ηλεκτρόδια λειτουργούν σε μεγαλύτερη τάση απ' ό,τι τα θερμά ηλεκτρόδια δημιουργώντας ένα ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο κοντά στα ηλεκτρόδια. Οι λαμπτήρες ψυχρής καθόδου είναι γενικά λιγότερο αποδοτικοί διότι η πτώση τάσης είναι μεγαλύτερη κατά μήκος του σωλήνα και υπάρχει μεγαλύτερος διασκορπισμός ενέργειας στα άκρα του λαμπτήρα που δεν αποδίδει φως.

Υπάρχουν λαμπτήρες φθορισμού ψυχρών ηλεκτροδίων (ή ψυχρής καθόδου) που ονομάζονται CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp). Οι λαμπτήρες νέον είναι πολύ κοινή εφαρμογή λαμπτήρα ψυχρής καθόδου. Τα ψυχρά ηλεκτρόδια βρίσκουν εφαρμογή και σε οθόνες LCD. Σε συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος χωρίς ξεχωριστή άνοδο η θερμοκρασία του ηλεκτροδίου ανυψώνεται κατά τη λειτουργία. Αυτή η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει θερμοϊονική εκπομπή βοηθώντας στην εκπομπή ηλεκτρονίων και στον ιονισμό του αερίου που είναι το ζητούμενο. Οι λαμπτήρες φθορισμού στιγμιαίας έναυσης εκμεταλλεύονται αυτό το γεγονός. Ξεκινούν τη λειτουργία τους σαν λαμπτήρας ψυχρής καθόδου, αλλά μετά από λίγο η σωρευμένη θερμότητα στο νήμα βολφραμίου τον αναγκάζει να λειτουργήσει σαν κανονικός λαμπτήρας θερμής καθόδου. Από την άλλη οι λαμπτήρες CCFL δεν έχουν δυνατότητα για μεγάλο εύρος ρύθμισης (dimming). Αυτό διότι το χαμηλό ρεύμα στο σωλήνα θα προκαλέσει μικρότερη θερμοκρασία στη κάθοδο, γεγονός που οδηγεί σε ακανόνιστη λειτουργία και μείωση του χρόνου ζωής. Οι συσκευές ψυχρής καθόδου έχουν ένα πολύπλοκο κύκλωμα τροφοδοσίας υψηλής τάσης για περιορισμό του ρεύματος. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία των ηλεκτροδίων το ρεύμα αυξάνεται (λόγω μείωσης της αντίστασης). Για να μειωθεί αυτό το φαινόμενο η τάση τροφοδοσίας σταδιακά μειώνεται (για να μειωθεί και το ρεύμα). Αν δεν υπήρχε αυτός ο μηχανισμός περιορισμού του ρεύματος η ανεξέλεγκτη αύξησή του μπορεί να κατέστρεφε τη τροφοδοσία του λαμπτήρα ή τα ηλεκτρόδια λόγω υπερθέρμανσης.



**Εικόνα 3.2 :** Παραδείγματα λαμπτήρων φθορισμού ψυχρής καθόδου (CCFL)

Ο λαμπτήρας φθορισμού έχει 2 ηλεκτρόδια με διπλό ή τριπλό τύλιγμα βολφραμίου με επικάλυψη από υλικό που μπορεί να εκπέμπει ηλεκτρόνια με θερμιονική εκπομπή. Τα 2 ηλεκτρόδια είναι τοποθετημένα στα 2 άκρα του λαμπτήρα. Όλοι οι λαμπτήρες εκκένωσης έχουν 2 ηλεκτρόδια που λειτουργούν σαν κάθοδος (αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο) και άνοδος (θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο). Και τα 2 ηλεκτρόδια λειτουργούν εναλλάξ σαν άνοδος και κάθοδος λόγω της παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος.

### 3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

Δυο σημαντικά χαρακτηριστικά των ηλεκτροδίων είναι:

1. Η γεωμετρία των ηλεκτροδίων. Καθορίζει πόση ενέργεια απαιτείται για τη θέρμανση των ηλεκτροδίων σε θερμοκρασία θερμιονικής εκπομπής.
2. Η σύσταση του υλικού επικάλυψης. Καθορίζει τις ιδιότητες της θερμιονικής εκπομπής και τις χαρακτηριστικές τάσης –ρεύματος αίγλης. Εν τέλει καθορίζει τη θερμοκρασία που θα συμβεί η θερμιονική εκπομπή.

Τα ηλεκτρόδια λειτουργούν σαν διεπαφή ανάμεσα στο ηλεκτρικό κύκλωμα και την εκκένωση που συμβαίνει στο λαμπτήρα. Η λειτουργία των ηλεκτροδίων είναι πολύ σημαντική για τη λειτουργία του λαμπτήρα και το χρόνο ζωής του. Η λειτουργία των ηλεκτροδίων στους λαμπτήρες φθορισμού είναι αρκετά πολύπλοκη διότι επηρεάζεται από πολλές φυσικές και χημικές παραμέτρους.

Ο σχεδιασμός των ηλεκτροδίων πρέπει πάντα να συμβιβάζεται ανάμεσα στη σωστή έναυση, στη σωστή δημιουργία του ηλεκτρικού τόξου και στην σταθερή λειτουργία του λαμπτήρα. Βασικές απαιτήσεις για τα υλικά των ηλεκτροδίων είναι:

- Μικρό έργο εξαγωγής
- Μικρός ρυθμός εξάτμισης (evaporation rate)
- Χαμηλή ικανότητα αντίδρασης με τα περιεχόμενα αέρια και τον υδράργυρο του λαμπτήρα

Τα ηλεκτρόδια των λαμπτήρων φθορισμού έχουν επικάλυψη από στοιχεία BaO, CaO, SrO. Το χαμηλό έργο εξαγωγής είναι σημαντικό χαρακτηριστικό για τα ηλεκτρόδια των λαμπτήρων φθορισμού. Το έργο εξαγωγής αυξάνεται λόγω απώλειας ατόμων Ba από τα ηλεκτρόδια. Συνεπώς ο ρυθμός απώλειας των ατόμων Ba σχετίζεται με το χρόνο ζωής του λαμπτήρα. Ο μηχανισμός απώλειας των ατόμων Ba είναι πολύπλοκος και όχι πλήρως κατανοητός. Έχει βρεθεί ότι η εκπομπή ατόμων Ba στην άνοδο και στη κάθοδο είναι διαφορετική. Συγκεκριμένα όταν το ηλεκτρόδιο λειτουργεί ως άνοδος υπάρχει μεγαλύτερη απώλεια απ' ότι αν λειτουργεί σα κάθοδος. Το ρεύμα εκκένωσης και η θερμοκρασία ηλεκτροδίου επηρεάζουν επίσης το μηχανισμό απώλειας ατόμων Ba. Γενικά η φθορά του υλικού επικάλυψης εξαρτάται από τον τρόπο έναυσης του λαμπτήρα και τη θερμοκρασία των ηλεκτροδίων. Γρηγορότερη φθορά του υλικού επικάλυψης σημαίνει και γρηγορότερη αχρήστευση του λαμπτήρα φθορισμού.

Για σωστή λειτουργία και μεγαλύτερο χρόνο ζωής η θερμοκρασία του ηλεκτροδίου πρέπει να διατηρείται σε ένα εύρος τιμών. Δηλαδή η θερμοκρασία πρέπει να είναι αρκετά υψηλή ώστε να δημιουργείται ρεύμα λαμπτήρα μερικών εκατοντάδων mA και να μη προκαλείται φθορά ηλεκτροδίου και αρκετά χαμηλή ώστε να μην έχουμε εξάτμιση του υλικού της επικάλυψης. Για έργο εξαγωγής 1,5eV η θερμοκρασία ηλεκτροδίου είναι 1350K. Γενικά η θερμοκρασία του ηλεκτροδίου πρέπει να κυμαίνεται από 700 ως 1000 oC για μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Επίσης χαρακτηριστικές πυκνότητες ρεύματος είναι 10 A/cm<sup>2</sup>.

Η σωστή κατασκευή των ηλεκτροδίων είναι πολύ σημαντική για τη λειτουργία του λαμπτήρα φθορισμού. Η λάθος σχεδίαση του ηλεκτροδίου και των διαστάσεων του οδηγεί σε γρήγορη φθορά και συνεπώς σε μειωμένο χρόνο ζωής. Ο λαμπτήρας φθορισμού παύει να λειτουργεί αν το ηλεκτρόδιο καταστραφεί (κοπεί).



Το ηλεκτρόδιο μπορεί να κοπεί στο σημείο σύνδεσης με τη βάση στήριξης. Σε αυτή την περίπτωση η καταστροφή επέρχεται από το βομβαρδισμό ιόντων. Επίσης το ηλεκτρόδιο μπορεί να κοπεί σε σημείο που βρίσκεται στη περιέλιξη του ηλεκτροδίου. Σε αυτή τη περίπτωση η καταστροφή προκαλείται από την εξάτμιση του βολφραμίου του νήματος. [10]

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΩΝ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ**

### **4.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Το μπάλλαστ για ένα λαμπτήρα φθορισμού 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.

Τα μπάλλαστ καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια ενώ παράγουν τις απαραίτητες συνθήκες στο κύκλωμα (τάση, ρεύμα και κυματομορφή) ώστε να γίνει η έναυση και να λειτουργήσει ο λαμπτήρας.

Τρία είναι τα βασικά είδη μπάλλαστ: τα μαγνητικά, τα υβριδικά και τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ. Στην ελληνική βιβλιογραφία δεν υπάρχει κάποιος γενικά αποδεκτός όρος για το μπάλλαστ. 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.

### **4.2 ΕΙΔΗ ΜΠΑΛΛΑΣΤ**

#### **4.2.1 Μαγνητικά μπάλλαστ**

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. Ένα σύστημα λαμπτήρα-μπάλλαστ που αποτελείται από ένα μαγνητικό μπάλλαστ και δύο 32-W T8 λαμπτήρες έχει ισχύ 80W. 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.

Για να δοθεί στο λαμπτήρα η μεγάλη τάση κατά την έναυση δεν αρκεί μόνο το μαγνητικό μπάλλαστ. Υπάρχει και ένας πρόσθετος χωριστός μηχανισμός που ονομάζεται εκκινητής (starter). 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.

Στην Εικόνα 3.3 φαίνονται το πηνίο (B), ο λαμπτήρας (La) και ο εκκινητής (S). Εννοείται ότι κατά τη λειτουργία ο εκκινητής είναι ανοικτός και το ρεύμα περνά μόνο μέσω του λαμπτήρα. Για το ρεύμα και την ισχύ του λαμπτήρα ισχύουν οι σχέσεις:

$$I_l = \frac{V_m - V_l}{Z_b} \qquad P_l = V_l \cdot I_l \cdot a_l$$

όπου:

$I_l$ : ρεύμα λαμπτήρα

$V_l$ : τάση λαμπτήρα

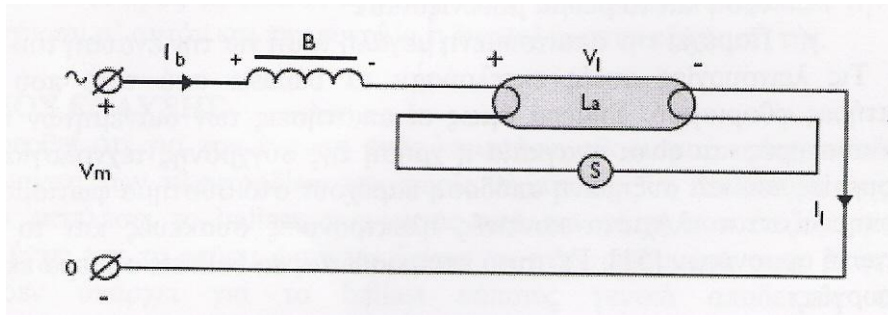
$V_m$ : τάση δικτύου

$Z_b$ : σύνθετη αντίσταση μπάλλαστ

$P_l$ : ισχύς λαμπτήρα

$a_l$ : συντελεστής λαμπτήρα (μία σταθερά που ορίζεται από τη σχέση

$a_l = \frac{W_l}{V_l \cdot I_l}$  και παίρνει τιμές από 0,8 έως 0,9.



**Εικόνα 4.1 :** Διάταξη λαμπτήρα φθορισμού που οδηγείται από ηλεκτρομαγνητικό μπάλλαστ με εκκινητή

Η τάση του λαμπτήρα για λειτουργικούς λόγους πρέπει να είναι η μισή περίπου από την τάση του δικτύου. Στο σύστημα της εικόνας 4.1 το ρεύμα του λαμπτήρα υστερεί της εφαρμοζόμενης τάσης κατά γωνία  $\varphi$ . Το ρεύμα και η τάση του λαμπτήρα είναι σε φάση. Ο συντελεστής ισχύος ( $\Sigma.I.$ ) του κυκλώματος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\Sigma.I. = \frac{W_l + W_b}{V_m \cdot I_m}$$

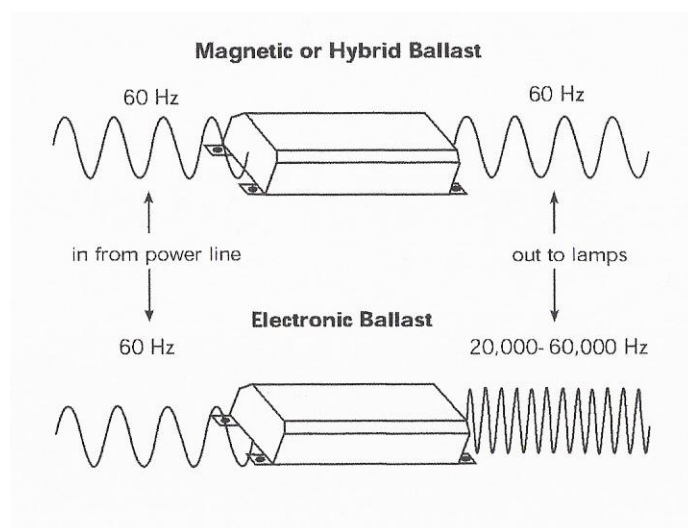
όπου  $W_l$ ,  $W_b$  είναι η ισχύς που απορροφούν ο λαμπτήρας και το μπάλλαστ αντίστοιχα. Αν δεν τοποθετηθεί ένας πυκνωτής παράλληλα στο κύκλωμα ο συντελεστής ισχύος είναι περίπου 0,5. Με τοποθέτηση του κατάλληλου πυκνωτή ο συντελεστής αυξάνεται σε 0,95 ως 0,98 οπότε και βελτιώνεται η απόδοση του συστήματος.

Ο τύπος του μπάλλαστ που περιγράφηκε ονομάζεται τύπος με προθέρμανση στην έναυση (preheat start type). Ο ίδιος τύπος υπάρχει και με αυτομετασχηματιστή για υψηλότερες τάσεις. Υπάρχουν μπάλλαστ με γρήγορη έναυση (rapid start type) 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 (instant start type) που δίνει στην εκκίνηση μια μεγάλη τάση ώστε να γίνει η έναυση, αλλά με αυτό τον τρόπο ως γνωστόν καταστρέφονται τα ηλεκτρόδια πιο σύντομα.

Το Υπουργείο Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών (DOE) σχεδιάζει την εξάλειψη και πλήρη αντικατάσταση των μαγνητικών μπάλλαστ στις νέες κατασκευές και ανακαινίσεις των καταναλωτικών και βιομηχανικών κτιρίων έως το 2010.

## 4.2.2 Υβριδικά μπάλλαστ

Τα υβριδικά αποτελούνται από μαγνητικό μετατροπέα πυρήνα-πηνίου και ένα ηλεκτρονικό διακόπτη για τη θέρμανση των ηλεκτροδίων του κυκλώματος. Όπως τα μαγνητικά έτσι και τα υβριδικά μπάλλαστ θέτουν σε λειτουργία τους λαμπτήρες φθορισμού στη συχνότητα της γραμμής. Τα υβριδικά μπάλλαστ (γνωστά και ως μπάλλαστ αποσύνδεσης καθόδου cathode-disconnect ballasts) διακόπτουν τη θέρμανση των ηλεκτροδίων μετά την εκκίνηση του λαμπτήρα. Εξοικονομούν περίπου 9W όταν λειτουργούν με δύο λαμπτήρες 32W T8 σε σύγκριση με τα μαγνητικά μπάλλαστ. Τα υβριδικά κοστίζουν περισσότερο από τα μαγνητικά αλλά λιγότερο από τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ.



Εικόνα 4.2 : Συχνότητες λειτουργίας των Μπάλλαστ (σε Hertz)

## 4.2.3 Ηλεκτρονικά μπάλλαστ

Στην αρχή της δεκαετίας του 80, η τεχνολογική πρόοδος στον τομέα της στερεάς κατάστασης και των υλικών επέτρεψε στους κατασκευαστές των μπάλλαστ να αντικαταστήσουν το σύστημα πυρήνα-πηνίου με ηλεκτρονικά εξαρτήματα που λειτουργούν τους λαμπτήρες με συχνότητα 20 έως 60kHz. Αυτά τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ έχουν περίπου τη μισή ενεργειακή απώλεια σε σχέση με τα μαγνητικά και πολλά άλλα πλεονεκτήματα που παρατίθενται στη συνέχεια.

Το κύριο χαρακτηριστικό του ηλεκτρονικού μπάλλαστ είναι ότι μετατρέπει τη συχνότητα του ρεύματος του δικτύου από 50 ή 60 Hz σε μερικές δεκάδες kHz και με

αυτή τη συχνότητα τροφοδοτεί τον λαμπτήρα. Επιπλέον, τα πιο προηγμένης τεχνολογίας δίνουν άλλη συχνότητα στην έναυση και άλλη στη λειτουργία ώστε να επιτύχουν και καλύτερη έναυση και να προκύπτει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στους λαμπτήρες.

### **4.3 ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΠΑΛΛΑΣΤ**

#### **4.3.1 Βασικές λειτουργίες**

Ένα ηλεκτρονικό μπάλλαστ εκτελεί τις εξής βασικές λειτουργίες:

- Περιορίζει και σταθεροποιεί το ρεύμα του λαμπτήρα, λόγω της αρνητικής αντίστασης που παρουσιάζει.
- Εξασφαλίζει την διατήρηση της εκκένωσης παρ' ότι σε κάθε κύκλο δυο φορές η τάση και το ρεύμα μηδενίζονται.
- Παρέχει την απαιτούμενη μεγάλη τάση για την έναυση του λαμπτήρα.

Τις λειτουργίες αυτές εκτελούσαν τα μπάλλαστ από τότε που παρουσιάστηκαν οι λαμπτήρες φθορισμού. Σήμερα όμως οι απαιτήσεις των διανεμητών ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυστηρές και είναι αναγκαία η χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας, για μια σειρά από λειτουργίες που και αυξημένη απόδοση παρέχουν στο σύστημα φωτισμού και συντελούν στο να επηρεάζονται ελάχιστα κοντινές ηλεκτρονικές συσκευές και το ίδιο το δίκτυο από εισαγωγή αρμονικών. Γι' αυτό επιπροσθέτως τα μπάλλαστ σήμερα εκτελούν τις παρακάτω λειτουργίες:

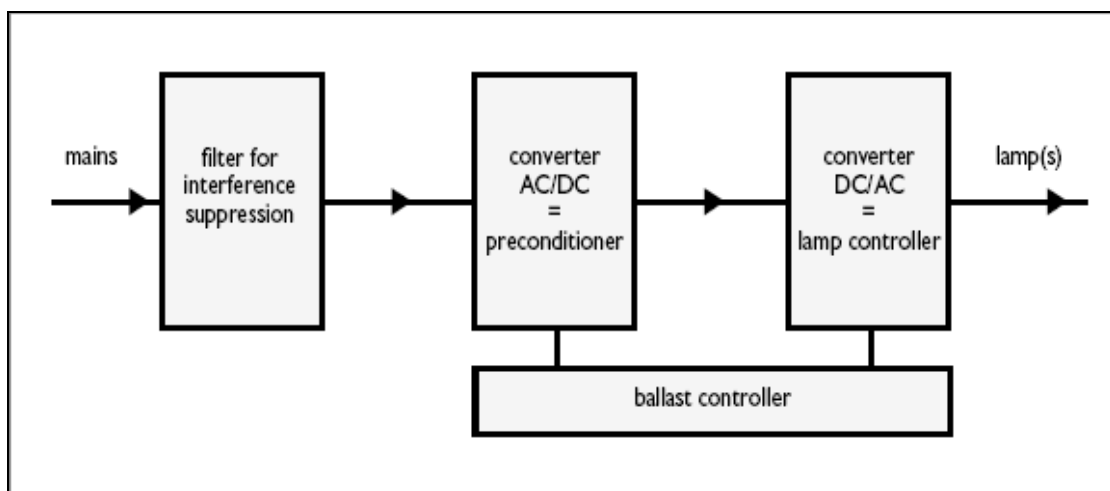
- Παρέχουν το απαραίτητο ρεύμα για την θέρμανση των ηλεκτροδίων κατά την έναυση για την αύξηση της ζωής των λαμπτήρων.
- Εξασφαλίζουν ένα υψηλό συντελεστή ισχύος.
- Περιορίζουν την εισαγωγή αρμονικών που προκαλούν διαταραχές στο δίκτυο.
- Ελαττώνουν ή εξουδετερώνουν τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές που πιθανώς θα είχε το σύστημα φωτισμού προς άλλες συσκευές.
- Περιορίζουν τα ρεύματα βραχυκυκλώματος (short - circuit current) στα ηλεκτρόδια κατά την έναυση για να μην φθείρονται.

- Κλείνουν το κύκλωμα όταν δεν επιτυγχάνεται η έναυση για οποιοδήποτε λόγο.
- Κρατούν την τάση, το ρεύμα και την ισχύ σε προκαθορισμένες τιμές παρά τις μεταβολές στο δίκτυο.

Φυσικά κάποια άλλα χαρακτηριστικά τα φροντίζουν οι κατασκευαστές να είναι σε καλά επίπεδα ώστε να είναι πιο εμπορικές οι συσκευές τους. Τέτοια είναι το μέγεθος, κάποιος πιθανός θόρυβος, μεγάλη διάρκεια ζωής, μικρή κατανάλωση ενέργειας κλπ. Όλα αυτά τα πρωτεύοντα αλλά και σχεδόν όλα τα δευτερεύοντα χαρακτηριστικά είναι δυνατόν να βρίσκονται στις δυο μεγάλες κατηγορίες μπάλλαστ που υπάρχουν: τα ηλεκτρομαγνητικά και τα ηλεκτρονικά. [6]

#### 4.3.2 Ηλεκτρονικό σύστημα υψηλής συχνότητας

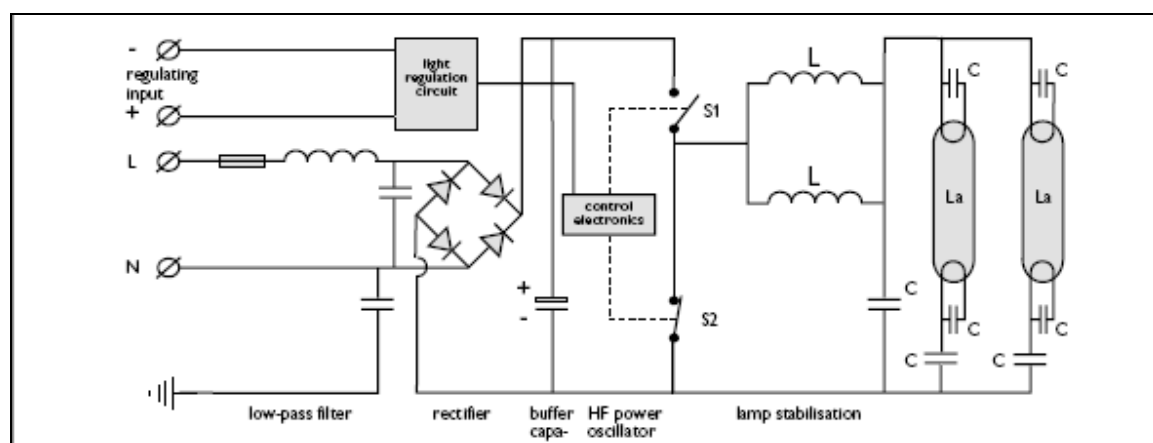
Αν και το ηλεκτρονικό σύστημα μπάλλαστ υψηλής συχνότητας είναι ενσωματωμένο σε ένα ενιαίο «μαύρο κουτί», οι διαφορετικές λειτουργίες της μπορούν να διαιρεθούν σε διάφορα μεμονωμένα μπλοκ σε ένα μπλοκ διάγραμμα. Σε γενικές γραμμές: αφού διαπεράσει ένα βαθυπερατό φίλτρο (low-pass RFI), η τάση εισόδου (main voltage) αποκαθίσταται σε έναν μετατροπέα AC/DC. Αυτός ο μετατροπέας περιέχει επίσης τον ενδιάμεσο πυκνωτή (buffer capacitor), ο οποίος φορτίζεται μέσω αυτής της συνεχούς τάσης. Στο μετατροπέα DC/AC η συνεχής τάση μετασχηματίζεται σε μια τάση υψηλής συχνότητας (HF), η οποία παρέχει την ενέργεια για τον ελεγκτή (controller) του λαμπτήρα. Ο ελεγκτής του μπάλλαστ ρυθμίζει όλες αυτές τις λειτουργίες. [11]



**Εικόνα 4.3 :** Μπλοκ διάγραμμα των βασικών λειτουργιών ηλεκτρονικού συστήματος μπάλλαστ υψηλής συχνότητας

Το βαθυπερατό φίλτρο (low-pass filter) έχει τέσσερις βασικές λειτουργίες:

- Περιορίζει την αρμονική παραμόρφωση έτσι ώστε το επίπεδο τους να παραμένει σύμφωνο με τα διεθνή πρότυπα.
- Περιορίζει την ηλεκτρομαγνητική επίδραση η οποία, διαφορετικά, θα εγχεόταν από το μπάλλαστ στην είσοδο. Και εδώ θα πρέπει να τηρηθούν τα διεθνή πρότυπα.
- Προστατεύει τα ηλεκτρονικά μέρη του κυκλώματος από υπερτάσεις.
- Συμβάλλει στον περιορισμό του ρεύματος.



**Εικόνα 4.4 :** Γενικό Κύκλωμα ενός HF μπάλλαστ για τη ρύθμιση του φωτός με 2 λαμπτήρες σε παράλληλη σύνδεση

Ένας λαμπτήρας που οδηγείται από ένα ηλεκτρονικό μπάλλαστ με συχνότητα μερικών δεκάδων χιλιάδων Hz, έχει συμπεριφορά μιας αντίστασης. Η τάση και το ρεύμα του λαμπτήρα ακολουθούν μια καμπύλη που μοιάζει πολύ στην ημιτονοειδή. Επομένως, δε χρειάζεται κάθε φορά που μηδενίζεται το ρεύμα να υπάρχει μια σχετικά μεγάλη τάση για την επανέναρξη της εκκένωσης, όπως συμβαίνει στα ηλεκτρομαγνητικά μπάλλαστ. Αυτό βέβαια επηρεάζει την απόδοση του λαμπτήρα αλλά και τη διάρκεια ζωής των ηλεκτροδίων.

Ουσιαστικά το ηλεκτρονικό μπάλλαστ είναι ένας μετασχηματιστής AC/AC καθώς μετατρέπει τη χαμηλή συχνότητα του δικτύου σε υψηλή.

Σήμερα υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλεκτρονικών μπάλλαστ όπως:



- Μπάλλαστ που οδηγεί ένα, δύο, τρεις ή τέσσερις λαμπτήρες
- Πλήρως ηλεκτρονικό ή με πρόσθετο φίλτρο
- Μπάλλαστ για συμπαγείς λαμπτήρες, ένα σώμα με το λαμπτήρα ή χωριστά.
- Ρυθμιζόμενου φωτισμού (dimming ballast)
- Ψυχρής ή θερμής εκκίνησης (cold start/instant start – warm start/rapid start)

#### **4.3.3 Πλεονεκτήματα ηλεκτρονικών έναντι ηλεκτρομαγνητικών μπάλλαστ**

Συνοψίζονται τα ακόλουθα πλεονεκτήματα των ηλεκτρονικών μπάλλαστ έναντι των ηλεκτρομαγνητικών:

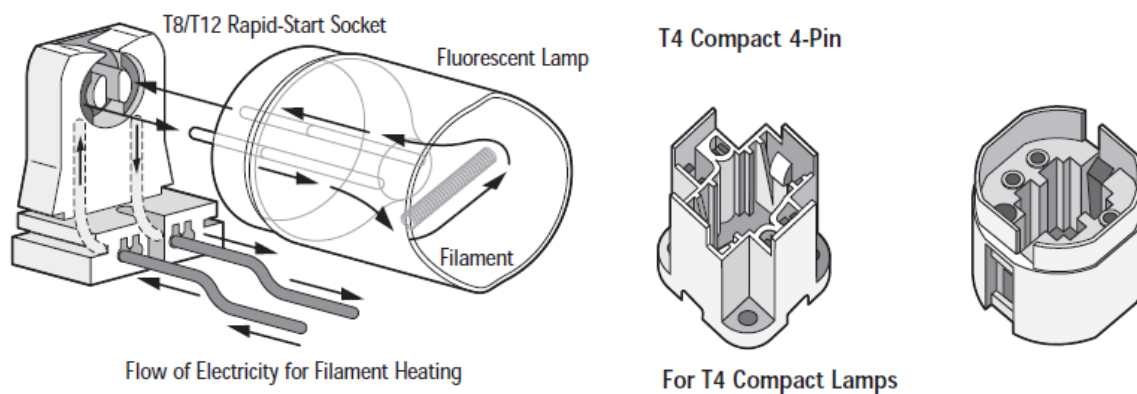
- Αυξάνουν την απόδοση του λαμπτήρα μέχρι και 10% και το οφείλουν αποκλειστικά στην υψηλή συχνότητα.
- Δεν τρεμοπαίζει το φως τους. Σε λαμπτήρες που οδηγούνται από ηλεκτρομαγνητικό μπάλλαστ, κάθε φορά που μηδενίζεται το ρεύμα, μηδενίζεται και η εκπομπή φωτός. Αυτό γίνεται σε κάθε περίοδο δυο φορές, άρα στη συχνότητα των 50Hz συμβαίνει 100 φορές το δευτερόλεπτο. Το μάτι το αντιλαμβάνεται ως τρεμούλιασμα (flicker) στο φως, έστω και λίγο. Στα ηλεκτρονικά μπάλλαστ το ρεύμα μηδενίζεται αρκετές χιλιάδες φορές το δευτερόλεπτο και μάλιστα η εκπομπή φωτός δεν μηδενίζεται τελείως, άρα το φαινόμενο δεν παρατηρείται. Βέβαια έχουν ένα αντίστοιχο φίλτρο διότι το ρεύμα έχει μια διαμόρφωση των 50Hz από το δίκτυο και δημιουργείται ένα ανεπαίσθητο τρεμούλιασμα στο φως.
- Δεν έχουν τον χαρακτηριστικό βόμβο που έχουν τα ηλεκτρομαγνητικά μπάλλαστ και οφείλεται στα χαλύβδινα φύλλα του πυρήνα.
- Τα ηλεκτρονικά έχουν λιγότερη κατανάλωση. Για παράδειγμα ένα ηλεκτρομαγνητικό μπάλλαστ σε σύστημα συνολικής ισχύος 40W καταναλώνει 13W ενώ το αντίστοιχο ηλεκτρονικό μόνο 4,5W, που σημαίνει συνολική μείωση του συστήματος φωτισμού περί το 20%.

- Αυξάνουν τη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων, κυρίως διότι ελέγχεται καλύτερα η έναυση, ώστε να προκαλεί λιγότερες φθορές στα ηλεκτρόδια.
- Δίνουν περισσότερες δυνατότητες για εναλλακτικές λειτουργίες των λαμπτήρων, όπως ρύθμιση της φωτεινής ροής μέσω αισθητήρα ή άλλου τρόπου, διακοπή λειτουργίας σε περίπτωση καταστροφής ενός λαμπτήρα, κλπ.
- Για τις ίδιες λειτουργίες είναι πιο ελαφριά και με μικρότερο όγκο.

#### **4.4 ΜΠΑΛΛΑΣΤ ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ (dimming ballast)**

Κατασκευάζονται επίσης μαγνητικά και ηλεκτρονικά μπάλλαστ ρυθμιζόμενης στάθμης φωτισμού (dimnable). Αυτά τα μπάλλαστ ρυθμίζουν τη στάθμη φωτισμού στους λαμπτήρες αυξομειώνοντας το ρεύμα του λαμπτήρα. Υπάρχουν διαθέσιμα προϊόντα που ισχυρίζονται ότι μειώνουν αξιόπιστα τη στάθμη φωτισμού κατά 0.5-2.5% της πλήρους απόδοσης του φωτός. Τα περισσότερα dimming ballast είναι ηλεκτρονικά. Επιτρέπουν τη ρύθμιση της στάθμης του φωτισμού και εξοικονομούν ενέργεια (επομένως και χρήματα) καθώς η καταναλισκόμενη 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 (flicker). 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. Τα ηλεκτρονικά dimming ballast είναι διαθέσιμα για σωληνωτούς λαμπτήρες φθορισμού (tube type lamps) και για συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού CFL (compact fluorescent lamps). 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.

Ωστόσο, τα έξοδα εγκατάστασης για τα dimming ballast και τα συστήματα ελέγχου αυτών είναι υψηλότερα των μη ρυθμιζόμενων (non dimming ballast). Μπορούν όμως να γίνουν ιδιαίτερα αποδοτικά ως προς το κόστος αν συνδυαστούν με συστήματα ελέγχου όπως φωτοαισθητήρες. [12]



**Εικόνα 4.4 :** Τα dimming ballast πρέπει να έχουν πρόσβαση στις δύο ακίδες για σωληνωτούς λαμπτήρες και βάση τεσσάρων ακίδων για συμπαγείς λαμπτήρες ώστε να θερμάνουν τα ηλεκτρόδια

#### 4.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΑΥΣΗΣ ΛΑΜΠΤΗΡΑ – ΜΠΑΛΛΑΣΤ

Τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ χρησιμοποιούν μία από τις τρεις γενικές μεθόδους, ορισμένες από το Αμερικανικό Εθνικό Ινστιτούτο Στανταρτς (ANSI), για να εκκινήσουν το λαμπτήρα: προθέρμανση με πρόγραμμα (program start ballast), στιγμιαία έναυση (instant start ballast) και γρήγορη έναυση (rapid start ballast). Τα μπάλλαστ προγραμματισμένης έναυσης είναι παρόμοια με αυτά της γρήγορης έναυσης αλλά αναφέρονται ως ξεχωριστή τεχνολογία και γι' αυτό το λόγο καταχωρούνται χωριστά στη συνέχεια. Οι κατασκευαστές λαμπτήρων σχεδιάζουν τους λαμπτήρες φθορισμού για χρήση του καθενός με άνω του ενός τύπου μπάλλαστ. Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι συνέπειες σε περίπτωση που ο τύπος του λαμπτήρα δεν ταιριάζει με το μπάλλαστ. Οι κατάλογοι του κατασκευαστή και το μπάλλαστ ή τα ίδια τα προϊόντα του λαμπτήρα συνήθως παραθέτουν τη μέθοδο έναυσης και θα ήταν συνετό να ελέγχουμε ώστε ο συγκεκριμένος συνδυασμός λαμπτήρα-μπάλλαστ να συνιστάται και από τους δύο κατασκευαστές.

**Πίνακας 6 :** Συνέπειες ασυμβατότητας συστήματος λαμπτήρα - μπάλλαστ

ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ ΛΑΜΠΤΗΡΑ - ΜΠΑΛΛΑΣΤ			
	Μπάλλαστ προθέρμανσης	Μπάλλαστ στιγμιαίας έναυσης	Μπάλλαστ γρήγορης έναυσης
Λαμπτήρας προθέρμανσης	Κανονική λειτουργία	Αναξιόπιστη έναυση: μειώνει διάρκεια ζωής λαμπτήρα	Αναξιόπιστη έναυση
Λαμπτήρας στιγμιαίας έναυσης	Πιο πιθανόν δε θα γίνει η έναυση	Κανονική λειτουργία	Πιο πιθανόν δε θα γίνει η έναυση
Λαμπτήρας γρήγορης έναυσης	Κανονική λειτουργία	Συνήθως μειώνει διάρκεια ζωής λαμπτήρα	Κανονική λειτουργία

### **Έναυση με προθέρμανση (preheat start)**

Κατά τη λειτουργία της προθέρμανσης, το μπάλλαστ θερμαίνει τα ηλεκτρόδια του λαμπτήρα για αρκετά δευτερόλεπτα περίπου στους 700°-1000° C. Μετά την προθέρμανση των ηλεκτροδίων ο διακόπτης του εκκινητή ανοίγει για να εφαρμόσει τάση περίπου 200-300 Volt στο λαμπτήρα ώστε να ξεκινήσει. Τα ηλεκτρομαγνητικά μπάλλαστ 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. Η τάση παρέχεται μέσω πηνίου επαγωγικά.

### **Στιγμιαία έναυση (instant start)**

Τα μπάλλαστ στιγμιαίας έναυσης αναπτύχθηκαν για να εκκινούν λαμπτήρες χωρίς καθυστέρηση ή αναβόσβημα. Αντί να θερμαίνουν τα ηλεκτρόδια πριν την έναυση, τα μπάλλαστ 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 μπάλλαστ 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.

### **Γρήγορη έναυση (rapid start)**

Για να παρατείνουμε τη διάρκεια ζωής του λαμπτήρα και να εξαλειφθεί το αναβόσβημά του (flashing), οι κατασκευαστές δημιούργησαν τα μπάλλαστ γρήγορης έναυσης. Τα συστήματα αυτά, έχουν ένα ιδιαίτερο ηλεκτρικό κύκλωμα που παρέχει μία χαμηλή τάση (περίπου 3,5 Volt για τους λαμπτήρες T12 και T8 και μεγαλύτερη για τους T5) 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 μπάλλαστ 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 1,5–2 W επιπρόσθετης ισχύος για κάθε λαμπτήρα. Τα μπάλλαστ γρήγορης έναυσης εκκινούν τους λαμπτήρες με μικρή καθυστέρηση αλλά χωρίς αναβόσβημα

### **Προγραμματισμένη έναυση (programmed start)**

Οι κατασκευαστές αναπτύσσουν 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 έναυσης (programmed-start) ή τροποποιημένης γρήγορης έναυσης (modified rapid-start) ή ελεγχόμενης γρήγορης έναυσης (controlled rapid-start). Τα μπάλλαστ θερμαίνουν τα ηλεκτρόδια και στη συνέχεια δημιουργούν την εκκένωση με εφαρμογή της τάσης εκκίνησης που είναι σχετικά χαμηλή. [4]

## **4.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ**

Ο **συντελεστής του μπάλλαστ (Ballast Factor BF)** είναι ο λόγος της φωτεινής ροής ενός ή περισσότερων λαμπτήρων που ρυθμίζονται από ένα συγκεκριμένο μπάλλαστ προς τη απόδοση του ίδιου ή των ίδιων λαμπτήρων που ρυθμίζονται από ένα μπάλλαστ αναφοράς. Ο συντελεστής BF μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του παραγόμενου φωτός ενός συγκεκριμένου συνδυασμού λαμπτήρα-μπάλλαστ για το σχεδιασμό ενός συστήματος φθορισμού με λαμπτήρες φθορισμού.

Τα μαγνητικά μπάλλαστ συνήθως έχουν συντελεστή BF μεταξύ 0,93 και 0,98. Τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ έχουν εύρος από 0,73 έως 1,50 παρέχοντας ένα ευρύ φάσμα του επιπέδου του παραγόμενου φωτός για ένα σύστημα. [13]

Το παραγόμενο φως ενός λαμπτήρα φθορισμού εξαρτάται από το ρεύμα που διαρρέει το λαμπτήρα, το οποίο ελέγχεται από το μπάλλαστ. Το παραγόμενο φως ενός λαμπτήρα καθορίζεται όταν ο λαμπτήρας λειτουργεί με ένα μπάλλαστ αναφοράς στη συχνότητα της γραμμής. Όταν οι λαμπτήρες λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες (20-60kHz), λιγότερο ρεύμα απαιτείται για να παραχθεί το ίδιο φως γιατί οι λαμπτήρες λειτουργούν πιο αποτελεσματικά.

Τα μπάλλαστ με ιδιαίτερα υψηλό συντελεστή BF μπορούν να μειώσουν τη διάρκεια ζωής του λαμπτήρα και να επιταχύνουν την ελάττωση της φωτεινής έντασης λόγω του υψηλού ρεύματος του λαμπτήρα.

Για τα μπάλλαστ που μπορούν να θέσουν σε λειτουργία διαφορετικούς τύπους λαμπτήρων, ο συντελεστής BF είναι τυπικά διαφορετικός για κάθε τύπο λαμπτήρα. Γενικά, ο συντελεστής BF μειώνεται όσο προστίθενται περισσότεροι λαμπτήρες σε ένα σύστημα μπάλλαστ-λαμπτήρων. Οι αναφορές των κατασκευαστών στη βάση δεδομένων στο internet καταγράφουν το συντελεστή BF χωριστά για κάθε αριθμό και είδος λαμπτήρα που λειτουργεί από ένα συγκεκριμένο μπάλλαστ.

Διαφορετικοί τύποι λαμπτήρων που λειτουργούν με το ίδιο μπάλλαστ μπορεί να παρουσιάσουν διαφορετικό συντελεστή μπάλλαστ. Ο συντελεστής κυμαίνεται συνήθως από 0,85 ως 1. Υπάρχουν και συντελεστές μεγαλύτεροι του 1.

Συντελεστής μεγαλύτερος του 1 σημαίνει ότι οι λαμπτήρες παράγουν περισσότερο φως από το ονομαστικό. Συνέπεια αυτού είναι η μείωση των λαμπτήρων που απαιτούνται για το φωτισμό ενός χώρου. Από την άλλη μεριά σε αυτή τη περίπτωση το υψηλό ρεύμα του λαμπτήρα μπορεί να μειώσει το χρόνο ζωής του και να επιταχύνει τη μείωση τη φωτεινότητάς του.

Συντελεστές μικρότεροι του 0,85 παράγουν χαμηλή φωτιστική απόδοση. Σε αυτή την περίπτωση η ενέργεια που καταναλώνεται ανά λαμπτήρα είναι χαμηλότερη. Εντούτοις μπορεί να μειωθεί ο χρόνος ζωής λόγω χαμηλής θερμοκρασίας ηλεκτροδίων.

Ο συντελεστής αποτελεσματικότητας του μπάλλαστ (**Ballast Efficacy Factor BEF**) είναι ο λόγος του συντελεστή BF (ως ποσοστό) προς την ισχύ (σε Watt). Ο συντελεστής BEF είναι μία σχετική μέτρηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος για το συνδυασμό του λαμπτήρα φθορισμού με το μπάλλαστ. Οι συγκρίσεις του συντελεστή BEF πρέπει να γίνονται μόνο μεταξύ των μπάλλαστ που λειτουργούν τον ίδιο τύπο και αριθμό λαμπτήρων γιατί ο συντελεστής BEF εξαρτάται από τον τύπο και αριθμό λαμπτήρων φθορισμού που θέτει σε λειτουργία ένα μπάλλαστ.

$$\text{BEF} = \frac{\text{BF} \cdot 100 \text{ (ποσοστό)}}{\text{ισχύς (Watt)}}$$

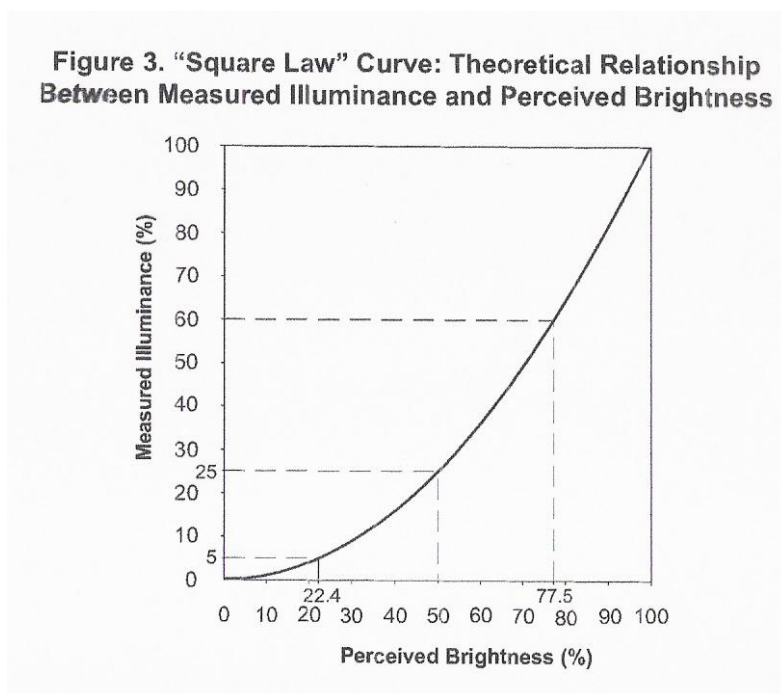
Η απόδοση του συστήματος (**System Efficacy**) είναι ο λόγος της φωτεινής ροής του παραγόμενου φωτός προς την καταναλισκόμενη ισχύ του λαμπτήρα και μετριέται σε lumens ανά Watt (LPW), για ένα συγκεκριμένο σύστημα λαμπτήρα - μπάλλαστ. Για συστήματα φθορισμού η απόδοση του συστήματος κυμαίνεται από 60 έως 100 LPM.

$$\text{Απόδοση Συστήματος} = \frac{\text{φωτεινή ροή (lumen)}}{\text{ισχύς (Watt)}}$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΡΥΘΜΙΣΗ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΡΟΗΣ - DIMMING

### 5.1 ΓΕΝΙΚΑ

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, ένας χώρος 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. Η Εικόνα 5.1 απεικονίζει τη θεωρητική σχέση μεταξύ της μετρούμενης έντασης φωτισμού και της έντασης φωτισμού που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος.



**Εικόνα 5.1 :** Σχέση μεταξύ της μετρούμενης έντασης φωτισμού (κάθετος άξονας) και της αντιληφθείσας έντασης φωτισμού (οριζόντιος άξονας)

Η ρύθμιση της φωτεινής ροής (dimming) 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



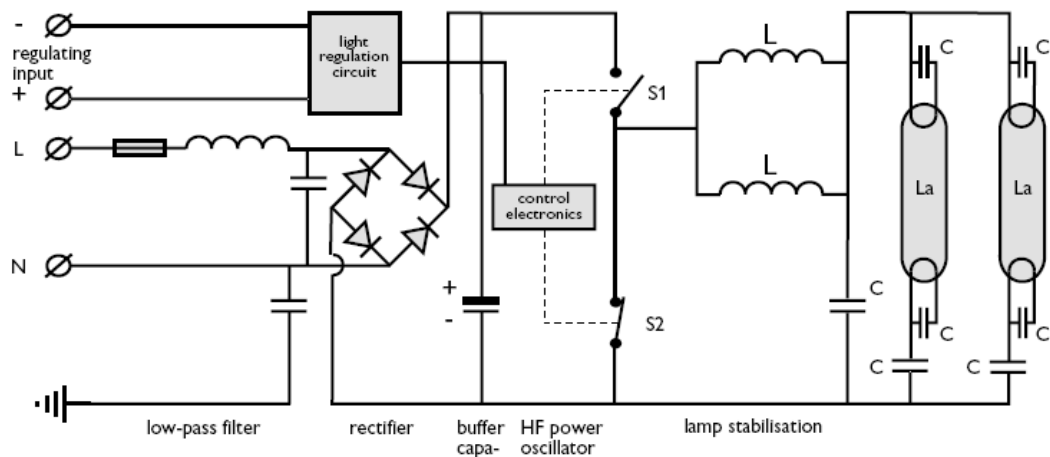
της φωτεινής ροής η κατανάλωση είναι μικρότερη γεγονός, που δεν αρκεί από μόνο του. Πρέπει και η διάρκεια ζωής του λαμπτήρα να μην μικραίνει, ή τουλάχιστον όχι τόσο πολύ που να μην ισοσταθμίζεται με το κέρδος από τη μειωμένη κατανάλωση.

## 5.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Στους λαμπτήρες φθορισμού το dimming διεκπεραιώνεται με μηχανισμό ο οποίος μέσω του μπάλλαστ μειώνει το ρεύμα εκκένωσης στο λαμπτήρα, με αποτέλεσμα να παράγεται λιγότερο φως. Επειδή η μείωση του ρεύματος αλλοιώνει τα χαρακτηριστικά της εκκένωσης, εάν δεν ληφθούν κάποια μέτρα σχετικά με αυτήν, η ζωή του λαμπτήρα θα μειωθεί. Αυτό που γίνεται είναι να αυξηθεί η τάση που θερμαίνει τα ηλεκτρόδια.

Όταν μειωθεί το ρεύμα στο λαμπτήρα, επειδή δεν υπάρχει μεγάλη ροή ηλεκτρονίων η άνοδος δεν θερμαίνεται και η θερμοκρασία των ηλεκτροδίων μειώνεται. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα ισχυρό sputtering και να υφίστανται βλάβη τα ηλεκτρόδια. Το αντίδοτο για το φαινόμενο αυτό είναι η παροχή ρεύματος στα ηλεκτρόδια που θα αυξήσει όσο χρειάζεται την θερμοϊονική εκπομπή ηλεκτρονίων, αφού θα κρατά την θερμοκρασία τους στα όρια των 700° C ως 1000° C. Επομένως, όταν ο στόχος είναι η μείωση της έντασης φωτισμού, πρέπει το μπάλλαστ να μειώσει το ρεύμα του λαμπτήρα και να αυξήσει ταυτόχρονα την τάση στα άκρα του κάθε ηλεκτροδίου. Επίσης, λόγω της αρνητικής αντίστασης που παρουσιάζει ως γνωστόν ο λαμπτήρας αφού μειώνεται το ρεύμα, για να διατηρηθεί η εκκένωση, θα πρέπει να αυξηθεί και η τάση στα άκρα του λαμπτήρα. [14]

Τα ηλεκτρονικά HF (High Frequency) μπάλλαστ με δυνατότητα dimming (dimnable ballast) έχουν ένα επιπλέον κύκλωμα ελέγχου φωτεινότητας (light regulation circuit) σε σχέση με τα κλασσικά HF μπάλλαστ. Αυτό το κύκλωμα ελέγχου μεταβάλλει τη συχνότητα ανάλογα με την ρυθμιζόμενη τάση εισόδου (regulating input) όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.2.



Εικόνα 5.2 : Γενικό κύκλωμα ενός μπάλλαστ HF με ρύθμιση φωτεινότητας. Η ρύθμιση φωτεινότητας γίνεται με τη βοήθεια του light regulation circuit.

Ο τρόπος που γίνεται ο έλεγχος της φωτεινότητας είναι ο εξής: αν αυξηθεί η συχνότητα λειτουργίας του μπάλλαστ από το κύκλωμα ελέγχου (regulating input) η επαγωγική αντίδραση του πηνίου αυξάνεται ( $Z_L = \omega L$ ,  $\omega = 2\pi f$  η κυκλική συχνότητα). Αυτό συνεπάγεται μείωση του ρεύματος λαμπτήρα. Έτσι αυξάνοντας τη διακοπτική συχνότητα των S1, S2 της Εικόνας 5.2 μειώνεται το ρεύμα και αυτό οδηγεί σε μείωση της φωτεινότητας. Για παράδειγμα η ονομαστική συχνότητα λειτουργίας των μπάλλαστ της εταιρείας Phillips είναι 48 kHz. Σε αυτή τη συχνότητα ο λαμπτήρας αποδίδει το 100% της φωτεινότητας. Όμως το μπάλλαστ μπορεί να ρυθμίζει τη συχνότητα λειτουργίας από 48 ως 90 kHz, ρυθμίζοντας και τη φωτεινότητα.

Για να έχει το σύστημα τη δυνατότητα να ελέγχει την παροχή τάσης στο λαμπτήρα και στα ηλεκτρόδια πρέπει το μπάλλαστ να είναι εφοδιασμένο με τους αντίστοιχους ακροδέκτες, όπως φυσικά και ο λαμπτήρας. Άρα ο λαμπτήρας θα έχει δύο ακροδέκτες σε κάθε ηλεκτρόδιο και το μπάλλαστ θα είναι rapid start και συγκεκριμένα προγραμματιζόμενου τύπου (programmed start). Βέβαια υπάρχουν και μπάλλαστ άμεσης έναυσης που πραγματοποιούν dimming, μειώνοντας όμως αρκετά τη ζωή των λαμπτήρων.

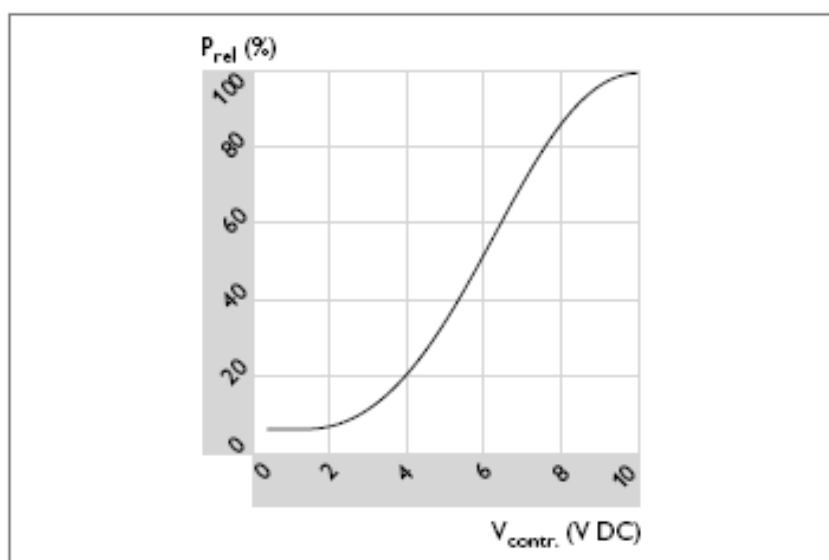
Το σύστημα του ελέγχου της ρύθμισης της φωτεινής ροής είναι ένα κύκλωμα (control circuit) είτε χαμηλής είτε υψηλής τάσης. Ασφαλώς ένα τέτοιο σύστημα περιέχει ένα φωτοαισθητήρα (εάν είναι χαμηλής τάσης) που ανάλογα με το φωτισμό που δέχεται δίνει εντολή στο μπάλλαστ να κάνει το σχετικό dimming. Αυτά τα συστήματα συνδέουν το μπάλλαστ με το κύκλωμα ελέγχου, με δύο καλώδια που διαρρέονται από συνεχές ρεύμα (V dc) και η τάση είναι από 0 μέχρι 10V. Εάν το σύστημα της

ρύθμισης είναι υψηλής τάσης τότε μάλλον δουλεύει χειροκίνητα και το κύκλωμα ελέγχου λειτουργεί και ως διακόπτης.

Η μέθοδος με την οποία το μπάλλαστ επιτυγχάνει το dimming είναι είτε η αναλογική είτε η ψηφιακή.

### 5.3 ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ DIMMING

Η πιο συνήθης αναλογική 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.

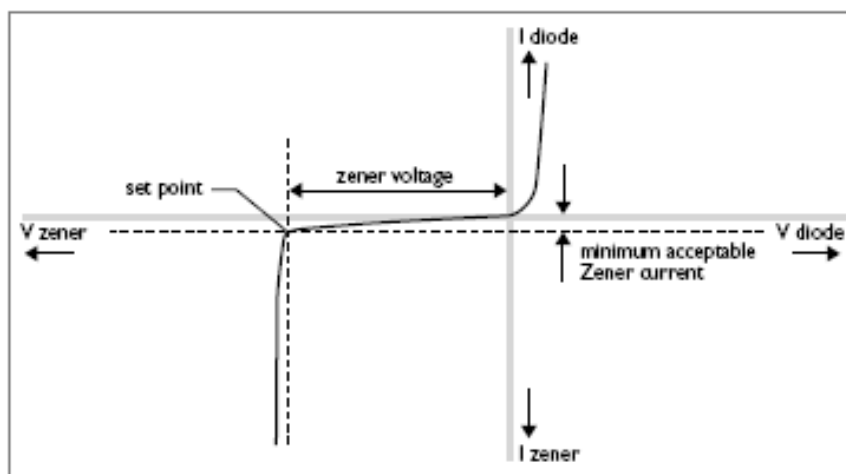


**Εικόνα 5.3 :** Μεταβολή της ισχύος λαμπτήρα με τη τάση ελέγχου με αναλογική μέθοδο dimming

Όταν το κύκλωμα ελέγχου δεν συνδέεται η αποδιδόμενη φωτεινότητα είναι 100%. Δηλαδή το κύκλωμα ελέγχου είναι ανοικτοκυκλωμένο και στα άκρα του εφαρμόζεται τάση ελέγχου (input voltage) 10 V. Όταν το κύκλωμα ελέγχου βραχυκυκλωθεί (τάση ελέγχου 0V) τότε ο λαμπτήρας αποδίδει την ελάχιστη φωτεινότητα. Με τη βοήθεια ενός ποτενσιόμετρου μεταβάλλεται η τάση ελέγχου και επιτυγχάνεται συνεχής ρύθμιση. Τα παραπάνω φαίνονται σχηματικά και στην Εικόνα 5.3. Το ρεύμα ελέγχου που οδεύει στο μπάλλαστ είναι 0,15 mA. Η ισχύς του ποτενσιόμετρου εξαρτάται από

τον αριθμό μπάλλαστ που υποστηρίζει και το μέγιστο ρεύμα ελέγχου (1,5mW για κάθε μπάλλαστ).

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



**Εικόνα 5.4 :** Χαρακτηριστική τάσης- ρεύματος διόδου Zener

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:

- 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 με το ψηφιακό dimming. [15]

## 5.4 ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ DIMMING

Στο ψηφιακό dimming το κύκλωμα ελέγχου αποθηκεύει τις εντολές του μπάλλαστ, λαμβάνει σήματα ελέγχου και στέλνει στο μπάλλαστ 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 μπάλλαστ, για να μπορούν να εναλλάσσονται στις εγκαταστάσεις χωρίς πρόβλημα, ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή.

Το σύστημα DALI όταν εφαρμόζεται ελέγχει λίγα είτε πολλά μπάλλαστ, 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 μπάλλαστ χωριστά.

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

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

Στα μπάλλαστ που ακολουθούν το σύστημα DALI η συνδεσμολογία του κυκλώματος ελέγχου είναι ίδια όπως στα αναλογικώς dimmable μπάλλαστ. Η κύρια διαφορά είναι ότι ρυθμίζει και ανοιγοκλείνει τα κυκλώματα. Με τη διευθυνσιοδότηση των μπάλλαστ δίνεται η δυνατότητα το κύκλωμα ελέγχου να είναι ανεξάρτητο από το κύκλωμα ισχύος. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα να στέλνονται εντολές προς το μπάλλαστ και να λαμβάνονται πληροφορίες από αυτό (two way communication).

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 (query) μπορεί να αφορούν τη λειτουργία του λαμπτήρα ή το τέλος ζωής (αποτυχία) του λαμπτήρα. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται από το μπάλλαστ χρησιμεύουν για την ανίχνευση προβλημάτων στην εγκατάσταση.

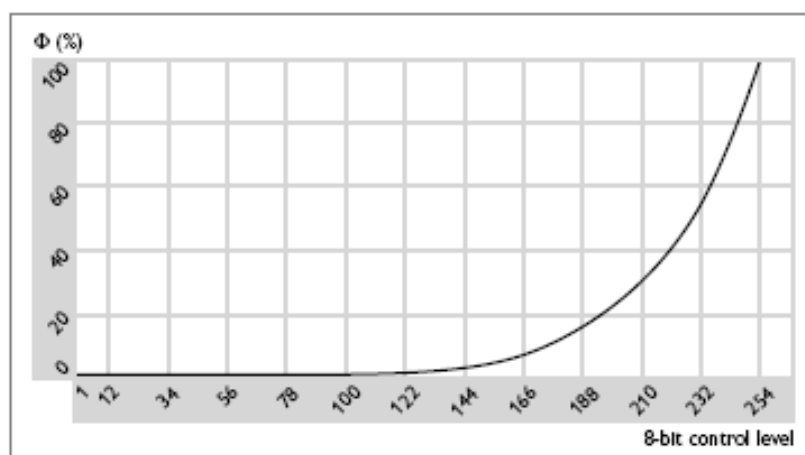
Οι λειτουργίες που εμπεριέχει το πρωτόκολλο DALI είναι:

### Άνοιγμα/κλείσιμο

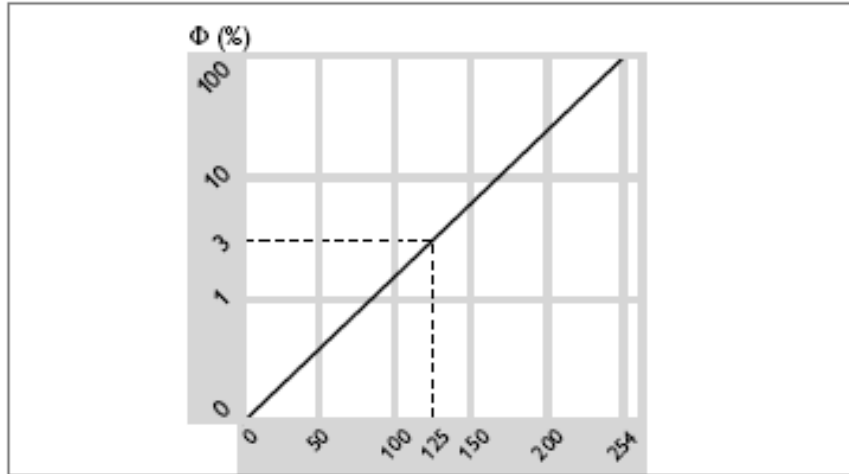
Ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονικών μπάλλαστ DALI που μπορεί να διαχειριστεί είναι 64. υπάρχουν το πολύ 64 διαφορετικές διευθύνσεις.

### Dimming

Αυτά τα μπάλλαστ μπορούν να ρυθμίσουν λογαριθμικά τη φωτεινότητα από 100% μέχρι 0,1% σε 254 διακριτά βήματα (Εικόνα 5.5).



Εικόνα 5.5 : Λογαριθμική καμπύλη dimming σε 254 βήματα

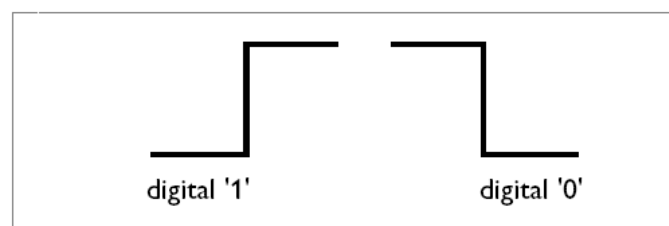


**Εικόνα 5.6** Λογαριθμική καμπύλη dimming ballast DALI

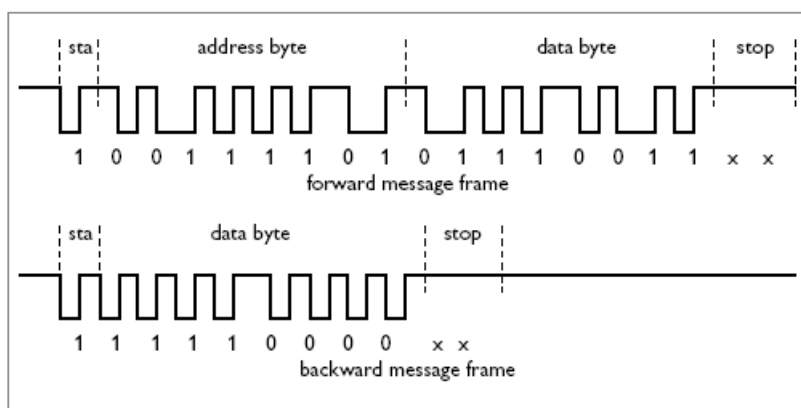
Επίσης μπορεί να δημιουργήσει μέχρι 16 σκηνικά φωτισμού. Τέλος μπορεί να εμφανίζει σε οθόνη τη κατάσταση του μπάλλαστ ή του λαμπτήρα.

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

Το λογισμικό του μικροεπεξεργαστή (controller) 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 bit λήξης (stop bits). Αυτή η οργάνωση φαίνεται στην Εικόνα 5.8. Στην Εικόνα 5.7 φαίνεται πως διακρίνεται το bit 1 από το bit 0.

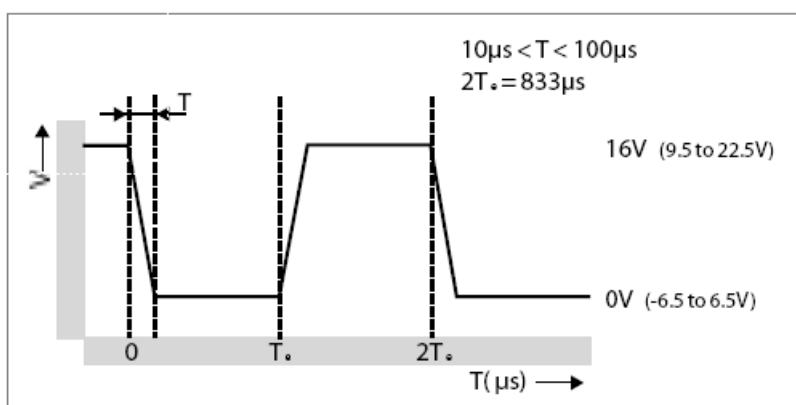


**Εικόνα 5.7 :** Κωδικοποίηση ψηφιακών bit στο πρωτόκολλο DALI



**Εικόνα 5.8 :** Οργάνωση των πακέτων δεδομένων στο πρωτόκολλο DALI

Η τάση που επικρατεί στο πρωτόκολλο DALI είναι 16 V με τις ανοχές που φαίνονται στην εικόνα 5.9. Δηλαδή 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, 250 A σύμφωνα με το πρότυπο 60929. Το ρεύμα κάθε μπάλλαστ ρυθμίζεται στα 2 mA.



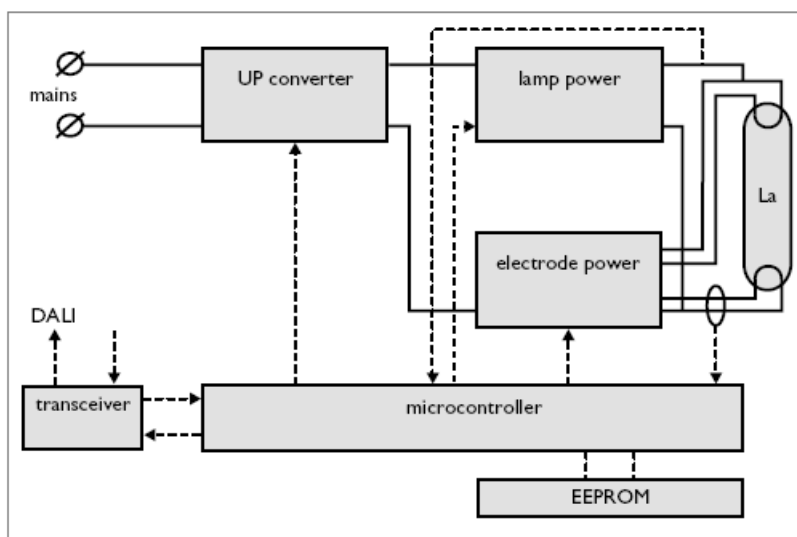
**Εικόνα 5.9 :** Η τάση που επικρατεί στο πρωτόκολλο DALI και οι ανοχές της

### 5.5 ΜΠΑΛΛΑΣΤ DALI

Η δομή ενός ψηφιακού μπάλλαστ φαίνεται στην Εικόνα 5.10. Οι συμπαγείς γραμμές απεικονίζουν σήματα ισχύος και οι διακεκομμένες γραμμές σήματα ελέγχου. Ο μικροεπεξεργαστής (microcontroller) είναι η κεντρική μονάδα της δομής αυτής. Δέχεται τις εντολές από το πρωτόκολλο DALI μέσω του transceiver. Το μπάλλαστ αποτελείται από 3 μονάδες. Ο up converter προετοιμάζει και ομαλοποιεί την τάση τροφοδοσίας. Η μονάδα lamp power παράγει το ρεύμα του ηλεκτρικού τόξου. Η μονάδα electrode power ελέγχει το ρεύμα των ηλεκτροδίων. Οι μονάδες lamp power



και electrode power λαμβάνουν τα σήματα ελέγχου από τον μικροεπεξεργαστή. Σύμφωνα με αυτά τα σήματα ελέγχου εκτελούν τη λειτουργία τους. Επίσης ο μικροεπεξεργαστής λαμβάνει από αισθητήρες σήματα για τη τάση και το ρεύμα από το κύκλωμα ισχύος. Τέλος τα σήματα που λαμβάνει ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να αποθηκεύσει σε μια μνήμη EEPROM. Αυτό χρειάζεται έτσι ώστε να αποθηκευτούν χρήσιμα σήματα όταν το μπάλλαστ αποσυνδέεται από τη τροφοδοσία.



**Εικόνα 5.10 :** Δομή του ψηφιακού μπάλλαστ DALI

Με αυτή τη δομή επιτυγχάνονται τα εξής πλεονεκτήματα:

1. το ρεύμα του τόξου και το ρεύμα των ηλεκτροδίων ελέγχονται ανεξάρτητα. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερο χρόνο ζωής.
2. το μπάλλαστ μπορεί να οδηγήσει περισσότερους από 1 λαμπτήρες και μάλιστα διαφορετικού τύπου.
3. όλοι οι έλεγχοι και η επεξεργασία σημάτων γίνεται στον μικροεπεξεργαστή. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερη αξιοπιστία και ακρίβεια.
4. μεγάλη ευελιξία. Αν προκύψει κάποια αλλαγή συνήθως γίνεται σε επίπεδο λογισμικού, που είναι πιο εύκολο και όχι αντικατάστασης υλικού.
5. το μπάλλαστ μπορεί να αναφέρει κάποιο πρόβλημα έπειτα από αίτηση, όπως αποτυχία του λαμπτήρα.

Ο τύπος του μπάλλαστ που περιγράφηκε μπορεί να χαρακτηριστεί ψηφιακό και εσωτερικά και εξωτερικά. Εσωτερικά διότι όλες οι διαδικασίες ελέγχονται ψηφιακά. Εξωτερικά λόγω του πρωτοκόλλου DALI που χρησιμοποιεί ψηφιακά δεδομένα.

Μια μεγάλη διαφορά του DALI μπάλλαστ είναι ότι το άναμμα και το σβήσιμο (switching ON/OFF) του λαμπτήρα γίνεται από το ηλεκτρονικό μπάλλαστ. Έτσι δεν απαιτούνται διακόπτες χειρισμού. Επίσης το άναμμα ή σβήσιμο και το dimming μπορεί να προέλθει σαν εντολή από το DALI.

Τα μπάλλαστ 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 μπάλλαστ 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 κάτωθι 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 διακόπτου ελέγχονται ένας ή περισσότεροι λαμπτήρες ενός φωτιστικού. Εδώ φυσικά δεν γίνονται αλλαγές στο εσωτερικό των λαμπτήρων.
- Βηματική ρύθμιση (step-dimming), όπου ρυθμίζεται η ισχύς σε όλους ταυτόχρονα τους λαμπτήρες με προκαθορισμένες τιμές.

- ο Συνεχής ρύθμιση (continuous-dimming). Είναι ο προηγούμενος τρόπος αλλά με δυνατότητα αλλαγής της ισχύος συνεχώς.

Το εύρος ρύθμισης του φωτισμού (dimming range) είναι από το 100% της φωτεινής ροής του λαμπτήρα μέχρι και μόλις το 1%. 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 κάτω του 20% μείωση. Για dimming μέχρι 1% το μπάλλαστ είναι απαραίτητως ηλεκτρονικό. Τα ηλεκτρομαγνητικά επιτυγχάνουν μείωση του φωτισμού μέχρι περίπου 50%.

Είναι άξιο παρατήρησης το γεγονός, που έχει επιβεβαιωθεί και πειραματικά, ότι 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 ακριβώς ένας συγκεκριμένος τρόπος χειρισμού της ισχύος του λαμπτήρα θα του μειώσει ή και δεν θα επηρεάσει 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. [16]

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 παρευρισκόμενων 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 αναφέρθηκε και με την εικόνα 5.1.

Ο νόμος του τετραγώνου που ακολουθεί το λαμβανόμενο φως (Perceived light) και το μετρούμενο φως (Measured light), δίνεται από την κάτωθι σχέση:

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

Σύμφωνα με αυτή τη σχέση αν το dimming είναι 10% (δηλαδή το 10% του αρχικού φωτός), επειδή  $\sqrt{0,1} = 0,32$  το ποσοστό του αρχικού φωτός (100%) που αντιλαμβάνεται ένας άνθρωπος είναι το 32% (και όχι 10% που είναι πραγματικά).

## 5.6 ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Το dimmable ballast ρυθμίζει το ρεύμα και συνεπώς την ισχύ. Όταν η ισχύς μειώνεται η θεμελιώδης αρμονική συνιστώσα του ρεύματος (50 Hz) θα μειωθεί. Οι ανώτερες αρμονικές σαν ποσοστό της θεμελιώδους θα αυξηθούν. Αυτό σημαίνει ότι όταν ο λαμπτήρας αποδίδει την ελάχιστη φωτεινότητα ο συντελεστής THD θα είναι 2-4 φορές μεγαλύτερος από τη λειτουργία του λαμπτήρα στο 100% της φωτεινότητας.

Ο συντελεστής ισχύος μειώνεται όταν γίνεται dimming. Σε κανονική λειτουργία ο συντελεστής ισχύος μπορεί να είναι άνω του 0,95. όταν όμως ο λαμπτήρας αποδίδει την ελάχιστη φωτεινότητα ο συντελεστής ισχύος μπορεί να μειωθεί ως το 0,7.

Η μεγαλύτερη αρμονική παραμόρφωση και ο μικρότερος συντελεστής ισχύος δεν επηρεάζουν την εγκατάσταση φωτισμού. Επηρεάζουν όμως το δίκτυο τροφοδοσίας της εγκατάστασης. Τα ηλεκτρικά δίκτυα θεωρούν ανεπιθύμητο το χαμηλό συντελεστή ισχύος και έχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές για τις αρμονικές.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΛΑΜΠΙΤΗΡΩΝ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ**

### **6.1 ΟΡΙΣΜΟΙ**

Ο ονομαστικός χρόνος ζωής των λαμπτήρων είναι ο αριθμός των ωρών που το μισό δείγμα των λαμπτήρων σταματά να λειτουργεί. Η Ένωση Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) καθορίζει τη διαδικασία για την εύρεση του χρόνου ζωής λαμπτήρων φθορισμού ως εξής: 3 ώρες σε λειτουργία και 20 λεπτά εκτός λειτουργίας. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται Approved Method for Life Testing of Fluorescent Lamps (IESNA LM-40-01). Από την άλλη στην Ευρώπη πρότυπος κύκλος λειτουργίας είναι 2 ώρες και 45 λεπτά λειτουργίας.

Όταν το νήμα των ηλεκτροδίων κόβεται τότε ο λαμπτήρας σταματά να λειτουργεί ή λειτουργεί με λανθασμένο τρόπο και τελικά οδηγείται σε αποτυχία. Ο κυριότερος λόγος για να κοπεί το νήμα είναι η εντατική φθορά του υλικού επικάλυψης του νήματος.

Ο μέσος χρόνος ζωής των συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού είναι 8 με 15 φορές μεγαλύτερος από το χρόνο ζωής των λαμπτήρων πυρακτώσεως. Οι συμπαγείς λαμπτήρες (CFL) έχουν χρόνο ζωής που κυμαίνεται ανάμεσα σε 6000 και 15000 ώρες. Από τη άλλη οι λαμπτήρες πυρακτώσεως κατασκευάζονται για να διαρκούν 750 με 1000 ώρες. Οι συμπαγείς λαμπτήρες παράγουν λιγότερο φως όσο διανύουν το χρόνο λειτουργίας τους. Η μείωση της απόδοσης είναι εκθετική. Ο γρηγορότερος ρυθμός απωλειών παρουσιάζεται τις πρώτες ώρες λειτουργίας του λαμπτήρα. Κοντά στο τέλος ζωής του ο συμπαγής λαμπτήρας αναμένεται να παράγει το 70-80% του κανονικού φωτός του.

Γενικά η απόδοση του λαμπτήρα φθορισμού μειώνεται αρκετά μετά από πολλές ώρες χρήσης. Γι' αυτό σε χώρους γραφείων προτείνεται οι λαμπτήρες φθορισμού να αντικαθίστανται πριν εξαντλήσουν το χρόνο ζωής τους και καούν εντελώς.

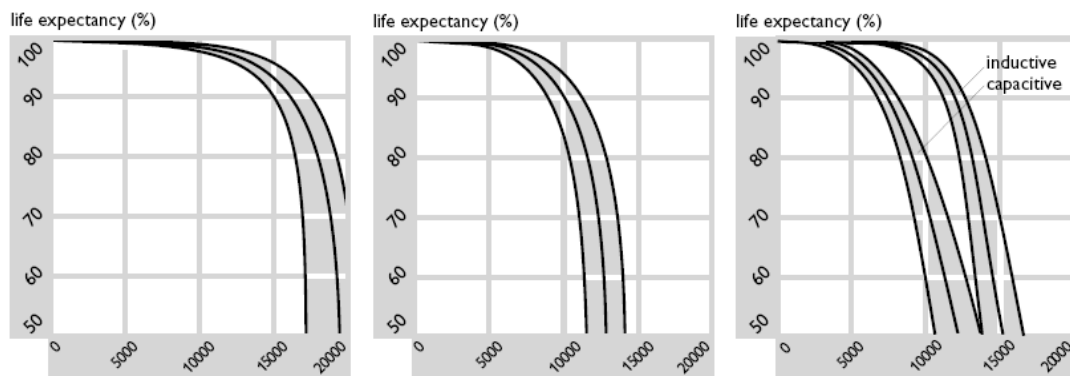
Στο Πίνακα 7 παρουσιάζονται ενδεικτικοί χρόνοι ζωής για διάφορους τύπους λαμπτήρων. Από το Πίνακα φαίνεται ότι ο χρόνος ζωής των λαμπτήρων φθορισμού είναι μεγαλύτερος απ' ό,τι για τους λαμπτήρες πυράκτωσης.

**Πίνακας 7:** Ενδεικτικοί χρόνοι ζωής για διάφορους τύπους λαμπτήρων.

Είδος λαμπτήρα	Χρόνος ζωής
Λαμπτήρας βολφραμίου	1000 h
Λαμπτήρας αλογόνου βολφραμίου	2000-3000 h
Γραμμικοί λαμπτήρες φθορισμού	8000 h
Συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού CFL	10000 h
Λαμπτήρες LED	100000 h

## 6.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΜΕΙΩΝΟΥΝ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ

Ο χρόνος ζωής οποιουδήποτε λαμπτήρα εξαρτάται από παράγοντες όπως τάση λειτουργίας, κατασκευαστικά λάθη, κακή ποιότητα ισχύος, η συχνότητα άνοιγμα/κλείσιμο του λαμπτήρα, η θερμοκρασία περιβάλλοντος.



**Εικόνα 6.1 :** Μείωση του χρόνου ζωής σε συνάρτηση με τις ώρες λειτουργίας για διάφορους τύπους λαμπτήρων φθορισμού.

Ο χρόνος ζωής των λαμπτήρων φθορισμού επηρεάζεται γενικά από τους παρακάτω παράγοντες.

1. Ακατάλληλη τάση. Σχετίζεται με την απόκλιση της τάσης από την ονομαστική τιμή της ή την ονομαστική συχνότητα. Επίσης η κακή ποιότητα ισχύος επηρεάζει το χρόνο ζωής των λαμπτήρων, ειδικά των πυρακτώσεως.
2. Κακή ποιότητα καλωδιώσεων
3. Κακή επαφή του λαμπτήρα με το ντουί ή την υποδοχή του φωτιστικού του.
4. Μικροί κύκλοι χρησιμοποίησης. Δηλαδή συχνό αναβοσβήσιμο του λαμπτήρα.
5. Κακής ποιότητας εκκινητές, starters και μπάλλαστ.

6. Είδος μπάλλαστ , μαγνητικό ή ηλεκτρονικό
7. Μέθοδος έναυσης.
8. Θερμοκρασία λειτουργίας

Αυτοί οι παράγοντες θα αναπτυχθούν εκτενέστερα

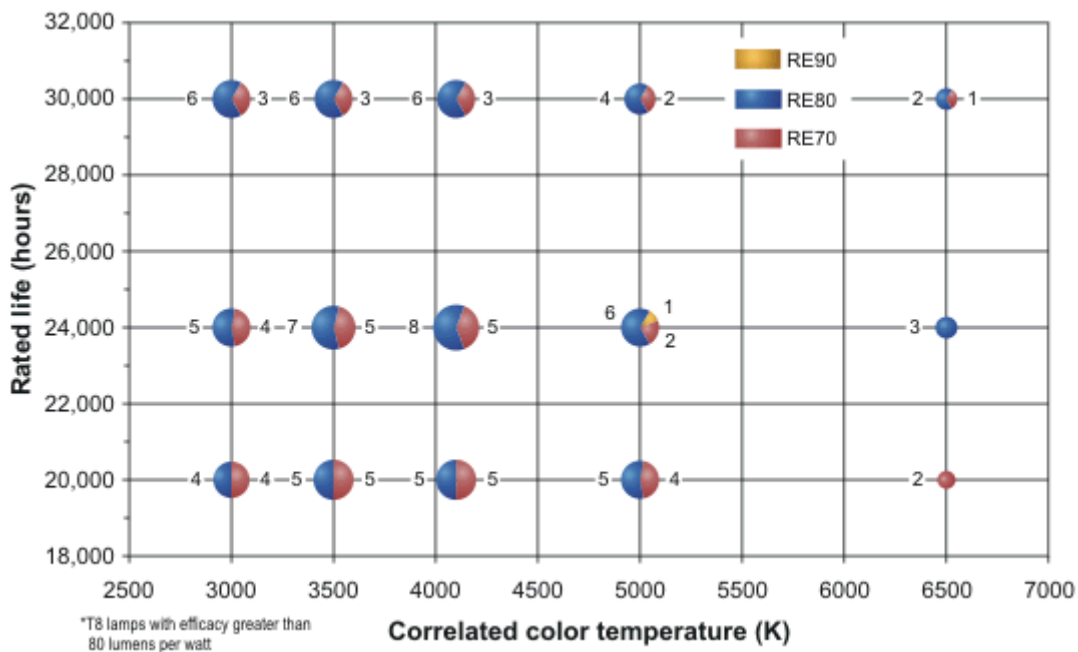
#### Ακατάλληλη τάση

Για βέλτιστη λειτουργία του λαμπτήρα πρέπει η τάση τροφοδοσίας να μην ξεφεύγει από την ονομαστική τιμή της και τα όρια ανοχής που θέτει ο διαχειριστής δικτύου. Γενικά όσο η τάση αυξάνεται πάνω από την ονομαστική τάση ο χρόνος ζωής μειώνεται.

#### Κύκλος λειτουργίας

Ο ονομαστικός χρόνος ζωής ενός λαμπτήρα φθορισμού συνοδεύεται από τις ώρες λειτουργίας ανά κάθε ξεκίνημα του λαμπτήρα. Για παράδειγμα 20000 ώρες για 3 ώρες λειτουργίας σε κάθε ξεκίνημα. Όσο περισσότερες είναι οι ώρες που λειτουργεί ο λαμπτήρας φθορισμού σε κάθε ξεκίνημα τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος ζωής του. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε ότι λαμπτήρες που αφέθηκαν να λειτουργούν συνεχώς διπλασίασαν το χρόνο ζωής τους. Το συχνό αναβοσβήσιμο οδηγεί σε φθορά των ηλεκτροδίων , συνεπώς σε μείωση του χρόνου ζωής των λαμπτήρων.

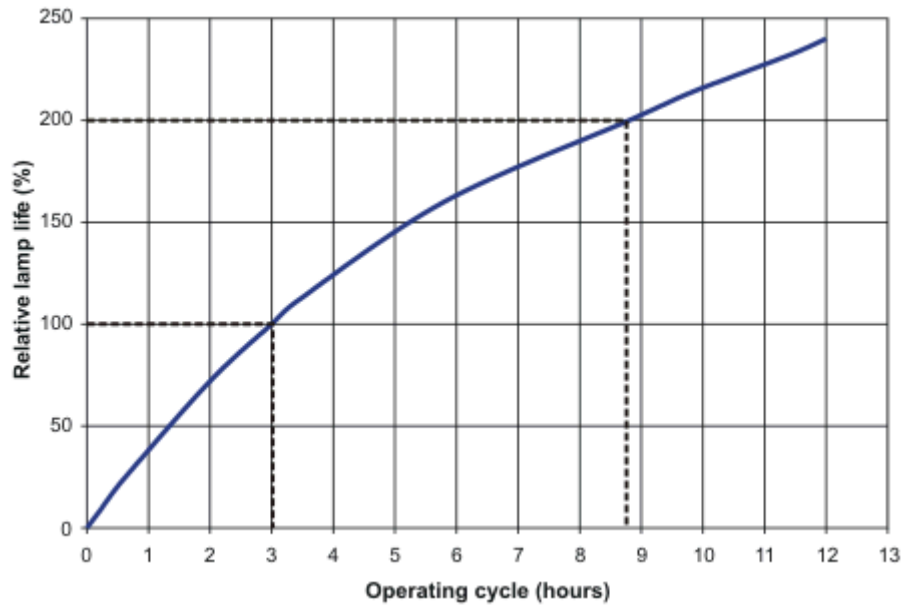
Πιο συγκεκριμένα στην Εικόνα 6.2 παρουσιάζονται κάποια στοιχεία από το NLPIP (National Lighting Products Information Program) για το χρόνο ζωής διάφορων λαμπτήρων φθορισμού. Το σχήμα δείχνει το εύρος του χρόνου ζωής για λαμπτήρες T8 σε σχέση με τη θερμοκρασία χρώματος. Οι λαμπτήρες που εξετάζονται προέρχονται από μοντέλα διάφορων κατασκευαστών. Οι Συμβολισμοί RE90, RE80, RE70 αναφέρονται στο δείκτη χρωματικής απόδοσης. Το σχήμα δείχνει ότι: 8 με 10 των μοντέλων έχουν χρόνο ζωής 20000 ώρες, 9 με 13 έχουν χρόνο ζωής 24000 ώρες και 9 μοντέλα έχουν 30000 ώρες.



**Εικόνα 6.2 :** Μέσος χρόνος ζωής για λαμπτήρες φθορισμού

Εκτός από το πρότυπο τεστ δοκιμής 3 ώρες σε λειτουργία και 20 λεπτά εκτός λειτουργίας κάποιο κατασκευαστές κάνουν και άλλα τεστ όπως: 12 ώρες λειτουργίας σε κάθε αναβοσβήσιμο. Η Εικόνα 6.3 παρουσιάζει την επίδραση του κύκλου λειτουργίας του λαμπτήρα στο χρόνο ζωής. Ο κάθετος άξονας δείχνει το σχετικό χρόνο ζωής. Το 100% αναφέρεται στον ονομαστικό χρόνο ζωής που έχει προκύψει με τη μέθοδο Approved Method for Life Testing of Fluorescent Lamps (IESNA LM-40-01). Ένα πρώτο συμπέρασμα είναι ότι όσο αυξάνονται οι ώρες λειτουργίας ανάμεσα σε κάθε αναβοσβήσιμο (δηλαδή οι ώρες του κύκλου λειτουργίας) τόσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής, με φθίνοντα ρυθμό. Ένα δεύτερο συμπέρασμα είναι ότι αν οι λαμπτήρες λειτουργούν συνεχώς 8-9 ώρες ο ονομαστικός χρόνος ζωής μπορεί να διπλασιαστεί.





Source: adapted from Vorlander 1950

**Εικόνα 6.3 :** Επίδραση του κύκλου λειτουργίας στο σχετικό χρόνο ζωής του λαμπτήρα

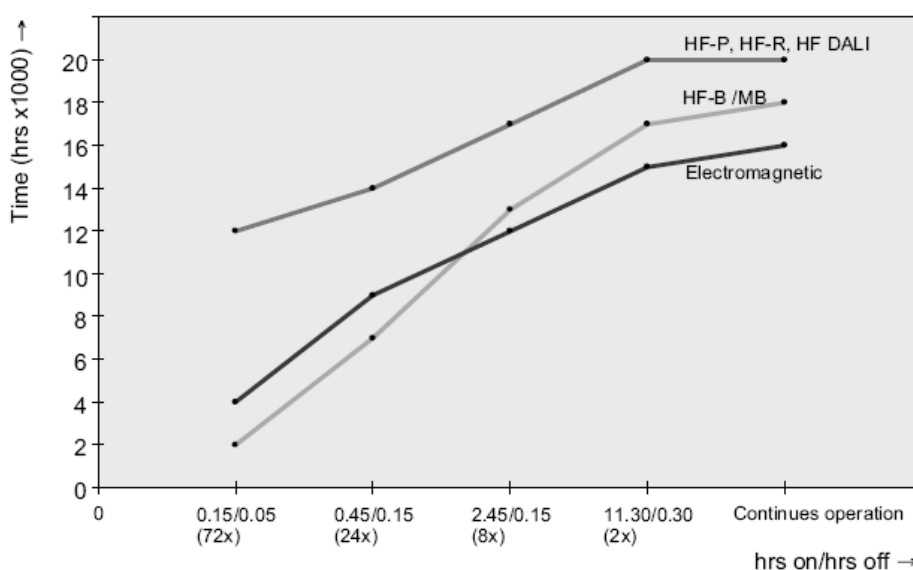
Επίσης ο χρόνος ζωής του συμπαγούς λαμπτήρα φθορισμού μειώνεται όταν ο λαμπτήρας αναβοσβήνει πολύ συχνά. Έχει διαπιστωθεί ότι στη περίπτωση που ο λαμπτήρας CFL αναβοσβήνει κάθε 5 λεπτά η διάρκεια ζωής του μπορεί να μειωθεί στο 85% της κανονικής του. Σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί ο χρόνος ζωής ενός τέτοιου λαμπτήρα που δε λειτουργεί σε κανονικές συνθήκες να πλησιάσει το χρόνο ζωής ενός λαμπτήρα πυράκτωσης. Το πρόγραμμα US Energy Star προτείνει ότι αν ένας χώρος δε χρησιμοποιείται για λιγότερο από 15 λεπτά οι λαμπτήρες φθορισμού μπορούν να αφεθούν αναμμένοι. Έτσι δε θα μειωθεί ο χρόνος ζωής τους λόγω συχνού αναβοσβήσιματος.

Τέλος προτείνεται όταν έχουμε συχνό αναβοσβήσιμο του λαμπτήρα να προτιμούμε έναυση με προθέρμανση. Αυτό διότι η συχνή εκκίνηση με ψυχρά ηλεκτρόδια φθείρει γρήγορα το υλικό επικάλυψης.

Στην Εικόνα 6.4 παρουσιάζεται ο χρόνος ζωής (σε χιλιάδες ώρες) ανάλογα με το κύκλο λειτουργίας και για 3 τύπους μπάλλαστ. Τα είδη μπάλλαστ που εξετάζονται είναι ηλεκτρομαγνητικό (electromagnetic), υψηλής συχνότητας (HF) και υψηλής συχνότητας DALI (HF DALI). Στον οριζόντιο άξονα παρουσιάζονται οι κύκλοι λειτουργίας στη μορφή ώρες λειτουργίας/ώρες εκτός λειτουργίας. Για παράδειγμα 2,45/0,15 σημαίνει ότι ο λαμπτήρας λειτουργεί σε κύκλους 2,45 ώρες λειτουργία και

0,15 ώρες εκτός λειτουργίας. Από την Εικόνα φαίνεται ότι όσο αυξάνονται οι ώρες λειτουργίας (δηλαδή όσο πιο αραιά αναβοσβήνει ο λαμπτήρας, τόσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής). Μάλιστα φαίνεται ότι για συνεχή λειτουργία ο χρόνος ζωής μπορεί να διπλασιαστεί όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Επίσης φαίνεται ότι τα ηλεκτρομαγνητικά μπάλλαστ παρουσιάζουν μικρότερους χρόνους ζωής. Αντίθετα τα ηλεκτρονικά μπάλλαστ HF και ειδικά τα μπάλλαστ DALI παρουσιάζουν μεγαλύτερο χρόνο ζωής.



**Εικόνα 6.4 :** Χρόνος ζωής για 3 τύπους λαμπτήρα σε συνάρτηση με το κύκλο λειτουργίας.

#### Μπάλλαστ και μέθοδος έναυσης

Το κάθε μοντέλο λαμπτήρα φθορισμού συνδυάζονται με συγκεκριμένα Μπάλλαστ. Για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής ο λαμπτήρας πρέπει να συνδυάζεται με το δικό του Μπάλλαστ. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει η ποιότητα και το παραγόμενο ρεύμα του Μπάλλαστ. Η μέθοδος γρήγορης έναυσης (rapid start) διατηρεί τα ηλεκτρόδια θερμά διαρκώς ώστε ο λαμπτήρας να εκκινεί γρήγορα και ομαλά. Έτσι δε παρουσιάζεται το φαινόμενο της ψυχρής καθόδου που φθείρει τα ηλεκτρόδια και συνεπώς μπορεί να μειώσει το χρόνο ζωής. Γενικά όταν η έναυση γίνεται με προθέρμανση των ηλεκτροδίων τα ηλεκτρόδια φθείρονται λιγότερο. Συνεπώς παρουσιάζουν καλύτερη λειτουργία σε συχνό αναβοσβήσιμο. Στη μέθοδο στιγμιαίας έναυσης η πολύ υψηλή τάση που εφαρμόζεται στα ηλεκτρόδια για την εκκίνηση μειώνει το χρόνο ζωής.

Σύμφωνα με τον οδηγό της Phillips η φθορά των ηλεκτροδίων μειώνεται όταν η εμφάνιση του ηλεκτρικού τόξου πραγματοποιηθεί 100ms μετά την έναυση.

Το National Light Product Information Program σε μια πειραματική εργασία του εξετάζει λαμπτήρες με διαφορετικό μπάλλαστ και μέθοδο έναυσης. Οι λαμπτήρες είναι T8, 32W και δοκιμάζονται σε 2 κύκλους

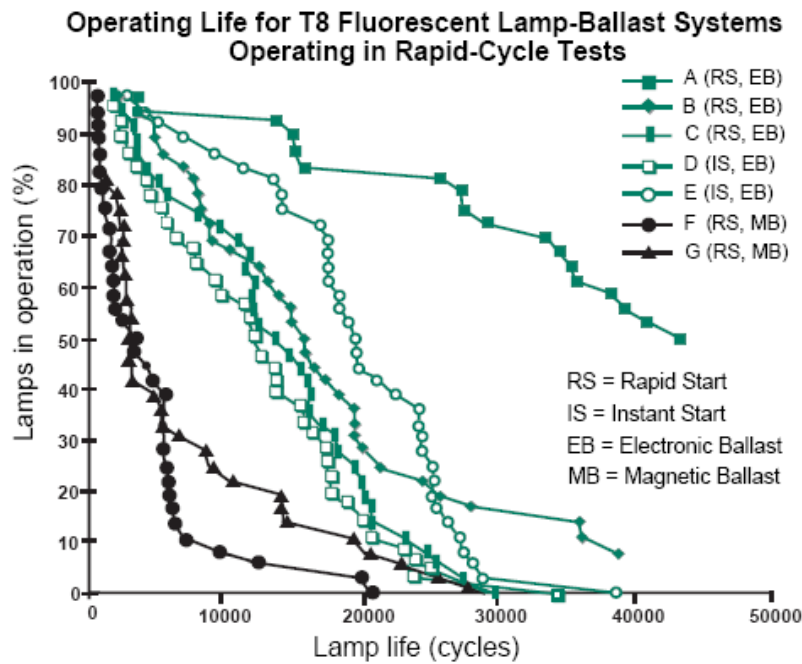
1. 5 λεπτά λειτουργίας 5 λεπτά εκτός λειτουργίας
2. 3 ώρες λειτουργίας και 20 λεπτά λειτουργίας ( μέθοδος IESNA LM-40-01).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Πίνακα 8. Παρατηρούμε ότι τα μαγνητικά μπάλλαστ με γρήγορη έναυση F,G έχουν πολύ μικρότερο χρόνο ζωής από τους υπόλοιπους λαμπτήρες. Το πρώτο ηλεκτρονικό μπάλλαστ με γρήγορη έναυση, A παρουσιάζει το μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Από την άλλη τα 2 ηλεκτρονικά μπάλλαστ B, C γρήγορης έναυσης δε παρουσιάζουν μεγαλύτερο χρόνο ζωής από τα D, E που είναι στιγμιαίας έναυσης, όπως γενικά αναμένεται.

Τα ίδια διαπιστώνονται και στην Εικόνα 6.5. Επίσης παρατηρούμε ότι τα μαγνητικά μπάλλαστ παρουσιάζουν μικρότερο χρόνο ζωής απ' ότι τα ηλεκτρονικά.

**Πίνακας 8:** Πειραματικά δεδομένα για το χρόνο ζωής ανάλογα με τη μέθοδο έναυσης και το μπάλλαστ

Τύπος μπάλλαστ	Μπάλλαστ ID	Μέθοδος έναυσης	Χρόνος ζωής (h)
Ηλεκτρονικό	A	Rapid start	3404
Ηλεκτρονικό	B	Rapid start	1311
Ηλεκτρονικό	C	Rapid start	998
Ηλεκτρονικό	D	Instant start	1126
Ηλεκτρονικό	E	Instant start	1630
Μαγνητικό	F	Rapid start	260
Μαγνητικό	G	Rapid start	234



**Εικόνα 6.5**

Οι κατασκευαστές λαμπτήρων φθορισμού υποστηρίζουν ότι η ονομαστική διάρκεια ζωής επιτυγχάνεται όταν ο λαμπτήρας συνεργάζεται με συγκεκριμένα μοντέλα μπάλλαστ. Αν δεν χρησιμοποιηθούν τα συγκεκριμένα μπάλλαστ, η διάρκεια ζωής του λαμπτήρα μπορεί να μειωθεί μέχρι και 50%. Ο τρόπος έναυσης παίζει παρόμοιο ρόλο. Οι κατασκευαστές υποστηρίζουν ότι αν σε ένα λαμπτήρα με γρήγορη έναυση εφαρμοστεί στιγμιαία έναυση ο χρόνος ζωής μπορεί να μειωθεί μέχρι 25%.

### Θερμοκρασία

Οι λαμπτήρες φθορισμού είναι κατασκευασμένοι να λειτουργούν σε συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασίας. Αν η θερμοκρασία αυξηθεί ο χρόνος ζωής μειώνεται. Μια φυσιολογική θερμοκρασία λειτουργία είναι τα 77 F. Υψηλότερες θερμοκρασίες μειώνουν την απόδοση σε Lumen και το χρόνο ζωής. Αν η θερμοκρασία φτάσει τους 100 F ο χρόνος ζωής μπορεί να μειωθεί μέχρι και 10%. Σημαντικό ρόλο παίζει και η θερμοκρασία των ηλεκτροδίων. Για μπάλλαστ υψηλής συχνότητας η ισορροπία θερμότητας του ηλεκτροδίου διαφέρει σημαντικά απ' ότι για συμβατικά μπάλλαστ. Αν δεν παρέχεται επιπλέον θερμότητα στα ηλεκτρόδια, πρέπει να διατηρείται ένα ελάχιστο ρεύμα λαμπτήρα ώστε να αποφευχθεί η μείωση του χρόνου ζωής.

Ο χρόνος ζωής των λαμπτήρων φθορισμού εξαρτάται από τους παραπάνω παράγοντες που σχετίζονται με τον τρόπο που χρησιμοποιούνται οι λαμπτήρες.

Συνήθεις λόγοι φθοράς των λαμπτήρων είναι η φθορά και η οξείδωση της επικάλυψης των ηλεκτροδίων και οι ατέλειες και προσμείξεις στα υλικά κατασκευής του λαμπτήρα φθορισμού.

Η επικάλυψη του νήματος των ηλεκτροδίων αποτελείται από μείγμα στροντίου, βαρίου και οξειδίων ασβεστίου. Αυτό το μείγμα χρησιμεύει στη θερμοϊονική εκπομπή ηλεκτρονίων. Η επικάλυψη αυτή σταδιακά φθείρεται από τη πρόσκρουση με ηλεκτρόνια και ιόντα υδραργύρου κατά τη λειτουργία του λαμπτήρα. Όμως ένα μεγάλο μέρος της φθοράς οφείλεται στο γεγονός ότι ο λαμπτήρας ξεκινά τη λειτουργία του με τα ηλεκτρόδια ψυχρά. Γι' αυτό ο τρόπος έναυσης του λαμπτήρα παίζει σημαντικό ρόλο στο χρόνο ζωής των λαμπτήρων. Έχει παρατηρηθεί ότι λαμπτήρες που λειτουργούν λιγότερο από 3 ώρες ανάμεσα σε κάθε αναβοσβήσιμο θα παρουσιάσουν καταστροφή της επικάλυψης πριν οποιοδήποτε άλλο εξάρτημα καταστραφεί. Το φθαρμένο μείγμα επικάλυψης είναι υπεύθυνο για τα μαύρα σημάδια που δημιουργούνται πάνω στους παλιούς λαμπτήρες. Όταν όλο το υλικό του μείγματος έχει χαθεί τα ηλεκτρόδια δε μπορούν να παρέχουν ικανό αριθμό ηλεκτρονίων που θα επιδράσουν στο αέριο και θα επιτευχθεί εκκένωση. Είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία του ηλεκτροδίου πρέπει να κυμαίνεται από 700 ως 1000 °C για μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Όταν το υλικό επικάλυψης έχει καταστραφεί εντελώς η τάση έναυσης θα φθείρει το ηλεκτρόδιο και τελικά θα το λειώσει οδηγώντας το λαμπτήρα σε αχρηστία.

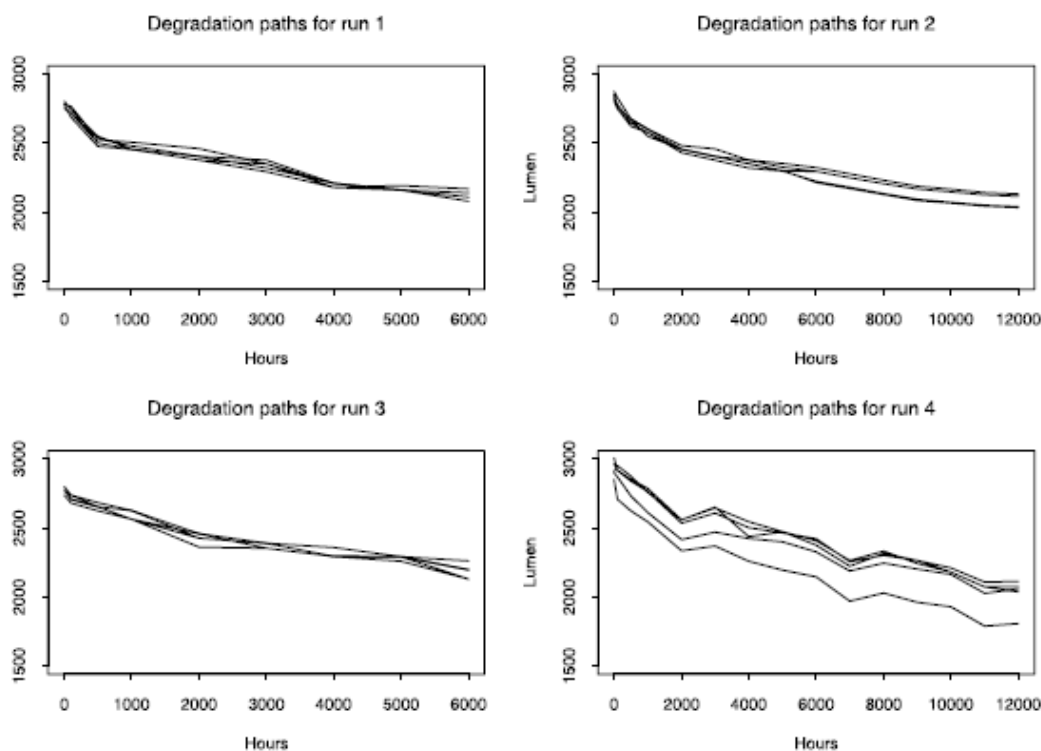
Η μέθοδος έναυσης με προθέρμανση προφυλάσσει σε ένα βαθμό το μείγμα της επικάλυψης από φθορά διότι προθερμαίνει τα ηλεκτρόδια πριν τη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου. Έτσι δεν επιτρέπει την έναυση του λαμπτήρα με ψυχρά ηλεκτρόδια (cold cathode).

Η φθορά των ηλεκτρονικών ισχύος του μπάλλαστ είναι ένας ακόμη λόγος για μείωση της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων. Είναι γνωστό ότι ο χρόνος ζωής των ηλεκτρονικών συσκευών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία λειτουργίας. Για κάθε αύξηση 10°C ο χρόνος ζωής τους μειώνεται. Η συνηθισμένη θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 25 °C. Σε αυτή τη θερμοκρασία δε πρόκειται να φθαρεί το ηλεκτρονικό μπάλλαστ και άρα ο λαμπτήρας. Αν όμως για οποιοδήποτε λόγο η θερμοκρασία στο μπάλλαστ ανυψωθεί αρκετά τα ηλεκτρονικά ισχύος επηρεάζονται με συνέπεια τη μείωση του χρόνου ζωής του λαμπτήρα.

Ο φώσφορος που υπάρχει στην επικάλυψη του σωλήνα του λαμπτήρα με τη συνεχή χρήση μειώνεται. Μετά από 25000 ώρες λειτουργίας η φωτεινότητα θα είναι η μισή από αυτή ενός καινούριου λαμπτήρα. Ακόμη και αν δεν επιδράσουν οι παράγοντες που αναλύθηκαν παραπάνω τελικά η φθορά του φωσφόρου θα προκαλέσει μειωμένη απόδοση στο λαμπτήρα. Επίσης με τη φθορά του φωσφόρου το παραγόμενο φως γίνεται πιο θαμπό. Η διαδικασία αυτή ωστόσο είναι αργή.

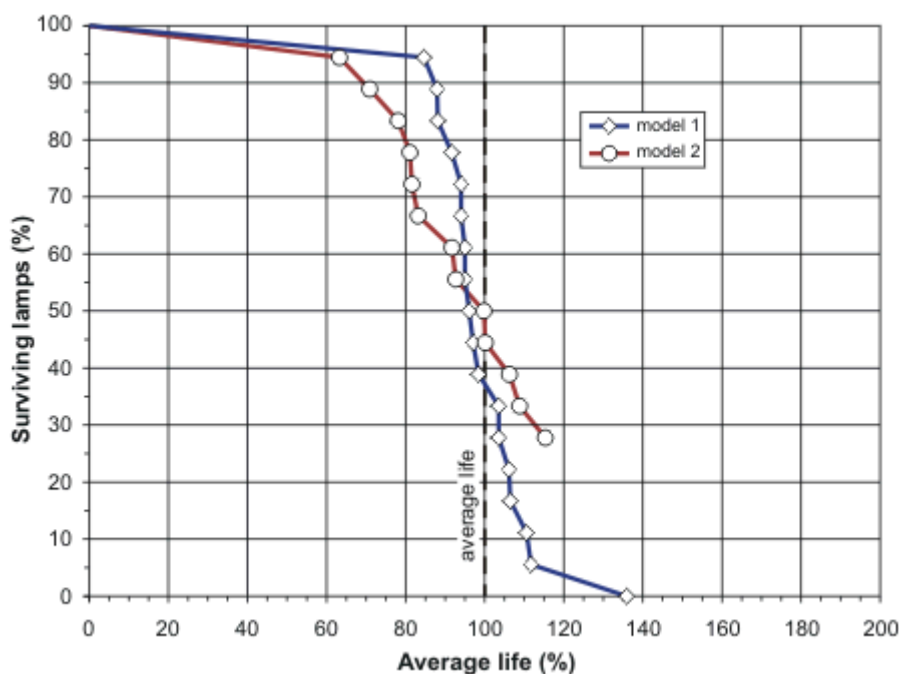
### 6.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ

Στην Εικόνα 6.6 παρουσιάζονται 4 πειράματα όπου μετρήθηκε μείωση των Lumen κάποιων λαμπτήρων με τη κατά τη διάρκεια λειτουργία τους. Στα πειράματα 1,3 (run 1,3) υπάρχουν δεδομένα μέχρι 6000h με διάστημα παρατήρησης 1000h. Στα πειράματα 2,4 (run 2,4) υπάρχουν μετρήσεις μέχρι 12000h με διάστημα παρατήρησης 1000h.



**Εικόνα 6.6 :** Μεταβολή της φωτεινής ροής (Lm) διάφορων λαμπτήρων σε σχέση με τις ώρες λειτουργίας τους.

Εκτός από το χρόνο ζωής πρέπει να προσεχτεί και η τυπική απόκλιση αυτού του χρόνου. Η τυπική απόκλιση μπορεί να δίνεται για παράδειγμα ως  $20000 \pm 10\%$  ώρες ή με τη μορφή του διαγράμματος που φαίνεται στην Εικόνα 6.7.



**Εικόνα 6.7 :** Κατανομή του χρόνου ζωής για δείγμα από 2 μοντέλα λαμπτήρων

Η τυπική απόκλιση του χρόνου ζωής επηρεάζει τη διαδικασία αντικατάστασης των λαμπτήρων ενός χώρου και το κόστος αυτής της αντικατάστασης. Στην Εικόνα 6.7 φαίνεται η διασπορά του χρόνου ζωής 2 μοντέλων λαμπτήρων T8, σύμφωνα με μελέτη του NLPIP (National Lighting Products Information Program). Το μοντέλο 1 παρουσιάζει μικρότερη τυπική απόκλιση και οι τιμές των χρόνων ζωής είναι περισσότερο συγκεντρωμένες γύρω από την ονομαστική τιμή. Αντίθετα το μοντέλο 2 παρουσιάζει μεγαλύτερη τυπική απόκλιση. Άρα το χρησιμοποιώντας λαμπτήρες του μοντέλου 1 ο χρόνος μέχρι να αντικατασταθούν οι λαμπτήρες θα είναι μεγαλύτερος.

Αυτό θα δειχθεί με ένα παράδειγμα. Έστω ένας χώρος που χρειάζεται 100 λαμπτήρες φθορισμού. Σύμφωνα με το σχήμα οι πρώτες απώλειες λαμπτήρων θα συμβούν στις 17300 ώρες για το μοντέλο 1 και στις 11800 ώρες για το μοντέλο 2. Έστω ότι όταν χαλάσουν 20 λαμπτήρες γίνεται αντικατάσταση όλων με καινούριους. Η απώλεια 20 λαμπτήρων θα συμβεί στις 21600 ώρες για το μοντέλο 1 και στις 19600 ώρες για το μοντέλο 2. Μια τέτοια διαφορά στο ρυθμό αποτυχίας των λαμπτήρων έχει επίπτωση

και στο κόστος αντικατάστασης αυτών. Συνεπώς αφού ληφθεί υπόψη ο ονομαστικός χρόνος ζωής θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η τυπική απόκλιση αυτού (όπως δίνεται από τους κατασκευαστές). Για να βρεθεί ο πραγματικός χρόνος ζωής του λαμπτήρα. Ο πραγματικός χρόνος ζωής του λαμπτήρα μπορεί να συμπεριληφθεί σε αναλύσεις κόστους και αν μας δώσει μια πιο ακριβή εικόνα του κόστους λειτουργίας και συντήρησης. [14]



## **B. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ**

#### **7.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Στο πειραματικό μέρος της εργασίας μελετήθηκε η έναυση και η λειτουργία πέντε διαφορετικών συστημάτων μπάλλαστ – λαμπτήρα φθορισμού, κατά τη διάρκεια μέγιστης στάθμης φωτισμού και υπό το καθεστώς dimming.

Σκοπός της εργασίας είναι να συγκριθούν τα πειραματικά αποτελέσματα των πέντε συστημάτων λαμπτήρα-μπάλλαστ μεταξύ τους και να παρατηρηθούν οι μεταβολές των μεγεθών σε σχέση με το βήμα τάσης. Επίσης θα γίνει έλεγχος των συνθηκών έναυσης και λειτουργίας, ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσον είναι οι κατάλληλες για να δώσουν στο λαμπτήρα μία ικανοποιητική διάρκεια ζωής. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον δόθηκε στις συνθήκες έναυσης καθότι είναι γνωστό ότι επηρεάζουν ιδιαίτερα τη ζωή των λαμπτήρων φθορισμού.

Ένας άλλος σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη των σεναρίων έναυσης και λειτουργίας των διαφόρων μπάλλαστ. Δηλαδή, η διερεύνηση των συνθηκών που επιβάλλει το μπάλλαστ στο λαμπτήρα, ώστε να προταθούν προτάσεις βελτίωσης αυτών.

Κατά την έναυση του συστήματος για διαδοχικά βήματα του ελέγχου τάσης από 10 έως 0 Volt μετρήθηκε, βάσει των παλμογραφημάτων, η τάση και το ρεύμα των ηλεκτροδίων του λαμπτήρα και ο χρόνος προθέρμανσης.

Κατά τη λειτουργία του συστήματος, ρυθμίζοντας διαδοχικά την τάση ελέγχου από 10 έως 0 Volt με βήμα περίπου 1 Volt, μετρήσαμε με παλμογράφο και μετρητή ισχύος τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- τάση συστήματος
- ρεύμα συστήματος
- ισχύ συστήματος
- τάση λαμπτήρα

- ρεύμα λαμπτήρα
- συχνότητα λειτουργίας
- τάση λειτουργίας (για λόγους πληρότητας)
- ρεύμα λειτουργίας.

## 7.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Για την επίτευξη των σκοπών της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα κατωτέρω όργανα του εργαστηρίου:

1. Για την καταγραφή της έναυσης των λαμπτήρων χρησιμοποιήθηκε ο ψηφιακός παλμογράφος τεσσάρων καναλιών Tektronix TDS 2014 με τα κάτωθι χαρακτηριστικά: μήκος καταγραφής (record length): 2500 λήψεις σε κάθε κανάλι, μέγιστος αριθμός δειγματοληψίας: 1 GS/s, εύρος ζώνης συχνοτήτων: 100 MHz, κατακόρυφη ανάλυση: 8 bits, επίπεδο τάσης εξωτερικής εισόδου trigger: 1.6 V, ευαισθησία: 2 mV/div έως 5 V/div, μέγιστη τάση εισόδου: 300 VRMS, εμπέδηση εισόδου: 1 MΩ (με απόκλιση 2%) παράλληλα με πυκνωτή 20 pF ( $\pm 3$  pF). Από το παλμογράφημα που είχαμε στην οθόνη, με τους κέρσορες μετριόντουσαν ο χρόνος της έναυσης και οι τάσεις και το ρεύμα κατά την έναυση.

2. Για την καταγραφή των τάσεων χρησιμοποιήθηκε ο διαφορικός ακροδέκτης τάσης (high voltage differential probe) Tektronix P5200 με τα παρακάτω χαρακτηριστικά: Χρόνος ανύψωσης:  $\leq 14$  ns, εύρος ζώνης συχνοτήτων: 25 MHz, μέγιστη τάση εισόδου:  $\pm 1.3$  kV (DC + κορυφή AC) με κλίμακα 1/500 και  $\pm 130$  V (DC + κορυφή AC) με κλίμακα 1/50, ακρίβεια:  $\pm 3\%$  (20 – 30 oC), εμπέδηση εισόδου: 8 MΩ, 3.5 pF μεταξύ των εισόδων και 4 MΩ, 7 pF μεταξύ της κάθε εισόδου και της γείωσης, μετατόπιση της συνεχούς συνιστώσας της τάσης εξόδου:  $\pm 0.5$  mV.

3. Για την καταγραφή του ρεύματος χρησιμοποιήθηκε ο ακροδέκτης ρεύματος (current probe) Tektronix P 6021 AC, με τα εξής χαρακτηριστικά: Χρόνος ανύψωσης:  $\leq 5.8$  ns, καθυστέρηση σήματος: περίπου 9 ns, κλίμακες: 2 mA/mV, 10 mA/mV, εύρος ζώνης συχνοτήτων: 450 Hz – 60 MHz, με κλίμακα 2 mA/mV και 120 Hz – 60 MHz, με κλίμακα 10 mA/mV, μέγιστο πλάτος ρεύματος εισόδου: α) 5 A, με κλίμακα 2 mA/mV και συχνότητες 1.2 kHz – 5 MHz και β) 15 A, με κλίμακα 10 mA/mV και

συχνότητες 300 Hz – 5 MHz, μέγιστο παλμικό ρεύμα: 250 A, με μέγιστη ενεργό τιμή 5 A.

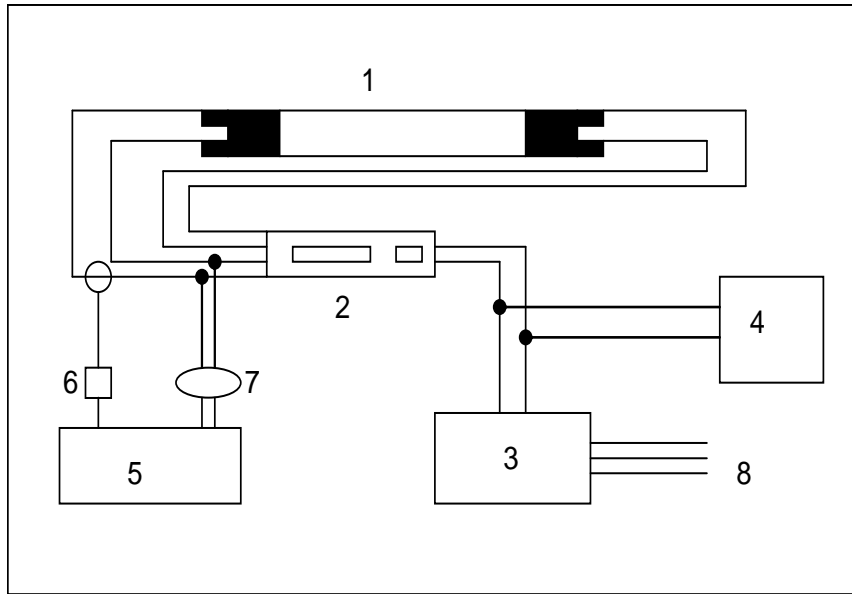
4. Για μετρήσεις του ρεύματος στα μπάλλαστ άμεσης έναυσης όπου το ρεύμα ήταν πολύ μεγαλύτερης έντασης, ή για μετρήσεις που ήταν απαραίτητη η καταγραφή και της συνιστώσας συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιήθηκε το πιο εξελιγμένο Tektronix TCP202 Current Probe με τα παρακάτω χαρακτηριστικά: Ακρίβεια DC  $\pm 3\%$  ( $\pm 1\%$  από 50 mA μέχρι 5 A και  $\pm 2\%$  από 5 A μέχρι 15 A), χρόνος ανύψωσης:  $\leq 7$  ns, εύρος ζώνης συχνοτήτων: DC – 50 MHz, μέγιστο πλάτος ρεύματος εισόδου DC και χαμηλής συχνότητας: α) 15 A (DC και κορυφή AC) και β) 50 A (με εύρος παλμού  $\leq 10$   $\mu$ s), μέγιστη τάση σε καλώδιο χωρίς μόνωση: 300 V (DC + κορυφή AC), περιοχή θερμοκρασιών λειτουργίας +5 ως +50 °C. Για χρήση του συγκεκριμένου ακροδέκτη με τον παλμογράφο DPO 4034 συνδεόταν με τον προσαρμογέα (adapter) TPA-BNC από την Tektronix.

5. Εκτός από τον προαναφερθέντα παλμογράφο χρησιμοποιήθηκε και ο νεότερος Tektronix DPO 4034: Μήκος καταγραφής (record length): 10.000.000 λήψεις σε όλα τα κανάλια, μέγιστος αριθμός δειγματοληψίας: 2,5 GS/s, εύρος ζώνης συχνοτήτων: 350 MHz, κανάλια: 4, κατακόρυφη ανάλυση: 8 bits, ευαισθησία εισόδου: στο 1 M $\Omega$ : 1 mV/div έως 10 V/div και στα 50  $\Omega$ : 1 mV/div έως 1 V/div, μέγιστη τάση εισόδου: 250 VRMS (με κορυφή  $\leq \pm 400$  V) στο 1 M $\Omega$  και 5 VRMS (με κορυφή  $\leq \pm 20$  V) στα 50  $\Omega$ , εμπέδηση εισόδου: 1 M $\Omega$  ή 50 $\Omega$  (με απόκλιση 1%).

Η διάταξη που χρησιμοποιήσαμε για την υλοποίηση των μετρήσεων κατά τη διάρκεια της έναυσης περιλαμβάνει έναν παλμογράφο, ένα πολύμετρο, ένα τροφοδοτικό τάσης και το εκάστοτε σύστημα λαμπτήρα – μπάλλαστ, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.1.

Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση των μετρήσεων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος περιλαμβάνει επιπλέον ένα βαττόμετρο που μετρά την εκάστοτε ισχύ, ρεύμα και τάση του συστήματος και η τροφοδοσία του συστήματος γίνεται μέσω αυτού.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων έναυσης, οι λαμπτήρες έμεναν τουλάχιστον μία ώρα εκτός λειτουργίας ώστε να ψυχθούν ικανοποιητικά. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων λειτουργίας, οι λαμπτήρες λειτουργούσαν διαρκώς για 30 λεπτά.



1. Λαμπτήρας	5. Παλμογράφος
2. Μπάλλαστ	6. Current Probe
3. Τροφοδοσία τάσης	7. Differential Probe
4. Πολύμετρο	8. Τροφοδοσία από παροχή

**Εικόνα 7.1 :** Πειραματική Διάταξη

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 8.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που εκτελέστηκαν. Τα αποτελέσματα αυτά, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αφορούν την τάση και το ρεύμα έναυσης, το χρόνο έναυσης, την τάση και το ρεύμα λειτουργίας, την τάση και το ρεύμα λαμπτήρα, τη συχνότητα λειτουργίας, την αντίσταση  $R_h$  και τη θερμοκρασία  $T_h$ . Επίσης μετρήθηκε η ισχύς του συστήματος λαμπτήρα-ballast και υπολογίστηκαν οι ισχείς του λαμπτήρα και του μπάλλαστ. Επιπλέον παρατίθενται κάποια παλμογραφήματα που απεικονίζουν την τάση και το ρεύμα στα ηλεκτρόδια του λαμπτήρα.

Στα αποτελέσματα και στα παλμογραφήματα αυτά γίνεται σχολιασμός. Για την τάση και το ρεύμα του λαμπτήρα οι πειραματικές μετρήσεις επιβεβαιώνουν τη θεωρία σχετικά με τη ρύθμιση φωτεινότητας των λαμπτήρων φθορισμού.

Στον πίνακα 9 παρατίθενται τα συστήματα μπάλλαστ – λαμπτήρα που χρησιμοποιήσαμε κατά τη πειραματική διαδικασία:

**Πίνακας 9:** Συστήματα Μπάλλαστ – λαμπτήρα του πειραματικού μέρους

A/A	ΜΠΑΛΛΑΣΤ	ΛΑΜΠΤΗΡΑΣ
1	TRIDONIC ATCO PCA 1/49 TS PCA ECO Ip	General electric starcoat T5 F49W/840
2	TRIDONIC ATCO PCA 1/54	Osram FQ 54W/830 lumilux Warm White
3	TRIDONIC ATCO PCA 1/28 T5 ECO Ip	General electric starcoat T5 F28W/840
4	TRIDONIC PCA 1/18 ECO	Philips TL-D 18W/54-765
5	PHILIPS HF Regulator electronic ballast	Philips 2x54 TL5 220-240

Στην παράγραφο 8.2 καταγράφονται οι μετρήσεις των συστημάτων αυτών σε πέντε όμοιους πίνακες. Εκτός από τις στήλες των μετρήσεων, συμπληρώθηκαν και κάποιες στήλες κατόπιν υπολογισμών:

- Η στήλη της αντίστασης  $R_h$  υπολογίστηκε διαιρώντας την τάση με το ρεύμα έναυσης σύμφωνα με τον τύπο:  $R_h = \text{Τάση έναυσης} / \text{Ρεύμα έναυσης}$ .

- Η στήλη της θερμοκρασίας συμπληρώθηκε με εφαρμογή της σχέσης:

$$T_h = T_c \times \left( \frac{R_h}{R_c} \right)^{0,814} \quad (1)$$

- Η προτελευταία στήλη της ισχύος συμπληρώθηκε πολλαπλασιάζοντας ρεύμα και την τάση λαμπτήρα
- Στην τελευταία στήλη υπολογίστηκε η ισχύς του μπάλλαστ. Ο υπολογισμός έγινε ως εξής: Από την ισχύ του συστήματος, την οποία μετρήσαμε με βαττόμετρο, αφαιρέθηκε η ισχύς του λαμπτήρα.

## 8.2 ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

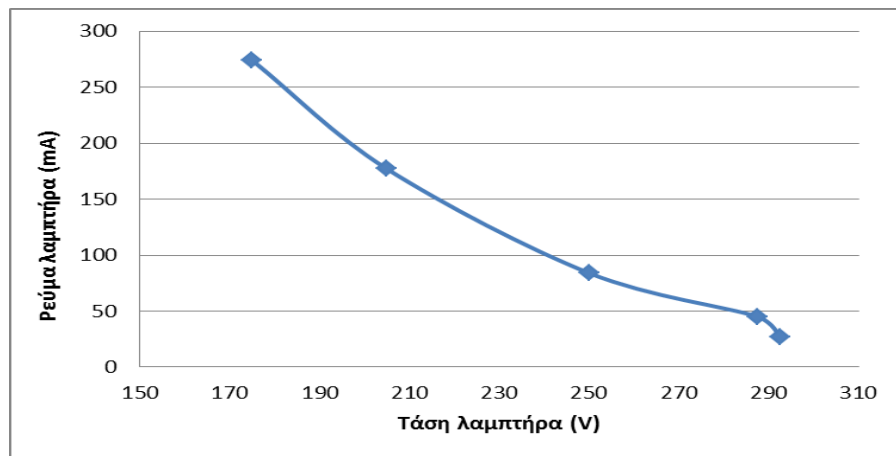
Σύμφωνα με όσα έχουν εκτεθεί έγιναν τα πειράματα και οι μετρήσεις στα πέντε συστήματα με τους λαμπτήρες φθορισμού. Ακολουθούν οι πίνακες με τα αποτελέσματα.

**Πίνακας 10 :** Αποτελέσματα μετρήσεων dimming με μπάλλαστ TRIDONIC ATCO PCA 1/49 TS ECO Ip και λαμπτήρα GENERAL ELECTRIC starcoat T5 F49W/840.

Βήμα αισθητήρα (V)	Ηλεκτρόδιο					Σύστημα λαμπτήρα - μπάλλαστ									
	Τάση έναυσης (V)	Ρεύμα έναυσης (mA)	Χρόνος έναυσης (ms)	Τάση λειτ. (V)	Ρεύμα λειτ. (mA)	Τάση συστ. (V)	Ρεύμα συστ. (A)	Ισχύς συστ. (W)	Τάση λαμπτ. (V)	Ρεύμα λαμπτ. (mA)	f (kHz)	R <sub>h</sub> (Ω)	T <sub>h</sub> (K)	Ισχύς Λαμπτ. (W)	Ισχύς μπάλλ. (W)
10,014	3,1	168	560	0,7	596	230	0,23	54	175,0	274	44,17	18,45	1107	47,9	6,0
9,007	3,2	160	560	4,4	468	231	0,18	42	205,0	177	54,11	20,00	1182	36,2	5,7
7,984	3,1	160	560	3,5	288	231	0,12	28	250,0	84	75,08	19,38	1152	21,1	6,8
6,982	3,2	156	560	3,4	228	232	0,09	19	287,5	45	79,11	20,51	1206	13,1	5,8
5,998	3,1	156	570	3,4	220	232	0,07	14	292,5	27	80,13	19,87	1176	8,0	5,9
4,992	3,1	160	560	3,7	236	232	0,05	11	291,5	19	80,65	19,38	1152	5,6	5,3
4,037	3,1	156	560	3,6	240	231	0,04	10	288,0	15	80,91	19,87	1176	4,5	5,4
2,932	3,0	156	560	3,7	240	232	0,04	8	273,5	13	81,70	19,23	1145	3,7	4,2
1,943	3,0	152	560	3,7	244	231	0,04	8	263,0	12	82,51	19,74	1169	3,3	4,6
1,092	3,1	156	560	3,7	244	231	0,04	8	254,0	12	83,33	19,87	1176	3,0	4,9
0,078	3,1	156	560	3,6	244	232	0,04	8	254,0	12	83,06	19,87	1176	3,0	4,9

Στο πρώτο σύστημα, μεταβάλλοντας την τάση, όσο ήταν εφικτό σε ακέραιες μονάδες κατά 1V από τα 10V έως 0V ελήφθησαν οι μετρήσεις που παρουσιάζονται στο Πίνακα 10.

Από τον Πίνακα 10 παρατηρείται ότι καθώς μειώνεται το βήμα της τάσης (δηλαδή η τάση ελέγχου) από 10V σε 0 V το ρεύμα του λαμπτήρα μειώνεται όπως είναι φυσικό. Η μείωση του ρεύματος προκαλεί και τη μείωση της φωτεινότητας του λαμπτήρα που είναι το ζητούμενο του dimming. Αντίθετα η τάση του λαμπτήρα αυξάνεται. Αυτή η αντίστροφη μεταβολή της τάσης και του ρεύματος επιβεβαιώνει και τη θεωρία που αναφέρει ότι ο λαμπτήρας φθορισμού συμπεριφέρεται σαν αρνητική αντίσταση. Η μεταβολή αυτή απεικονίζεται στο διάγραμμα της εικόνας 8.1.



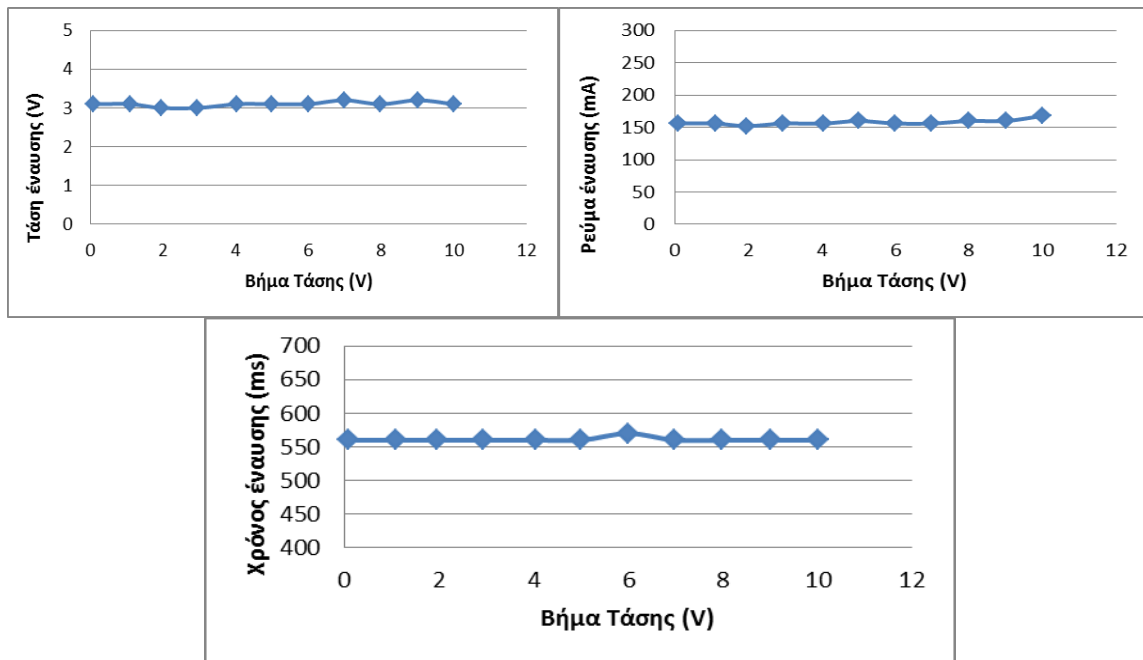
**Εικόνα 8.1 :** Μεταβολή της τάσης και του ρεύματος λαμπτήρα στο 1<sup>ο</sup> σύστημα. Ο λαμπτήρας φθορισμού συμπεριφέρεται σαν αρνητική αντίσταση.

Η συχνότητα λειτουργίας του ηλεκτρονικού μπάλλαστ  $f$  αυξάνεται σταδιακά από 44,17 kHz σε 83,06 kHz. Αυτό το γεγονός διαπιστώθηκε και στη θεωρία. Η αύξηση της συχνότητας λειτουργίας του ballast αυξάνεται από το κύκλωμα ελέγχου που ελέγχεται με τα βήματα τάσης 0-10V. Η αύξηση της συχνότητας συνεπάγεται μείωση του ρεύματος που είναι και το ζητούμενο.

Επίσης το ρεύμα συστήματος μειώνεται με μείωση της τάσης ελέγχου. Αυτό είναι επίσης αναμενόμενο διότι η ρύθμιση φωτεινότητας προκαλεί μικρότερη κατανάλωση ρεύματος από το δίκτυο και φυσικά μικρότερη κατανάλωση ισχύος όπως θα σχολιαστεί παρακάτω.



Η τάση συστήματος παραμένει σταθερή γύρω από τα 230 V. Η τάση συστήματος είναι ουσιαστικά η τάση τροφοδοσίας του συστήματος λαμπτήρας-μπάλλαστ. Ισούται με 230 V όπως είναι γνωστό για το δίκτυο Χ.Τ. της ΔΕΗ. Η τάση έναυσης παραμένει σχεδόν σταθερή στα 3,1 Vrms. Ο χρόνος έναυσης παραμένει σταθερός, ανεξάρτητα από το βήμα τάσης, στα 560ms. Επίσης το ρεύμα έναυσης δε μεταβάλλεται σημαντικά. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα χαρακτηριστικά της έναυσης δεν επηρεάζονται από το dimming γεγονός που φαίνεται στα αντίστοιχα διαγράμματα της εικόνας 8.2.



**Εικόνα 8.2 :** Μεταβολή της τάσης, του ρεύματος και του χρόνου έναυσης συναρτήσει του βήματος τάσης. 1<sup>ο</sup> σύστημα.

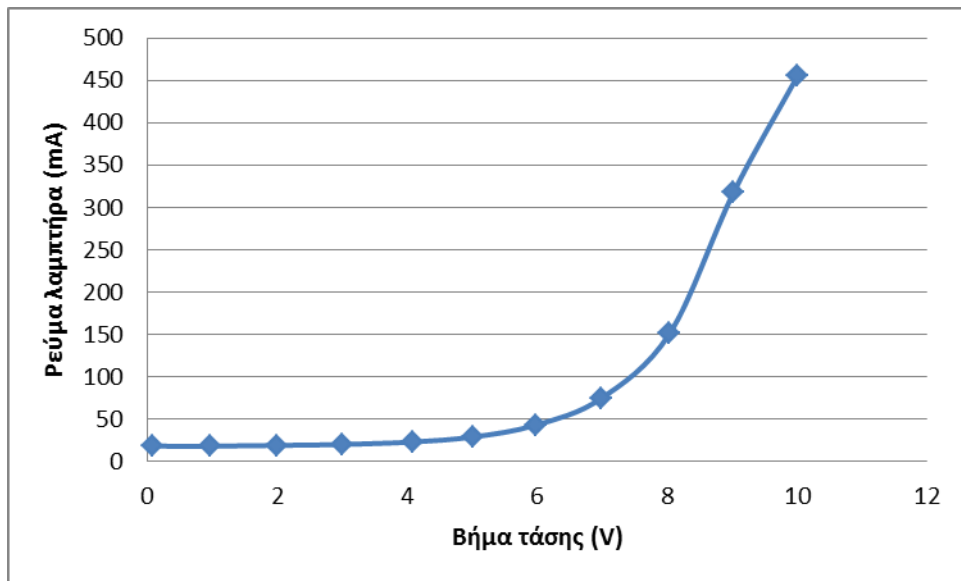
Η αντίσταση  $R_h$  όπως φαίνεται στον Πίνακα 10 παραμένει σταθερή γύρω από τα 19Ω. Η θερμοκρασία  $T_h$  κυμαίνεται από 1107 K (βήμα 10V) μέχρι 1176 K (βήμα 0V). Η ισχύς του λαμπτήρα και του συστήματος μειώνονται σταδιακά καθώς μειώνεται το βήμα τάσης και η φωτεινότητα του λαμπτήρα, όπως είναι φυσικό. Η ισχύς του μπάλλαστ υφίσταται πολύ μικρή μείωση με τη μεταβολή της μείωσης της τάσης. Δηλαδή η ισχύς του μπάλλαστ είναι σχεδόν ανεξάρτητη από το ποσοστό του dimming. Άλλωστε το μπάλλαστ είναι υπεύθυνο για την εκκίνηση και τον έλεγχο της λειτουργίας του λαμπτήρα.

**Πίνακας 11 :** Μετρήσεις σε σχέση με τη μεταβολή βήματος για μπάλαστ TRIDONIC ATCO PCA 1/54 και λαμπτήρα OSRAM FQ 54W/830 lumilux Warm White.

Βήμα αισθητήρα (V)	Ηλεκτρόδιο					Σύστημα λαμπτήρα - μπάλαστ									
	Τάση έναυσης (V)	Ρεύμα έναυσης (mA)	Χρόνος έναυσης (ms)	Τάση λειτ. (V)	Ρεύμα λειτ. (mA)	Τάση συστ. (V)	Ρεύμα συστ. (A)	Ισχύς συστ. (W)	Τάση λαμπτ. (V)	Ρεύμα λαμπτ. (mA)	f (kHz)	R <sub>h</sub> (Ω)	T <sub>h</sub> (K)	Ισχύς λαμπτ. (W)	Ισχύς μπάλλ. (W)
10,014	2,8	272	560	1,2	776	227	0,25	55,6	103,5	456	44,88	10,29	1312	47,2	8,4
9,025	2,7	264	550	3,0	1088	226	0,22	48,8	124,5	318	50,71	10,22	1305	39,6	9,2
8,037	2,8	272	550	2,3	584	227	0,16	33,7	168,5	151	77,76	10,29	1312	25,5	8,2
6,975	2,7	272	550	2,1	408	228	0,12	23,9	200,0	74	89,93	9,92	1273	14,9	8,9
5,979	2,7	276	550	2,2	352	227	0,09	18,2	215,5	43	92,42	9,78	1258	9,3	8,8
5,02	2,7	264	550	2,2	336	228	0,08	14,7	219,0	29	93,28	10,22	1305	6,5	8,2
4,079	2,8	264	550	2,3	320	228	0,07	12,8	223,5	23	93,90	10,60	1344	5,2	7,6
2,988	2,7	272	550	2,3	312	227	0,06	11,6	220,5	20	94,34	9,92	1273	4,5	7,1
1,987	2,8	272	550	2,3	312	228	0,06	10,8	212,5	19	95,42	10,29	1312	4,1	6,7
0,954	2,7	264	550	2,3	312	228	0,06	10,3	209,0	18	95,70	10,22	1305	3,8	6,4
0,074	2,8	272	550	2,3	312	228	0,06	10,3	209,0	18	96,71	10,29	1312	3,9	6,4

Στο δεύτερο σύστημα, μεταβάλλοντας την τάση, όσο ήταν εφικτό, κατά 1V από τα 10V έως 0V ελήφθησαν οι μετρήσεις του Πίνακα 11.

Από τον Πίνακα 11. παρατηρείται ότι καθώς μειώνεται το βήμα της τάσης (δηλαδή η τάση ελέγχου) από 10V σε 0 V η τάση του λαμπτήρα αυξάνεται. Αντίθετα το ρεύμα του λαμπτήρα μειώνεται όπως είναι φυσικό. Η μείωση του ρεύματος προκαλεί και τη μείωση της φωτεινότητας του λαμπτήρα που είναι το ζητούμενο του dimming. Η μείωση αυτή είναι εμφανής στο διάγραμμα της εικόνας 8.3.



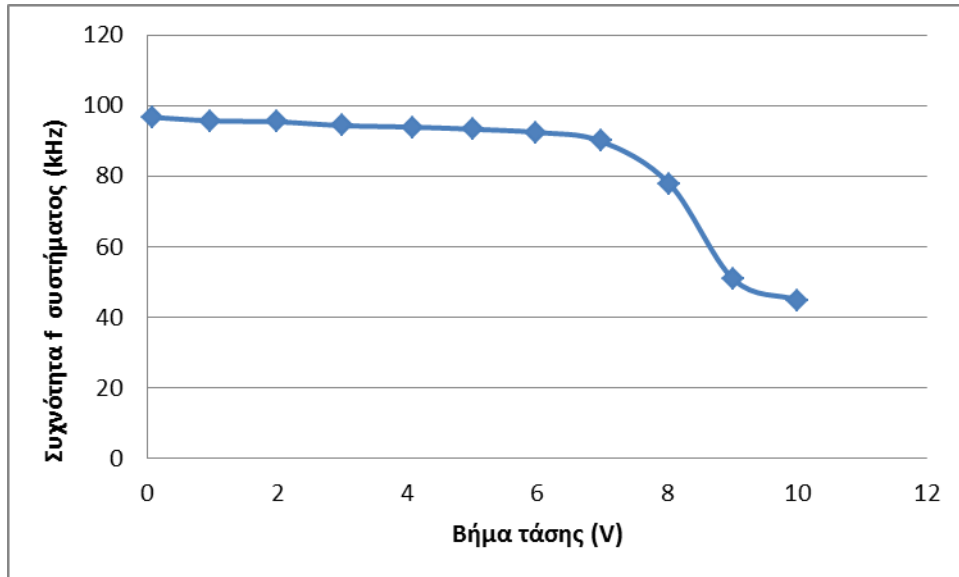
**Εικόνα 8.3 :** Μεταβολή της τάσης και του ρεύματος λαμπτήρα συναρτήσεως του βήματος τάσης, 2<sup>ο</sup> σύστημα.

Επίσης το ρεύμα συστήματος μειώνεται καθώς μειώνεται η τάση ελέγχου. Παρομοίως το ρεύμα λειτουργίας μειώνεται και το ρεύμα έναυσης παρουσιάζει 2 τιμές 272 και 264 mA.

Η τάση συστήματος παραμένει σταθερή γύρω από τα 230 V. Η τάση συστήματος είναι ουσιαστικά η τάση τροφοδοσίας του συστήματος λαμπτήρας-μπάλαστ και είναι 230 V όπως είναι γνωστό για το δίκτυο X.T. της ΔΕΗ.

Η τάση έναυσης παραμένει σχεδόν σταθερή στα 2,8 V. Ο χρόνος έναυσης παραμένει σταθερός, ανεξάρτητα από το βήμα τάσης, στα 550ms.

Η συχνότητα λειτουργίας του ηλεκτρονικού μπάλλαστ  $f$  αυξάνεται σταδιακά από 44,88 kHz σε 96,71 kHz. Η αύξηση της συχνότητας συνεπάγεται μείωση του ρεύματος που είναι και το ζητούμενο. Στην εικόνα 8.4 παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα.



**Εικόνα 8.4 :** Μεταβολή της συχνότητας του συστήματος συναρτήσει του βήματος τάσης, 2<sup>ο</sup> σύστημα.

Η αντίσταση  $R_h$  όπως φαίνεται στο Πίνακα 11 παραμένει σχεδόν σταθερή γύρω από τα 10Ω. Η θερμοκρασία  $T_h$  κυμαίνεται από 1258 K (βήμα 5,979V) μέχρι 1344 K (βήμα 4,079V).

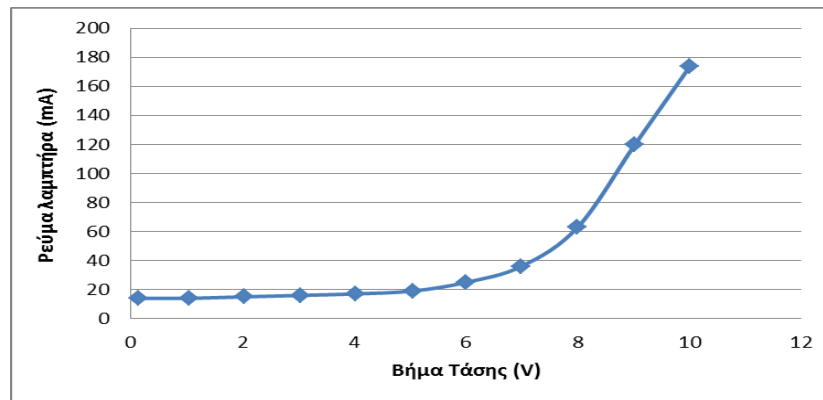
Η ισχύς του λαμπτήρα και του συστήματος μειώνονται σταδιακά καθώς μειώνεται το βήμα τάσης και η φωτεινότητα του λαμπτήρα, όπως είναι φυσικό. Η ισχύς του μπάλλαστ υφίσταται πολύ μικρή μείωση με τη μεταβολή της μείωσης της τάσης. Δηλαδή η ισχύς του μπάλλαστ είναι σχεδόν ανεξάρτητη από τη διαδικασία του dimming.

**Πίνακας 12 :** Μετρήσεις σε σχέση με τη μεταβολή βήματος για μπάλλαστ TRIDONIC ATCO PCA 1/28 T5 ECO Ip και λαμπτήρα GENERAL ELECTRIC starcoat T5 F28W/840

Βήμα αισθητήρα (V)	Ηλεκτρόδιο					Σύστημα λαμπτήρα - μπάλλαστ									
	Τάση έναυσης (V)	Ρεύμα έναυσης (mA)	Χρόνος έναυσης (ms)	Τάση λειτ. (V)	Ρεύμα λειτ. (mA)	Τάση συστ. (V)	Ρεύμα συστ. (A)	Ισχύς συστ. (W)	Τάση λαμπτ. (V)	Ρεύμα λαμπτ. (mA)	f (kHz)	R <sub>h</sub> (Ω)	T <sub>h</sub> (K)	Ισχύς λαμπτ. (W)	Ισχύς μπάλλ. (W)
10,014	2,0	64	560	2,1	356	227	0,14	31,7	159,5	174	45,70	31,25	851	27,8	3,8
9,026	1,9	52	550	2,2	320	228	0,12	25,5	178,5	120	57,08	36,53	966	21,4	4,0
8,001	1,8	52	550	2,2	160	228	0,08	17,4	205,0	63	74,85	34,61	924	12,9	4,4
6,994	1,8	48	556	2,2	113	227	0,06	12,6	221,5	36	79,10	37,50	987	8,0	4,5
6,005	1,8	48	550	2,3	92	227	0,05	9,9	225,5	25	80,13	37,50	987	5,7	4,2
5,049	1,9	48	550	2,3	86	228	0,04	8,0	222,0	19	80,91	39,58	1031	4,2	3,7
4,018	1,8	47	550	2,2	81	227	0,04	7,3	217,5	17	81,43	38,13	1000	3,8	3,5
3,044	1,9	46	560	2,3	77	228	0,04	6,8	208,5	16	82,24	40,94	1060	3,4	3,4
2,036	1,8	47	550	2,3	76	228	0,04	6,7	201,0	15	82,78	38,13	1000	3,1	3,6
1,037	1,8	48	550	2,3	76	228	0,04	6,6	195,0	14	83,61	37,50	987	2,9	3,7
0,131	1,8	49	550	2,3	76	228	0,04	6,6	195,0	14	83,61	36,29	961	2,9	3,7

Στο τρίτο σύστημα, μεταβάλλοντας την τάση, όσο ήταν εφικτό, κατά 1V από τα 10V έως 0V ελήφθησαν οι μετρήσεις του Πίνακα 12.

Από τον Πίνακα 12 παρατηρείται ότι καθώς μειώνεται το βήμα της τάσης (δηλαδή η τάση ελέγχου) από 10V σε 0 V το ρεύμα του λαμπτήρα μειώνεται όπως είναι φυσικό (Εικόνα 8.5). γεγονός που προκαλεί και τη μείωση της φωτεινότητας του λαμπτήρα, δηλαδή το ζητούμενο του dimming. Αντίθετα η τάση του λαμπτήρα αυξάνεται.



**Εικόνα 8.5 :** Μεταβολή της τάσης και του ρεύματος λαμπτήρα συναρτήσεως του βήματος τάσης. 3<sup>ο</sup> σύστημα.

Επίσης το ρεύμα συστήματος μειώνεται καθώς μειώνεται η τάση ελέγχου. Παρομοίως το ρεύμα λειτουργίας και το ρεύμα έναυσης μειώνονται σε μικρότερο βαθμό. Η τάση συστήματος παραμένει σταθερή γύρω από τα 227 V.

Ο χρόνος έναυσης παραμένει σταθερός, ανεξάρτητα από το βήμα τάσης, στα 550ms. Η συχνότητα λειτουργίας του ηλεκτρονικού μπάλλαστ  $f$  αυξάνεται σταδιακά από 45,7 kHz σε 83,61 kHz. Η αύξηση της συχνότητας συνεπάγεται μείωση του ρεύματος που είναι και το ζητούμενο. Η αντίσταση  $R_h$  όπως φαίνεται στο Πίνακα 12 παραμένει σχεδόν σταθερή γύρω από τα 38Ω. Η θερμοκρασία  $T_h$  κυμαίνεται από 851,1 K (βήμα 0V) μέχρι 1060 K (βήμα 3V).

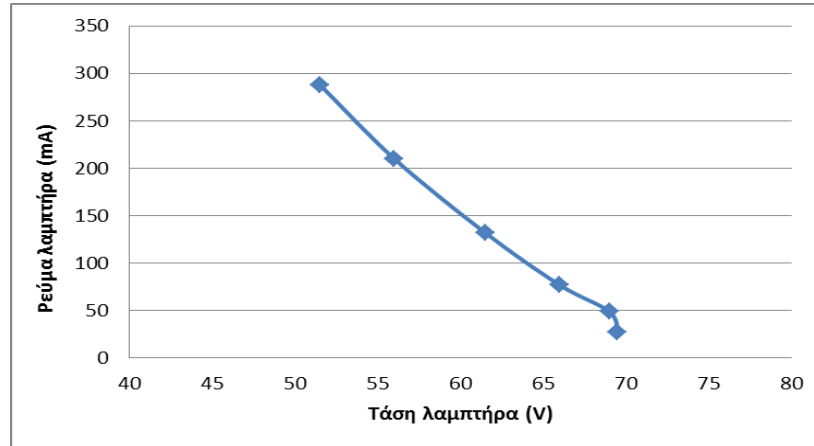
Η ισχύς του λαμπτήρα και του συστήματος μειώνονται σταδιακά καθώς μειώνεται το βήμα τάσης και η φωτεινότητα του λαμπτήρα, όπως είναι φυσικό. Η ισχύς του μπάλλαστ υφίσταται πολύ μικρή μείωση με τη μεταβολή της μείωσης της τάσης. Δηλαδή η ισχύς του μπάλλαστ είναι σχεδόν ανεξάρτητη από τη διαδικασία του dimming.

**Πίνακας 13 :** Μετρήσεις σε σχέση με τη μεταβολή βήματος για μπάλαστ TRIDONIC PCA 1/18 ECO και λαμπτήρα PHILIPS TL-D 18W/54-765

Βήμα αισθητήρα (V)	Ηλεκτρόδιο					Σύστημα λαμπτήρα - μπάλαστ									
	Τάση έναυσης (V)	Ρεύμα έναυσης (mA)	Χρόνος έναυσης (ms)	Τάση λειτ. (V)	Ρεύμα λειτ. (mA)	Τάση συστ. (V)	Ρεύμα συστ. (A)	Ισχύς συστ. (W)	Τάση λαμπτ. (V)	Ρεύμα λαμπτ. (mA)	f (kHz)	R <sub>h</sub> (Ω)	T <sub>h</sub> (K)	Ισχύς λαμπτ. (W)	Ισχύς μπάλλ. (W)
10,017	23,6	1808	640	8,0	688	227	0,10	22,5	51,5	288	42,66	13,05	1307	14,8	7,7
9,026	23,6	1808	660	8,0	736	228	0,09	19,0	56,0	210	53,76	13,05	1307	11,7	7,2
8,04	23,8	1808	650	9,0	832	228	0,07	15,1	61,5	132	71,63	13,16	1316	8,1	7,0
6,986	23,6	1808	650	9,6	944	228	0,06	12,3	66,0	77	85,32	13,05	1307	5,1	7,2
6,028	23,8	1808	650	10,0	1008	227	0,05	10,6	69,0	49	90,58	13,16	1316	3,3	7,2
4,949	23,8	1792	650	10,0	1040	227	0,04	9,1	69,5	27	94,34	13,28	1325	1,9	7,2
3,969	23,8	1792	650	10,0	1040	228	0,04	8,2	68,5	16	96,90	13,28	1325	1,1	7,1
3,001	23,8	1808	650	9,4	1024	228	0,04	7,7	66,0	9	99,21	13,16	1316	0,6	7,1
2,019	23,6	1808	650	8,6	976	229	0,04	7,3	63,0	5	101,20	13,05	1307	0,3	6,9
1,015	23,6	1808	650	8,4	960	229	0,04	6,9	60,0	3	103,30	13,05	1307	0,2	6,7

Στο τέταρτο σύστημα, μεταβάλλοντας την τάση, όσο ήταν εφικτό, κατά 1V από τα 10V έως 0V ελήφθησαν οι μετρήσεις του Πίνακα 13.

Παρατηρείται ότι καθώς μειώνεται το βήμα της τάσης από 10V σε 0 V το ρεύμα του λαμπτήρα μειώνεται όπως είναι φυσικό. Η μείωση του ρεύματος προκαλεί και τη μείωση της φωτεινότητας του λαμπτήρα (dimming). Αντίθετα η τάση του λαμπτήρα αυξάνεται.



**Εικόνα 8.6 :** Μεταβολή της τάσης και του ρεύματος λαμπτήρα στο 4ο σύστημα.

Ο λαμπτήρας φθορισμού συμπεριφέρεται σαν αρνητική αντίσταση.

Επίσης το ρεύμα συστήματος με τη μείωση της τάσης ελέγχου. Το ρεύμα έναυσης έχει 2 τιμές 1808 και 1792mA. Το ρεύμα λειτουργίας αυξάνεται. Η τάση συστήματος παραμένει σταθερή γύρω από τα 228 V ενώ η τάση έναυσης παραμένει σχεδόν σταθερή στα 23,6 V. Ο χρόνος έναυσης παραμένει σταθερός, στα 650ms. Η συχνότητα λειτουργίας του ηλεκτρονικού μπάλλαστ  $f$  αυξάνεται σταδιακά από 42,66 kHz σε 103,3 kHz. Η αύξηση της συχνότητας συνεπάγεται μείωση του ρεύματος που είναι και το ζητούμενο.

Η αντίσταση  $R_h$  όπως φαίνεται στον Πίνακα 13 παραμένει σχεδόν σταθερή γύρω από τα 13Ω. Η θερμοκρασία  $T_h$  κυμαίνεται από 1307 K (βήμα 0V) μέχρι 1325 K (βήμα 4V). Η ισχύς του λαμπτήρα και του συστήματος μειώνονται σταδιακά καθώς μειώνεται το βήμα τάσης και η φωτεινότητα του λαμπτήρα, όπως είναι φυσικό. Η ισχύς του μπάλλαστ υφίσταται πολύ μικρή μείωση με τη μεταβολή της μείωσης της τάσης. Δηλαδή η ισχύς του μπάλλαστ είναι σχεδόν ανεξάρτητη από τη διαδικασία του dimming



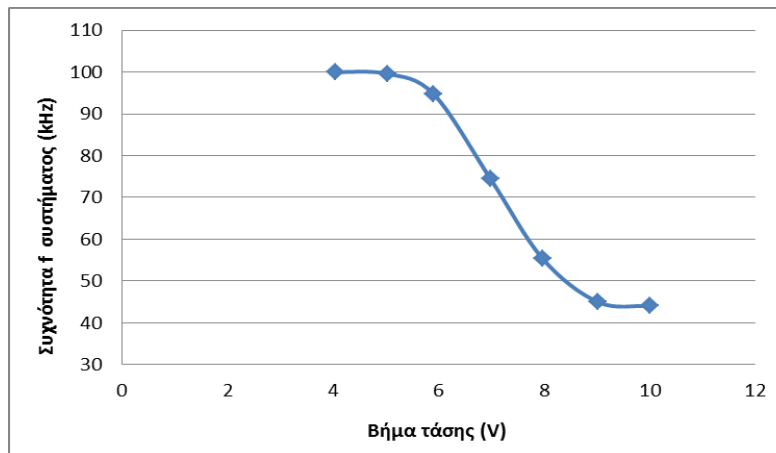
**Πίνακας 14 :** Μετρήσεις σε σχέση με τη μεταβολή βήματος για μπάλλαστ PHILIPS HF Regulator electronic και λαμπτήρες PHILIPS 2x54W TL5 220-240.

Βήμα αισθητήρα (V)	Ηλεκτρόδιο					Σύστημα λαμπτήρα - μπάλλαστ									
	Τάση έναυσης (V)	Ρεύμα έναυσης (mA)	Χρόνος έναυσης (ms)	Τάση λειτ. (V)	Ρεύμα λειτ. (mA)	Τάση συστ. (V)	Ρεύμα συστ. (A)	Ισχύς συστ. (W)	Τάση λαμπτ. (V)	Ρεύμα λαμπτ. (mA)	f (kHz)	R <sub>h</sub> (Ω)	T <sub>h</sub> (K)	Ισχύς λαμπτ. (W)	Ισχύς Μπάλλ. (W)
10,015	13,8	1840	1770	8,7	1280	227	0,51	116,9	101,5	478	44,01	7,50	999	97,0	19,9
9,026	13,8	1856	1770	9,1	1176	228	0,51	115,8	103,5	472	44,95	7,43	992	97,7	18,1
7,972	13,9	1824	1760	10,6	1240	230	0,46	105,7	125,0	350	55,31	7,62	1012	87,5	18,2
6,984	13,7	1856	1760	12,5	1504	231	0,41	94,5	140,0	264	74,40	7,38	986	73,9	20,6
5,905	13,7	1856	1760	13,8	1680	230	0,34	78,7	148,0	198	94,70	7,38	986	58,6	20,0
5,033	13,7	1856	1750	14,4	1728	230	0,28	62,9	167,5	131	99,60	7,38	986	44,0	18,9
4,039	13,8	1840	1760	14,1	1776	229	0,21	45,7	196,0	71	100,00	7,50	999	28,0	17,6
3,041	13,7	1840	1760	14,1	1760	228	0,16	34,1	212,0	37	98,43	7,45	993	16,0	18,1
2,036	13,7	1840	1760	14,1	1792	227	0,12	25,1	219,5	18	98,43	7,45	993	7,9	17,1
1,068	13,7	1840	1760	14,1	1808	227	0,11	20,7	216,0	4	98,43	7,45	993	1,8	18,9
0,015	13,7	1840	1760	14,1	1800	227	0,10	20,8	217,0	3	98,43	7,45	993	1,8	19,0

Από τον Πίνακα 14 ο οποίος αναφέρεται στο πέμπτο σύστημα, παρατηρείται ότι καθώς μειώνεται το βήμα της τάσης από 10V σε 0 V το ρεύμα του λαμπτήρα μειώνεται. Η μείωση αυτή προκαλεί και τη μείωση της φωτεινότητας του λαμπτήρα (dimming). Αντίθετα η τάση του λαμπτήρα αυξάνεται. Επίσης το ρεύμα συστήματος μειώνεται καθώς μειώνεται η τάση ελέγχου. Το ρεύμα λειτουργίας αυξάνεται.

Η τάση συστήματος παραμένει σταθερή γύρω από τα 230 V. Η τάση συστήματος είναι ουσιαστικά η τάση τροφοδοσίας του συστήματος λαμπτήρας-μπάλλαστ και είναι 230 V όπως είναι γνωστό για το δίκτυο X.T. της ΔΕΗ. Η τάση έναυσης παραμένει σχεδόν σταθερή στα 13,7 V.

Ο χρόνος έναυσης παραμένει σταθερός, ανεξάρτητα από το βήμα τάσης, στα 1840ms. Η συχνότητα λειτουργίας του ηλεκτρονικού μπάλλαστ  $f$  αυξάνεται σταδιακά από 44,01 kHz σε 98,43 kHz. Η αύξηση της συχνότητας συνεπάγεται μείωση του ρεύματος που είναι και το ζητούμενο ( εικόνα 8.7).



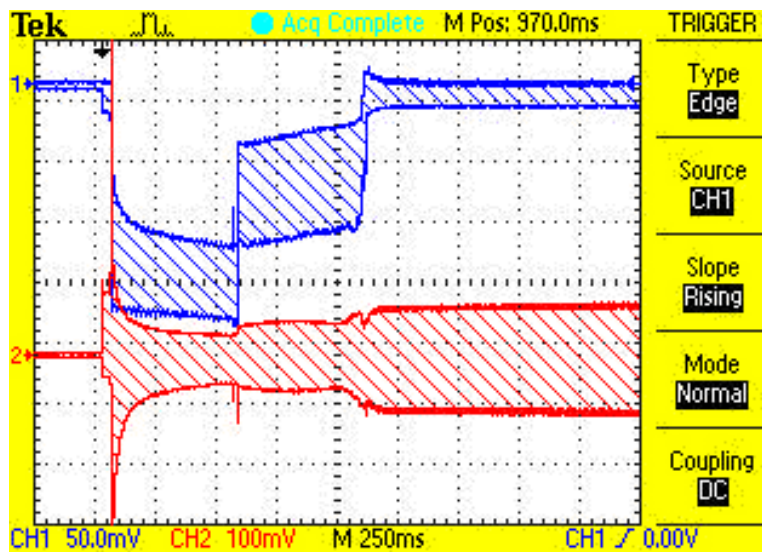
**Εικόνα 8.7 :** Μεταβολή της συχνότητας του συστήματος συναρτήσει του βήματος τάσης. 5<sup>ο</sup> σύστημα.

Η αντίσταση  $R_h$  παραμένει σχεδόν σταθερή γύρω από τα 7,5Ω. Η θερμοκρασία  $T_h$  κυμαίνεται από 986 K μέχρι 999 K. Η ισχύς του λαμπτήρα και του συστήματος μειώνονται σταδιακά καθώς μειώνεται το βήμα τάσης και η φωτεινότητα του λαμπτήρα. Η ισχύς του μπάλλαστ υφίσταται πολύ μικρή μείωση με τη μεταβολή της μείωσης της τάσης.

### 8.3 ΣΥΣΤΗΜΑ TRIDONIC-GE, 1x49W (1ο σύστημα)

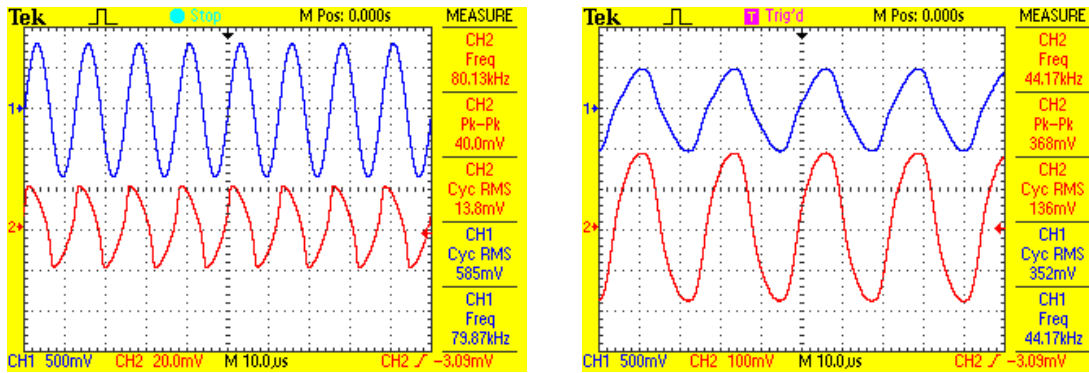
Το πρώτο σύστημα στο οποίο έγιναν μετρήσεις είναι το μπάλλαστ TRIDONIC ATCO pca 1/49 TS ECO Ip με το λαμπτήρα General electric starcoat T5 F49W/840. Μεταβάλλοντας την τάση, όσο ήταν εφικτό σε ακέραιες μονάδες κατά 1V από τα 10V έως 0V ελήφθησαν οι μετρήσεις που παρουσιάζονται στο Πίνακα 10.

Τα παλμογραφήματα των εικόνων 8.8 και 8.9 ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της Μέτρησης 1 και απεικονίζουν την τάση και το ρεύμα του λαμπτήρα κατά την έναυση. Στο παλμογράφημα της εικόνας 8.8 απεικονίζεται η τάση και το ρεύμα στα άκρα των ηλεκτροδίων.



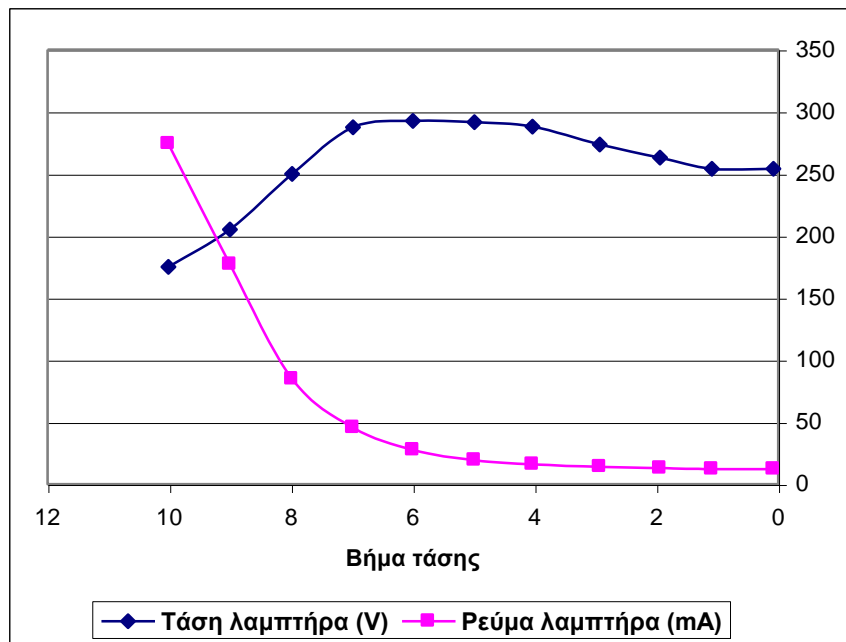
Εικόνα 8.8 : Τάση (άνω ίχνος) και το ρεύμα (κάτω ίχνος) στα άκρα των ηλεκτροδίων.

Στα παλμογραφήματα της εικόνας 8.9 απεικονίζεται η τάση και το ρεύμα του λαμπτήρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.



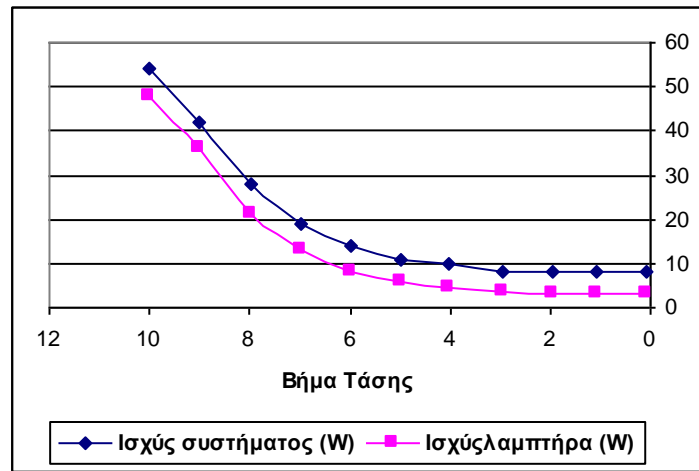
**Εικόνα 8.9 :** Τάση (άνω ίχνος) και το ρεύμα (κάτω ίχνος) του λαμπτήρα κατά τη διάρκεια λειτουργίας του, για δύο διακριτά βήματα τάσης 8V και 6V αντίστοιχα.

Στην εικόνα 8.10 φαίνεται πώς μεταβάλλεται η τάση και η ένταση του λαμπτήρα καθώς μειώνουμε σταδιακά την τάση ελέγχου για να επιτύχουμε το dimming. Το ρεύμα ξεκινάει από υψηλή τιμή (274 mA) και μειώνεται σταδιακά εωσότου σχεδόν να μηδενιστεί (83 mA), για να μειώσει την φωτεινότητα του λαμπτήρα. Η τάση στα πρώτα βήματα είναι πιο χαμηλή για να αντισταθμίσει την ιδιαίτερα υψηλή ένταση. Δηλαδή ξεκινάει από 175 V. Σταδιακά αυξάνεται καθώς μειώνεται το ρεύμα και τελικά σταθεροποιείται γύρω από τα 254 V (στα τελευταία βήματα που το ρεύμα είναι πολύ μικρό).



**Εικόνα 8.10 :** Μεταβολή της τάσης και του ρεύματος λαμπτήρα συναρτήσεως του βήματος τάσης. 1<sup>ο</sup> σύστημα.

Στην εικόνα 8.11 φαίνεται πώς μεταβάλλεται η ισχύς του συστήματος και η ισχύς του λαμπτήρα στα 10 διαδοχικά βήματα ελέγχου τάσης. Παρατηρείται ότι μεταβάλλονται ανάλογα και η διαφορά των δύο καμπυλών μας δίνει την ισχύ του μπάλλαστ. Επίσης το διάγραμμα δείχνει ότι η ισχύς του λαμπτήρα ξεκινά από τη τιμή 47,97W (λίγο μικρότερη από την ονομαστική ισχύ 48W) και σταδιακά μειώνεται σε 3,078W. Ομοίως η ισχύς συστήματος μειώνεται από 54 σε 8 W. Η ισχύς του μπάλλαστ όπως φαίνεται στην εικόνα 8.11 αλλά και στον Πίνακα 10 μένει σχεδόν σταθερή. Πιο συγκεκριμένα, για βήμα 10V είναι 6,05 W και για βήμα 0V είναι 4,92 W, λίγο μικρότερη.

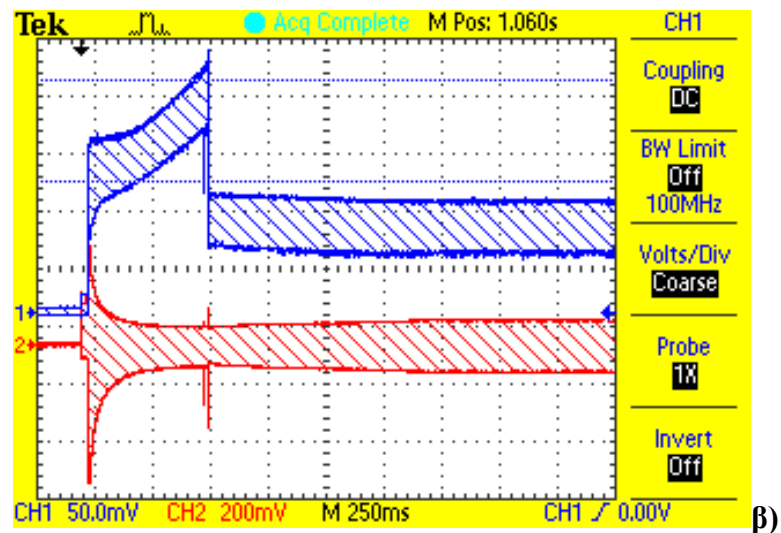
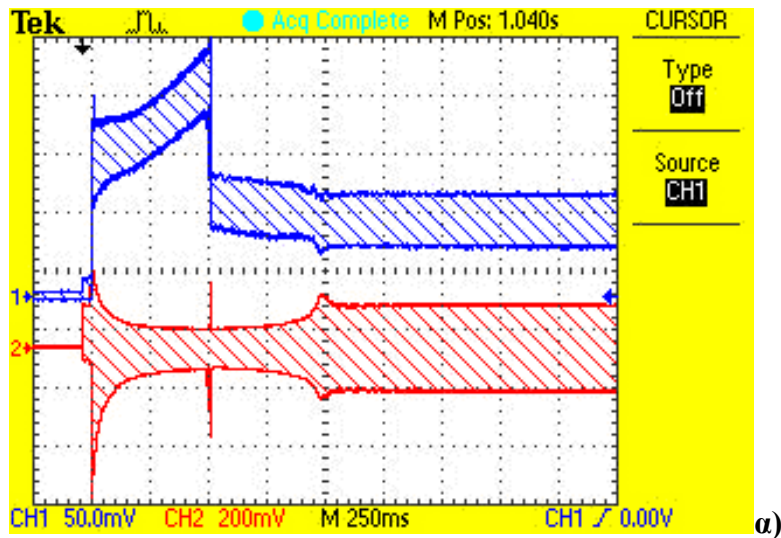


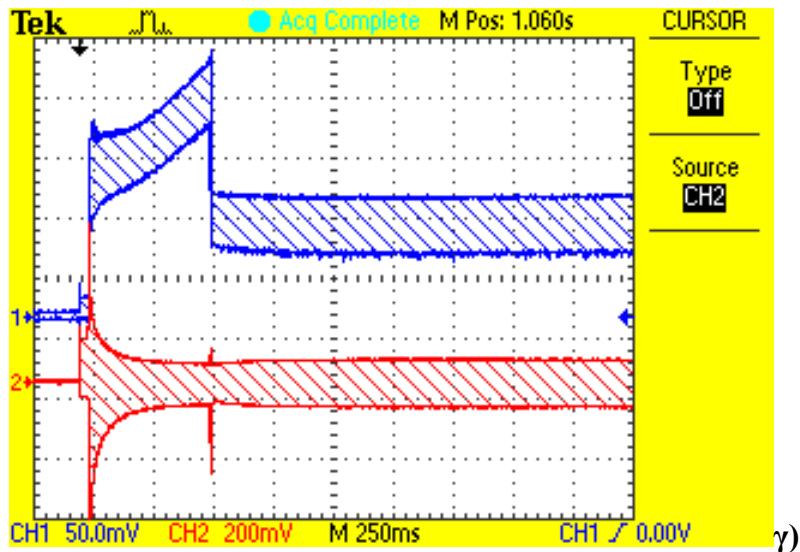
**Εικόνα 8.11 :** Μεταβολή της ισχύος συστήματος και της ισχύος λαμπτήρα συναρτήσει του βήματος τάσης. 1<sup>ο</sup> σύστημα.

#### 8.4 ΣΥΣΤΗΜΑ TRIDONIC-OSRAM, 1x54W (2<sup>ο</sup> σύστημα)

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε το δεύτερο σύστημα μπάλλαστ TRIDONIC ATCO 1/54 και λαμπτήρα OSRAM FQ 54W/830 lumilux Warm White. Μεταβάλλοντας την τάση, όσο ήταν εφικτό, κατά 1V από τα 10V έως 0V ελήφθησαν οι μετρήσεις του Πίνακα 11.

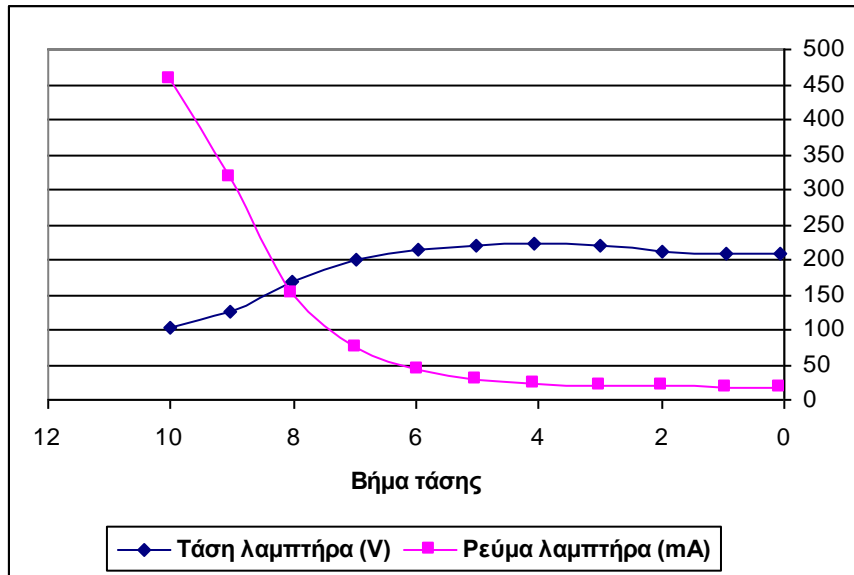
Τα παλμογραφήματα της εικόνας 8.12 ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της δεύτερης Μέτρησης. Σε αυτά, εικονίζονται η τάση (με μπλε χρώμα / άνω ίχνος) και το ρεύμα (με κόκκινο / κάτω ίχνος) στα άκρα των ηλεκτροδίων.





**Εικόνα 8.12 :** Μεταβολή τάσης (άνω ίχνος) και ρεύματος (κάτω ίχνος)  
α) για βήμα τάσης 8V, β) για βήμα τάσης 6V, γ) για βήμα τάσης 2V.

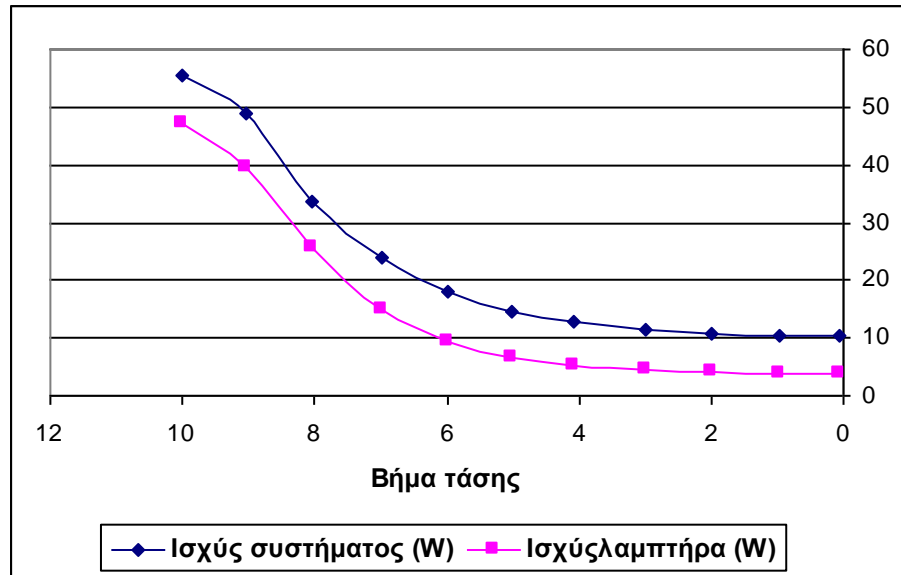
Στην εικόνα 8.13 φαίνεται πώς μεταβάλλεται η τάση και η ένταση στα άκρα του λαμπτήρα καθώς μειώνουμε σταδιακά την τάση ελέγχου για να επιτύχουμε το dimming. Το ρεύμα ξεκινάει από υψηλή τιμή (456 mA) και μειώνεται σταδιακά εωσότου σχεδόν να μηδενιστεί (18,5 mA), όπως είναι λογικό, ακολουθώντας και την φωτεινότητα του λαμπτήρα. Η τάση στα πρώτα βήματα είναι πιο χαμηλή για να αντισταθμίσει την ιδιαίτερα υψηλή ένταση. Δηλαδή ξεκινάει από 103,5 V. Σταδιακά αυξάνεται καθώς μειώνεται το ρεύμα και τελικά σταθεροποιείται γύρω από τα 209 V (στα τελευταία βήματα που το ρεύμα είναι πολύ μικρό).



**Εικόνα 8.13 :** Μεταβολή της τάσης και του ρεύματος λαμπτήρα συναρτήσει του βήματος τάσης. 2<sup>ο</sup> σύστημα.

Στην εικόνα 8.14 φαίνεται πώς μεταβάλλεται η ισχύς του συστήματος και η ισχύς του λαμπτήρα μπάλλαστ στα 10 διαδοχικά βήματα ελέγχου τάσης. Παρατηρείται ότι μεταβάλλονται ανάλογα και η διαφορά των δύο καμπυλών μας δίνει την ισχύ του μπάλλαστ. Επίσης το διάγραμμα δείχνει ότι η ισχύς του λαμπτήρα ξεκινά από τη τιμή 47,196W (μικρότερη από την ονομαστική ισχύ 54W) και σταδιακά μειώνεται σε 3,86W. Ομοίως η ισχύς συστήματος μειώνεται από 55,6 σε 10,3 W. Η ισχύς του μπάλλαστ όπως φαίνεται στην εικόνα 8.14 αλλά και στον Πίνακα 11 μένει σχεδόν σταθερή. Πιο συγκεκριμένα, για βήμα 10V είναι 8,4 W και για βήμα 0V είναι 6,4 W, λίγο μικρότερη.



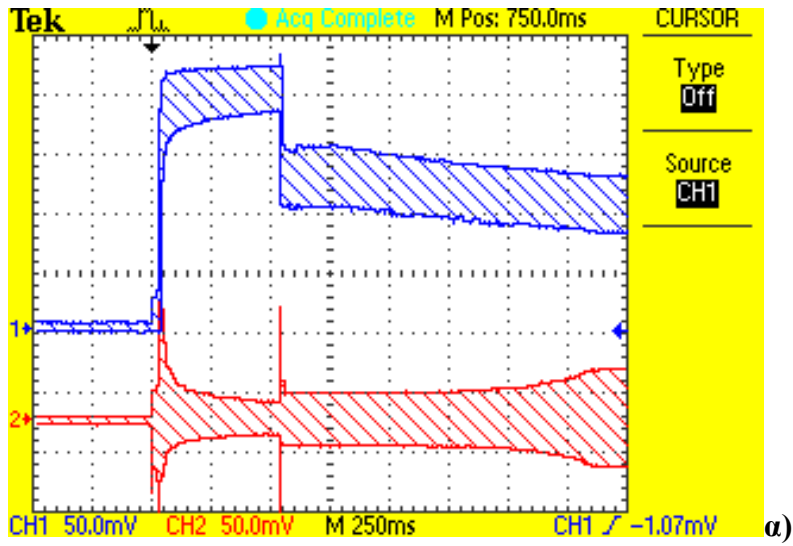


**Εικόνα 8.14 :** Μεταβολή της ισχύος συστήματος και της ισχύος λαμπτήρα συναρτήσει του βήματος τάσης. 2<sup>ο</sup> σύστημα.

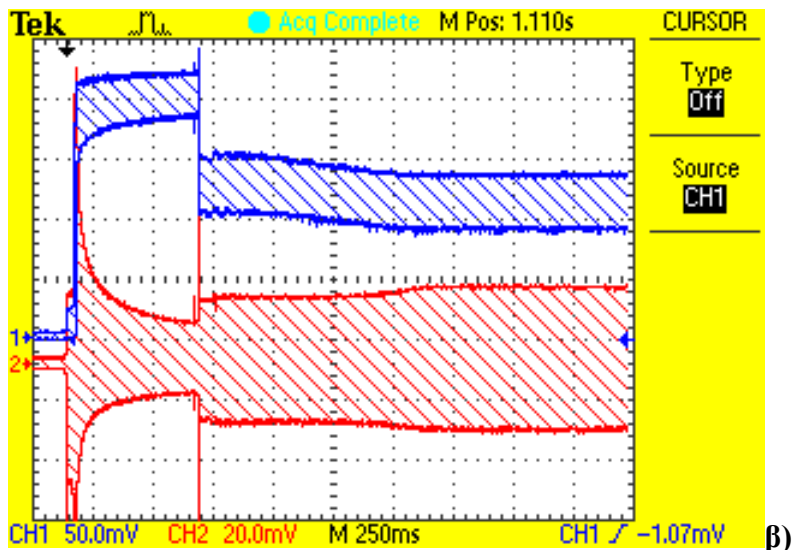
### 8.5 ΣΥΣΤΗΜΑ TRIDONIC-GE, 1x28W (3ο σύστημα)

Το τρίτο σύστημα το οποίο χρησιμοποιήθηκε είναι το σύστημα μπάλλαστ TRIDONIC ATCO PCA 1/28 T5 ECO Ip και λαμπτήρα General electric starcoat T5 F28W/840.

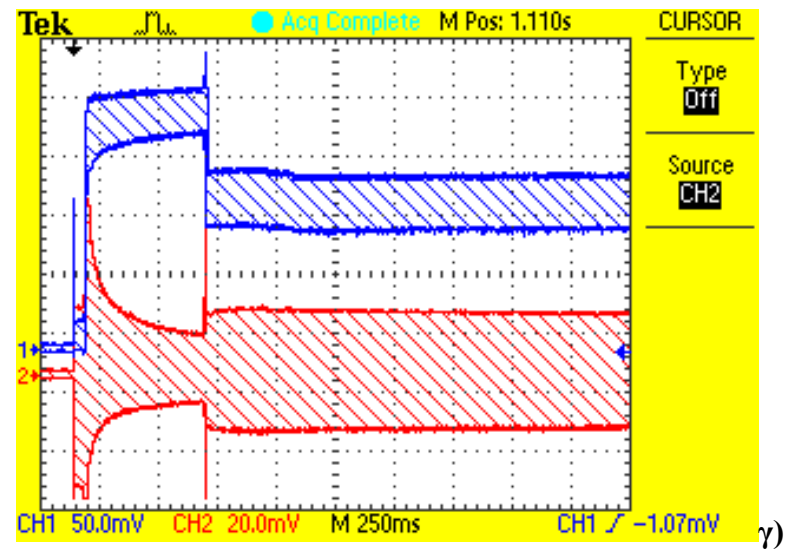
Τα παλμογραφήματα α), β) και γ) της εικόνας 8.15 ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της Μέτρησης 3. Σε αυτά εικονίζονται η τάση (με μπλε χρώμα / άνω ίχνος) και το ρεύμα (με κόκκινο / κάτω ίχνος) στα άκρα των ηλεκτροδίων για 3 βήματα τάσης.



a)



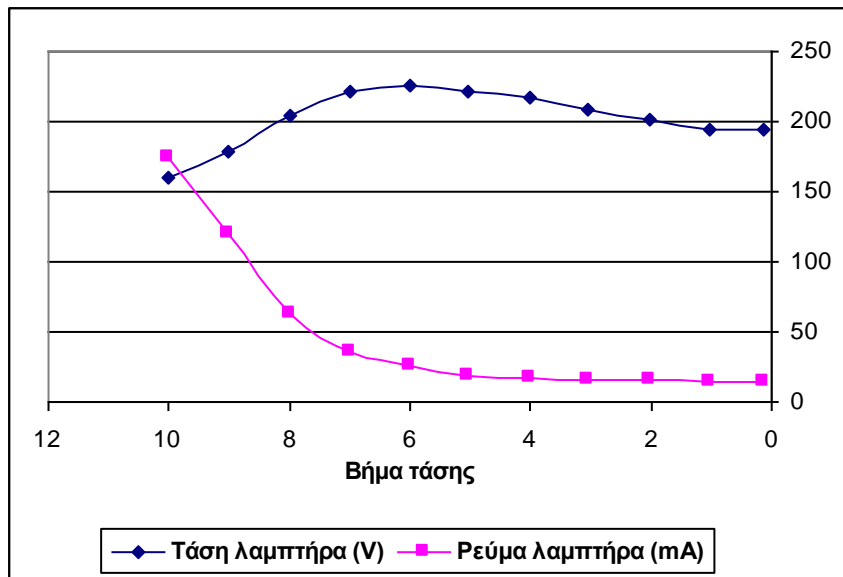
b)



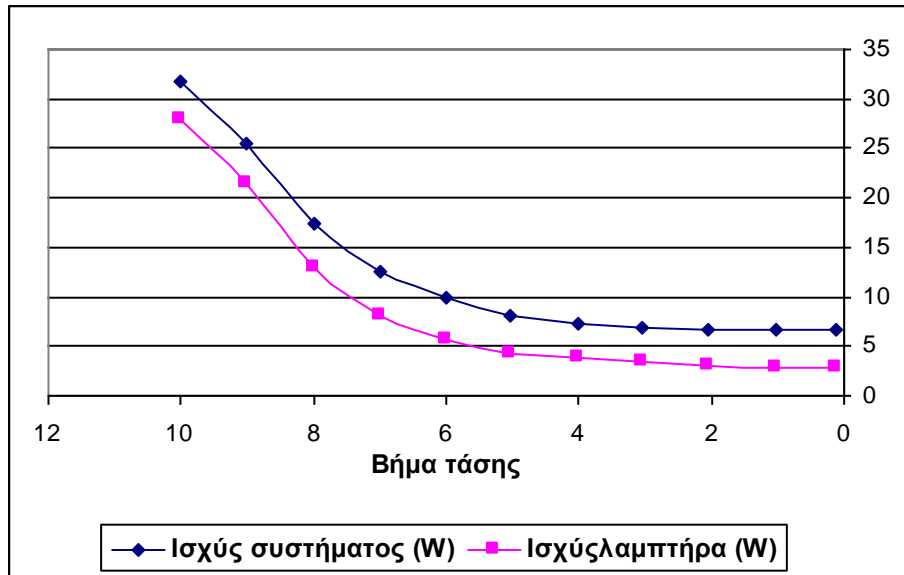
c)

**Εικόνα 8.15 :** Μεταβολή τάσης (άνω ίχνος) και ρεύματος (κάτω ίχνος)  
 α) για βήμα τάσης 8V, β) για βήμα τάσης 6V, γ) για βήμα τάσης 3V.

Στην εικόνα 8.16 φαίνεται πώς μεταβάλλεται η τάση και η ένταση στα άκρα του λαμπτήρα καθώς μειώνουμε σταδιακά την τάση ελέγχου για να επιτύχουμε το dimming. Το ρεύμα ξεκινάει από υψηλή τιμή (174,6 mA) και μειώνεται σταδιακά εωσότου σχεδόν να μηδενιστεί (14,96 mA), όπως είναι λογικό, ακολουθώντας και την φωτεινότητα του λαμπτήρα. Η τάση στα πρώτα βήματα είναι πιο χαμηλή για να αντισταθμίσει την ιδιαίτερα υψηλή ένταση. Δηλαδή ξεκινάει από 159,5 V. Σταδιακά αυξάνεται καθώς μειώνεται το ρεύμα και τελικά σταθεροποιείται γύρω από τα 195 V (στα τελευταία βήματα που το ρεύμα είναι πολύ μικρό).



**Εικόνα 8.16 :** Μεταβολή της τάσης και του ρεύματος λαμπτήρα συναρτήσει του βήματος τάσης. 3<sup>ο</sup> σύστημα.



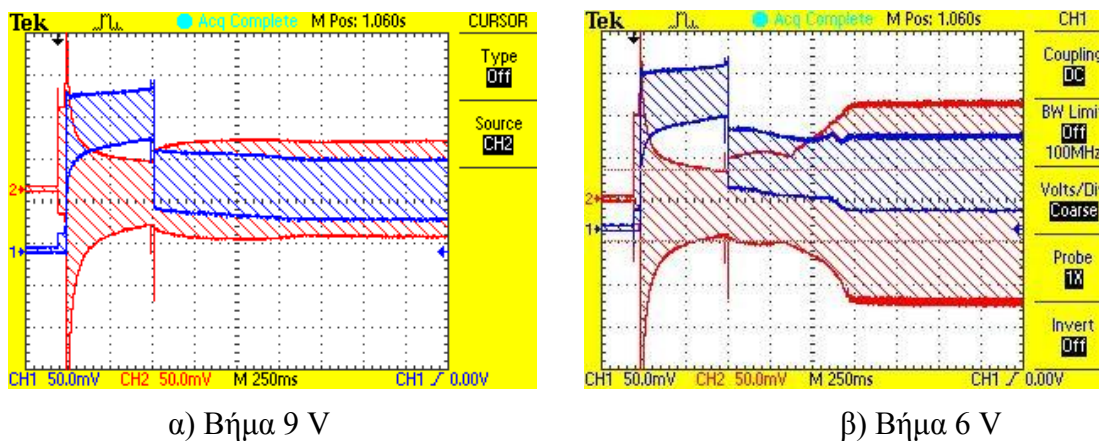
**Εικόνα 8.17 :** Μεταβολή της ισχύος συστήματος και της ισχύος λαμπτήρα συναρτήσει του βήματος τάσης. 3<sup>ο</sup> σύστημα.

Στην εικόνα 8.17 φαίνεται πώς μεταβάλλεται η ισχύς του συστήματος και η ισχύς του λαμπτήρα μπάλλαστ στα 10 διαδοχικά βήματα ελέγχου τάσης. Παρατηρείται ότι μεταβάλλονται ανάλογα και η διαφορά των δύο καμπυλών μας δίνει την ισχύ του μπάλλαστ. Επίσης το διάγραμμα δείχνει ότι η ισχύς του λαμπτήρα ξεκινά από τη τιμή 27,85W ( μικρότερη από την ονομαστική ισχύ 28W) και σταδιακά μειώνεται σε 2,9W. Ομοίως η ισχύς συστήματος μειώνεται από 31,7 σε 6,6 W. Η ισχύς του μπάλλαστ, όπως φαίνεται στην εικόνα 8.17 αλλά και στον Πίνακα 12, μένει σχεδόν σταθερή. Πιο συγκεκριμένα, για βήμα 10V είναι 3,85 W και για βήμα 0V είναι 3,68 W, λίγο μικρότερη.

## 8.6 ΣΥΣΤΗΜΑ TRIDONIC-PHILIPS, 1x18W (4ο σύστημα)

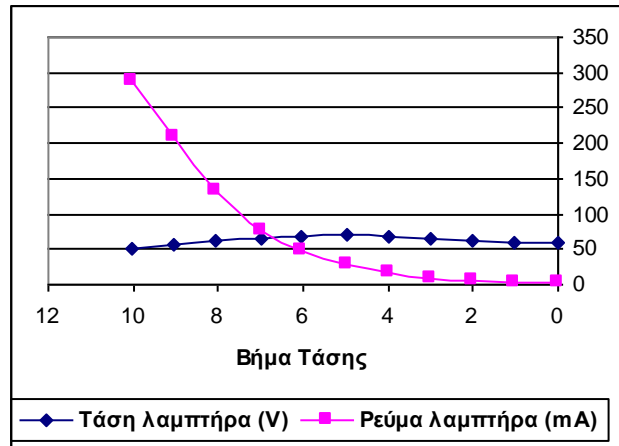
Το τέταρτο σύστημα που χρησιμοποιήθηκε είναι το σύστημα μπάλλαστ TRIDONIC PCA 1/18 ECO και λαμπτήρα Phillips TL-D 18W/54-765. Μεταβάλλοντας την τάση, όσο ήταν εφικτό, κατά 1V από τα 10V έως 0V ελήφθησαν οι μετρήσεις του Πίνακα 13.

Τα παλμογραφήματα α), β) και γ) της εικόνας 8.18 ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της Μέτρησης 4. Σε αυτά εικονίζονται η τάση (με μπλε χρώμα) και το ρεύμα (με κόκκινο) στα άκρα των ηλεκτροδίων για 2 βήματα τάσης.



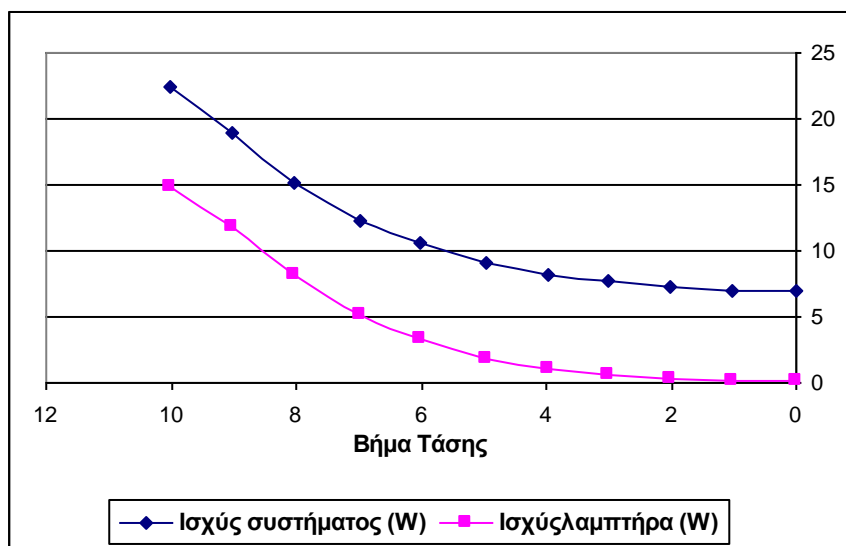
**Εικόνα 8.18 :** Μεταβολή τάσης (μπλε χρώμα) και ρεύματος (κόκκινο χρώμα) α) για βήμα τάσης 9V, β) για βήμα τάσης 6V.

Στην εικόνα 8.19 φαίνεται πώς μεταβάλλεται η τάση και η ένταση στα άκρα του λαμπτήρα καθώς μειώνουμε σταδιακά την τάση ελέγχου για να επιτύχουμε το dimming. Το ρεύμα ξεκινάει από υψηλή τιμή (288 mA) και μειώνεται σταδιακά εωσότου σχεδόν να μηδενιστεί (3,4 mA), όπως είναι λογικό, ακολουθώντας και την φωτεινότητα του λαμπτήρα. Η τάση στα πρώτα βήματα είναι πιο χαμηλή για να αντισταθμίσει την ιδιαίτερα υψηλή ένταση. Δηλαδή ξεκινάει από 51,5 V. Σταδιακά αυξάνεται καθώς μειώνεται το ρεύμα και τελικά σταθεροποιείται γύρω από τα 60 V (στα τελευταία βήματα που το ρεύμα είναι πολύ μικρό). Η μεταβολή της τάσης είναι μικρότερη σε σχέση με τις άλλες μετρήσεις.



**Εικόνα 8.19 :** Μεταβολή της τάσης και του ρεύματος λαμπτήρα συναρτήσει του βήματος τάσης. 4<sup>ο</sup> σύστημα.

Στην εικόνα 8.20 φαίνεται πώς μεταβάλλεται η ισχύς του συστήματος και η ισχύς του λαμπτήρα μπάλλαστ στα 10 διαδοχικά βήματα ελέγχου τάσης. Παρατηρείται ότι μεταβάλλονται ανάλογα και η διαφορά των δύο καμπυλών μας δίνει την ισχύ του μπάλλαστ. Επίσης το διάγραμμα δείχνει ότι η ισχύς του λαμπτήρα ξεκινά από τη τιμή 27,85W ( μικρότερη από την ονομαστική ισχύ 28W) και σταδιακά μειώνεται σε 2,9W. Ομοίως η ισχύς συστήματος μειώνεται από 31,7 σε 6,6 W. Η ισχύς του μπάλλαστ όπως φαίνεται στην εικόνα 8.20 αλλά και στον Πίνακα 13 μένει σχεδόν σταθερή. Το συγκεκριμένο μπάλλαστ είναι αρκετά ασύμφορο στο συγκεκριμένο σύστημα καθώς απαιτεί περίπου 7W για να λειτουργήσει. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων όμως είχε συνδεθεί σε σύστημα χαμηλής ισχύος.

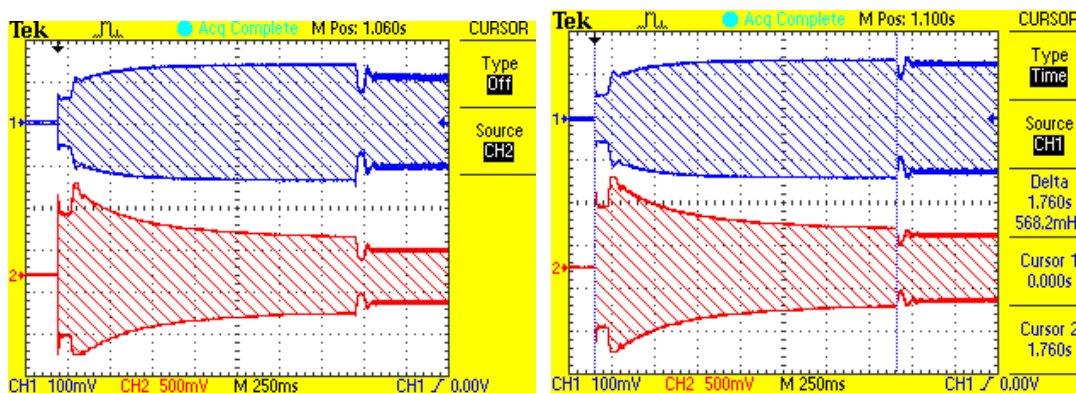


**Εικόνα 8.20 :** Μεταβολή της ισχύος συστήματος και της ισχύος λαμπτήρα συναρτήσει του βήματος τάσης. 4<sup>ο</sup> σύστημα

### 8.7 ΣΥΣΤΗΜΑ PHILIPS -PHILIPS, 2x54W (5ο σύστημα)

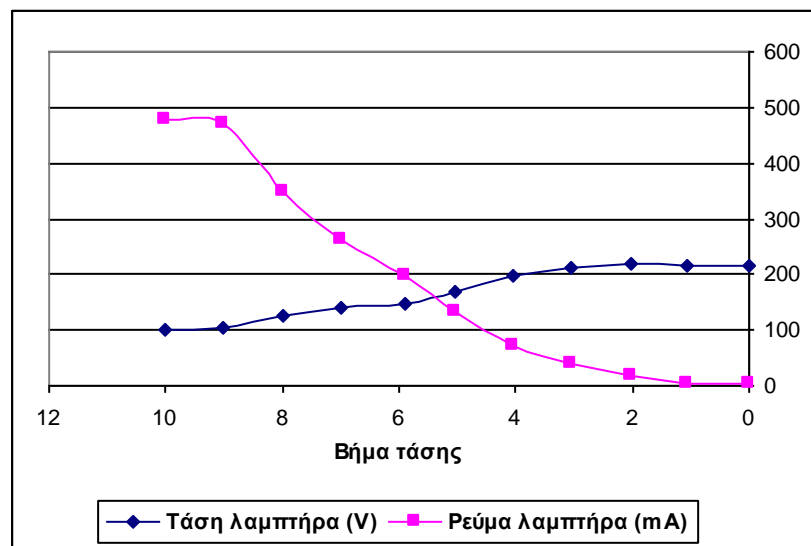
Τέλος, χρησιμοποιήθηκε το πέμπτο σύστημα Philips HF Regulator electronic μπάλλαστ και λαμπτήρες 254 TL5 220-240. Μεταβάλλοντας την τάση, όσο ήταν εφικτό, κατά 1V από τα 10V έως 0V ελήφθησαν οι μετρήσεις του Πίνακα 14.

Τα παλμογραφήματα της εικόνας 8.21 ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της Μέτρησης 5. Σε αυτά εικονίζονται η τάση (άνω ίχνος) και το ρεύμα (κάτω ίχνος) στα άκρα των ηλεκτροδίων για 2 βήματα τάσης.



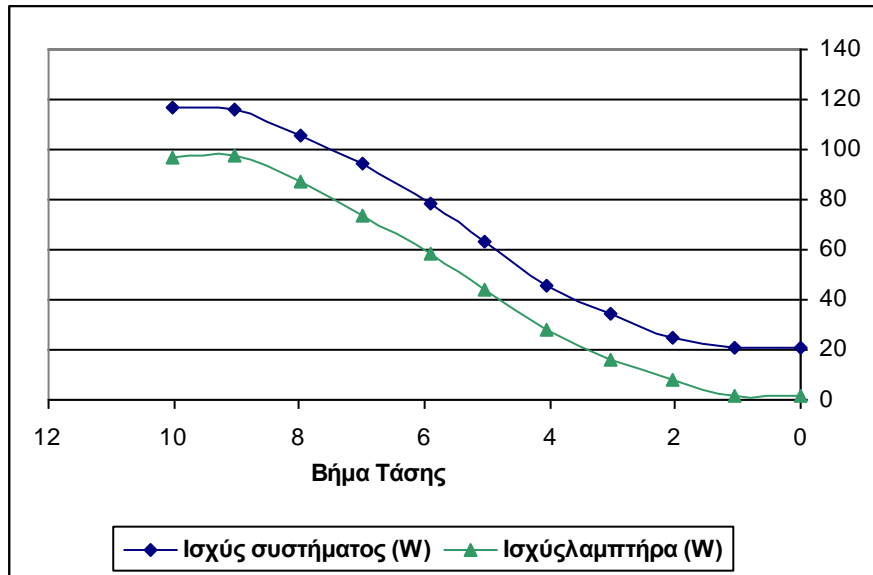
**Εικόνα 8.21 :** Μεταβολή τάσης (άνω ίχνος) και ρεύματος (κάτω ίχνος)

Στην εικόνα 8.22 φαίνεται πώς μεταβάλλεται η τάση και η ένταση στα άκρα του λαμπτήρα καθώς μειώνουμε σταδιακά την τάση ελέγχου για να επιτύχουμε το dimming. Το ρεύμα ξεκινάει από υψηλή τιμή (478 mA) και μειώνεται σταδιακά εωσότου σχεδόν να μηδενιστεί (3,2 mA), όπως είναι λογικό, ακολουθώντας και την φωτεινότητα του λαμπτήρα. Η τάση στα πρώτα βήματα είναι πιο χαμηλή για να αντισταθμίσει την ιδιαίτερα υψηλή ένταση. Δηλαδή ξεκινάει από 101 V. Σταδιακά αυξάνεται καθώς μειώνεται το ρεύμα και τελικά σταθεροποιείται γύρω από τα 217 V (στα τελευταία βήματα που το ρεύμα είναι πολύ μικρό).



**Εικόνα 8.22 :** Μεταβολή της τάσης και του ρεύματος λαμπτήρα συναρτήσει του βήματος τάσης. 5<sup>ο</sup> σύστημα.





**Εικόνα 8.23 :** Μεταβολή της ισχύος συστήματος και της ισχύος λαμπτήρα συναρτήσει του βήματος τάσης. 5<sup>ο</sup> σύστημα.

Στην εικόνα 8.23 φαίνεται πώς μεταβάλλεται η ισχύς του συστήματος και η ισχύς του λαμπτήρα μπάλλαστ στα 10 διαδοχικά βήματα ελέγχου τάσης. Παρατηρείται ότι μεταβάλλονται ανάλογα και η διαφορά των δύο καμπυλών μας δίνει την ισχύ του μπάλλαστ. Επίσης το διάγραμμα δείχνει ότι η ισχύς του λαμπτήρα ξεκινά από τη τιμή 97W και σταδιακά μειώνεται σε 1,82W. Ομοίως η ισχύς συστήματος μειώνεται από 116,9 σε 20,8 W. Η ισχύς του μπάλλαστ όπως φαίνεται στο διάγραμμα, αλλά και στον Πίνακα 14, μένει σχεδόν σταθερή. Πιο συγκεκριμένα, για βήμα 10V είναι 19,86 W και για βήμα 0V είναι 18,98 W, λίγο μικρότερη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτή την ενότητα θα συγκεντρωθούν τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα παραπάνω πειραματικά δεδομένα για τα πέντε διαφορετικά συστήματα λαμπτήρα-μπάλλαστ. Σε γενικές γραμμές οι μεταβολές των μεγεθών που μελετήθηκαν σε σχέση με το βήμα τάσης παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά.

Θέλοντας να συγκρίνουμε τις μετρήσεις με τις πραγματικές ιδιότητες του μπάλλαστ ανατρέξαμε στην ιστοσελίδα της TRIDONIC ATCO. Τα μπάλλαστ TRIDONIC ATCO σύμφωνα με το κατασκευαστή έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Θερμή έναυση σε χρόνο το πολύ 1,5 sec
- Μέσο χρόνο ζωής 50000h και ρυθμό αποτυχίας μικρότερο του 0,2% ανά 1000h
- Συχνότητα λειτουργίας μεγαλύτερη από 42 kHz

Όπως προκύπτει και από τις μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκε μπάλλαστ TRIDONIC ATCO η συχνότητα λειτουργίας  $f$  ήταν μεγαλύτερη από 42 kHz.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το πειραματικό μέρος περιγράφονται ως εξής:

- Με τη μείωση του βήματος τάσης το ρεύμα του λαμπτήρα μειώνεται όπως είναι φυσικό. Η μείωση του ρεύματος προκαλεί και τη μείωση της φωτεινότητας του λαμπτήρα. Όπως αναφέρθηκε στο θεωρητικό μέρος για τάση ελέγχου 10V το ρεύμα και η φωτεινότητα είναι 100% της ονομαστικής τιμής. Για τάση ελέγχου 0V το ρεύμα και η φωτεινότητα λαμβάνουν την ελάχιστη τιμή τους, η οποία εξαρτάται από το κύκλωμα ελέγχου που χρησιμοποιείται.
- Η τάση του λαμπτήρα αντίθετα αυξάνεται καθώς μειώνεται το βήμα τάσης. Αυτή η αντίστροφη μεταβολή της τάσης και του ρεύματος επιβεβαιώνει και τη θεωρία που αναφέρει ότι ο λαμπτήρας φθορισμού συμπεριφέρεται σαν αρνητική αντίσταση.

- Η τάση συστήματος παραμένει σταθερή, κοντά στα 230V. Η τάση συστήματος εξαρτάται μόνο από το δίκτυο τροφοδοσίας (δίκτυο ΔΕΗ). Το ρεύμα συστήματος από την άλλη μειώνεται ακολουθώντας το ρεύμα του λαμπτήρα.
- Το ρεύμα έναυσης δε παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές και στις 5 μετρήσεις, ενώ η τάση έναυσης παραμένει σχεδόν σταθερή. Επίσης οι χρόνοι έναυσης για τα μπάλλαστ TRIDONIC ATCO κυμαίνονται ανάμεσα σε 550-560 ms και για το Philips HF Regulator electronic μπάλλαστ ανάμεσα σε 1750 και 1770 ms. Αποδεικνύεται ότι οι χρόνοι έναυσης για κάθε μπάλλαστ δεν επηρεάζονται από τη μείωση του βήματος τάσης. Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα χαρακτηριστικά της έναυσης είναι σχεδόν ανεξάρτητα από το dimming.
- Η συχνότητα όπως ήταν αναμενόμενο αυξάνεται με τη μείωση του βήματος τάσης. Άλλωστε η αύξηση της συχνότητας λειτουργίας του μπάλλαστ προκαλεί την μείωση του ρεύματος λαμπτήρα που είναι το ζητούμενο. Οι συχνότητες που παρατηρήθηκαν είναι στο εύρος 42-103 kHz.
- Η αντίσταση  $R_h$  μένει σχεδόν σταθερή με τη μείωση του βήματος τάσης. Αυτό είναι λογικό αφού υπολογίστηκε ως το πηλίκο της τάσης έναυσης προς το ρεύμα έναυσης που είναι σχεδόν σταθερά όπως αναφέρθηκε παραπάνω.
- Οι θερμοκρασίες  $T_h$  που παρατηρήθηκαν στις 5 μετρήσεις βρίσκονται στο εύρος 990-1316 K. Δηλαδή 717-1043°C. Για σωστή λειτουργία των ηλεκτροδίων, η θερμοκρασία τους πρέπει να είναι μεταξύ 700-1000°C. Με τη μείωση του ρεύματος λόγω dimming η θερμοκρασία των ηλεκτροδίων θα μειωνόταν αρκετά. Επειδή όμως αυξάνεται η τάση ηλεκτροδίων η θερμοκρασία παραμένει σε ικανοποιητικά επίπεδα.
- Η ισχύς του λαμπτήρα και η ισχύς συστήματος μειώνονται με τη μείωση του βήματος τάσης. Μαζί με την ισχύ φυσικά μειώνεται και η φωτεινότητα του λαμπτήρα. Οι καμπύλες των ισχύων λαμπτήρα και συστήματος ακολουθούν την ίδια μορφή όπως διαπιστώθηκε στα σχήματα που προκύπτουν από τις μετρήσεις. Με το dimming επιτυγχάνεται μεγάλη μείωση της ισχύος συστήματος λαμπτήρα-

μπάλλαστ και φυσικά εξοικονόμηση ενέργειας που είναι κύριος στόχος. Η μείωση της ισχύος συστήματος φτάνει μέχρι και 85% για τη 1<sup>η</sup> μέτρηση (σύγκριση της ισχύος όταν βήμα τάσης = 10V και όταν βήμα τάσης = 0V). Τέλος παρατηρείται ότι η ισχύς του μπάλλαστ παραμένει σχεδόν σταθερή με τη μείωση του βήματος τάσης.

Συνοψίζοντας, οι μετρήσεις που έγιναν στα 5 συστήματα μπάλλαστ-λαμπτήρα επιβεβαιώνουν στο σύνολό τους τη θεωρία σχετικά με τη ρύθμιση φωτεινότητας των λαμπτήρων φθορισμού. Μειώνοντας το βήμα τάσης και συνεπώς το ρεύμα του λαμπτήρα και τη φωτεινότητα, παρατηρείται ότι τα χαρακτηριστικά της έναυσης (ρεύμα και χρόνος έναυσης) δε μεταβάλλονται ουσιαστικά. Συνέπεια του γεγονότος αυτού είναι και η σταθερή αντίσταση  $R_h$  καθώς προκύπτει ως το πηλίκο της τάσης έναυσης προς το ρεύμα έναυσης. Αντιθέτως, η τάση του λαμπτήρα αυξάνεται όσο το βήμα τάσης μειώνεται επιβεβαιώνοντας τη θεωρία ότι ο λαμπτήρας φθορισμού δρα σαν αρνητική αντίσταση. Προφανώς η τάση του συστήματος δεν μεταβάλλεται καθώς ταυτίζεται με την τάση του δικτύου της ΔΕΗ. Αναμενόμενη ήταν επίσης η αύξηση της συχνότητας με τη μείωση του βήματος τάσης. Η αύξηση αυτή προκαλεί την μείωση του ρεύματος λαμπτήρα που είναι το ζητούμενο. Επιπλέον, με το dimming παρατηρήθηκε μείωση της ισχύος του κάθε συστήματος, γεγονός που οδηγεί στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Τέλος, ένα βασικό συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι οι θερμοκρασίες που παρατηρήθηκαν στα ηλεκτρόδια βρίσκονται στο εύρος 717-1.043°C, δηλαδή σχεδόν ταυτίζονται με τα επιτρεπτά όρια 700-1.000°C όπως αναφέρθηκαν στη θεωρία για τη σωστή λειτουργία των ηλεκτροδίων. Βιβλιογραφικά στα πρώτα μπάλλαστ, είχε αναφερθεί ως μειονέκτημα της έναυσης με συνθήκες dimming η αύξηση της θερμοκρασίας των ηλεκτροδίων. Για να γίνει το άναμμα, τα ηλεκτρόδια συνέχιζαν να λειτουργούν με υψηλή θερμοκρασία για αρκετό χρόνο με συνέπεια να γίνεται μεγάλη εξάτμιση της επικάλυψής τους, άρα μείωση της διάρκειας ζωής του λαμπτήρα. Στα σύγχρονα μπάλλαστ τα οποία υποβάλλαμε σε μετρήσεις, παρατηρήσαμε ότι δεν εμφάνισαν αύξηση της θερμοκρασίας των ηλεκτροδίων. Χάρη σε ένα επιπλέον ρεύμα που εφαρμόζουν στα άκρα των ηλεκτροδίων επιτυγχάνεται η εξισορρόπηση τάσης και ρεύματος στα ηλεκτρόδια ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία τους σε επιτρεπτά όρια.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [2] J. F. Waymouth, “Electric Discharge Lamps”, Cambridge, MA. MIT Press, 1971
- [3] [www.irc.rpi.edu/nlrip](http://www.irc.rpi.edu/nlrip)
- [4] Philips, “Application Guide to fluorescent Lamp Control Gear”, 2004.
- [5] Power Management DesignLine, “How to design a dimming fluorescent electronic ballast”, 29 January 2006 by Tom Ribarich, director, Lighting Design Center, International Rectifier
- [6] National Lighting Product Information Program, “Electronic ballasts”, Specifier Reports, Volume 8, Number 1, May 2000.
- [7] “Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σε εγκαταστάσεις φωτισμού εσωτερικών χώρων”, Τοπαλής Φραγκίσκος
- [8] [www.greenlight.org](http://www.greenlight.org)
- [9] T. F. Soules, J. H. Ingold, A. K. Bhattacharya, R. H. Springer, “Thermal Model of the Fluorescent Lamp Electrode”, Journal of the illuminating Engineering Society, pp. 81-92, Summer 1989
- [10] “Electrodes for gas discharge lamps”, U. Tsittka, P. Postma, W. Schlager
- [11] National Lighting Product Information Program, “Guide to specifying High Frequency Electronic Ballasts”
- [12] National Lighting Product Information Program, “Dimming Electronic Ballasts”, Specifier Reports, Volume 7, Number 3, October 1999.
- [13] IESNA “Guide to Lamp Seasoning”, LM-54-99 IESNA 1999
- [14] E. Tetri, “Effect of Cathode Heating on Lamp Life in Dimming Use” , IEEE 2001
- [15] IESNA “Approved Method for the Electrical and Photometric Measurements of Fluorescent Lamps and ballasts in Luminaires”, LM-62-1991 IESNA 1991
- [16] “Ειδικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις” , Δημητρόπουλος Β. , Κουτουλάκος Χ. , Βαρβατσουλάκης Μ. , Γεωργάκης Θ.