



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων

Μια Σύγκριση Φωτιστικών Σωμάτων Μαγνητικής Επαγωγής Με Φωτιστικά Σώματα LED Σε Εφαρμογές Στον Οδοφωτισμό

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αλαφογιάννης Δημοσθένης

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Μια Σύγκριση Φωτιστικών Σωμάτων Μαγνητικής Επαγωγής Με Φωτιστικά Σώματα LED Σε Εφαρμογές Στον Οδοφωτισμό

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αλαφογιάννης Δημοσθένης

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

(Υπογραφή)

.....

Κ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....

Ν.Ι. Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....

Α.Δ. Πολυκράτη
Ε.ΔΙ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2014

(Υπογραφή)

.....

ΑΛΑΦΟΓΙΑΝΝΗΣ ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ

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

Copyright© Αλαφογιάννης Δημοσθένης, 2014

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.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία, αφιερώνεται στην οικογένεια μου και τους φίλους μου, για την αγάπη τους και την στήριξη που μου προσφέρουν σε κάθε μου προσπάθεια, στα δύσκολα και στα εύκολα, στις λύπες και στις χαρές.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Κωνσταντίνο Καραγιαννόπουλο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου, όταν μου ανέθεσε την διπλωματική αυτή εργασία, έχοντας ως μόνη διαπίστευση την όρεξη και το αυξανόμενο ενδιαφέρον μου για το αντικείμενο του φωτισμού και των νέων τεχνολογιών. Επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την συμπαράσταση και τις υποδείξεις του, καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Ιδιαίτερα, επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Αικατερίνη Πολυκράτη για το θάρρος που μου έδωσε και για την πολύτιμη βοήθειά της καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια δεδομένου ότι το κόστος της ενέργειας αυξάνεται, οι επιστήμονες αναζητούν τρόπους για να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας. Έτσι, ένα μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας ασχολείται με την εξεύρεση βελτιώσεων στην τεχνολογία φωτισμού, ούτως ώστε τα φωτιστικά συστήματα να καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια, με μειωμένο κόστος, εξακολουθώντας, παράλληλα, να ανταποκρίνονται στις μεγάλες απαιτήσεις, στις οποίες καλούνται να ανταπεξέλθουν. Οι δύο διεκδικητές για την ενεργειακή απόδοση, το μειωμένο κόστος και παράλληλα τις άριστες αποδόσεις στον φωτισμό, σήμερα, είναι οι Λαμπτήρες Μαγνητική Επαγωγή και οι Δίοδοι Εκπομπής Φωτός (LED). Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η σύγκριση των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής με τα φωτιστικά συστήματα LED στον φωτισμό οδών.

Αρχικά γίνεται μια ιστορική αναδρομή και αναφορά στις αρχές λειτουργίας των δυο αυτών φωτιστικών συστημάτων. Ύστερα, γίνεται περιληπτική αναφορά στον ηλεκτροφωτισμό οδών, στα σημεία εφαρμογής του, στην βασική ορολογία των φωτομετρικών στοιχείων και στις απαιτήσεις σε φωτομετρικά χαρακτηριστικά.

Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται μελέτη της βιβλιογραφίας, κάνοντας περιληπτική αναφορά σε όλες τις τελευταίες δημοσιεύσεις με θέμα τα δύο αυτά φωτιστικά συστήματα. Τέλος, γίνεται σύγκριση των δύο φωτιστικών συστημάτων, στις εφαρμογές τους για φωτισμό οδών, στους βασικότερους τομείς σύγκρισης.

Λέξεις Κλειδιά:

Λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, φωτιστικά συστήματα LED, λαμπτήρες δίχως ηλεκτρόδια, δίοδοι εκπομπής φωτός, ενεργειακή απόδοση, κόστος φωτισμού, σύγκριση φωτιστικών συστημάτων, οδικός φωτισμός

ABSTRACT

In recent years as the cost of energy increases, scientists are looking for ways to reduce energy consumption. Thus, a large part of the scientific community is concerned with finding improvements in lighting technology, so that the lighting systems consume less energy, have reduced costs, while continue meeting, at the same time, the high demands, which they need to keep. The two contenders for energy efficiency, reduced costs and also excellent yields in lighting today are the Magnetic Induction Lamps and the Light Emitting Diodes (LED). The purpose of this thesis is to compare the magnetic induction lamps with LED lighting systems in street lighting.

In the beginning, a throwback of these technologies is given with a reference to the principles of operation of these two lighting systems, following. Then, I made a brief reference to the lighting of streets, with points of applications, the basic terminology of photometric data and the requirements on photometric characteristics.

The next chapter is a brief reference to all the latest posts and papers on these two lighting systems. Finally, I compare the two lighting systems when applied in street lighting, in all key areas of comparison.

Keywords:

Magnetic induction lamps, LED, lighting systems, electrodeless lamps, light emitting diodes, energy efficiency, lighting costs, comparing lighting systems, street lights

Περιεχόμενα

1	
Εισαγωγή	12
1.1 Λαμπτήρες Μαγνητικής Επαγωγής.....	12
1.2 Δίοδοι Εκπομπής Φωτός (Light Emitting Diodes – LED).....	17
1.3 Ηλεκτροφωτισμός Οδών	23
2	
Βιβλιογραφική Έρευνα	29
3	
Σκοπός Της Εργασίας	111
4	
Σύγκριση Λαμπτήρων Μαγνητικής Επαγωγής Με Φωτιστικά Συστήματα LED	114
4.1 Χρόνος Ζωής.....	114
4.2 Κόστος Συντήρησης.....	118
4.3 Ενεργειακή Απόδοση.....	119
4.4 Δείκτης«S/P» (Scotopic/Photopic)	122
4.5 Απόδοση Μέσω Του Συντελεστή VEL (Visually Effective Lumens)	126
4.6 Φασματικές Κατανομές Εξόδου	129
4.7 Συντελεστής Ισχύος	132
4.8 Συντελεστής Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης Τάσης & Ρεύματος (THD).....	135
4.9 Εξάρτηση Λαμπτήρων Από Περιβαλλοντικές Συνθήκες	138
4.10 Κόστος	142
4.11 Συντελεστής Ποιότητας.....	154
4.12 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	157
4.13 Συμπεράσματα	163
5	
Βιβλιογραφία	166

1

Εισαγωγή

1.1 Λαμπτήρες Μαγνητικής Επαγωγής

1.1.1 Ιστορική Αναδρομή

Οι πρωπότερες των εκκενώσεων χωρίς την ύπαρξη εσωτερικών ηλεκτροδίων ήταν οι Johann Wilhelm Hittorf και J.J. Thompson στα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Ο Nikola Tesla ήταν όμως εκείνος που το 1891 παρουσίασε τον πρώτο λαμπτήρα δίχως ηλεκτρόδια στην Νέα Υόρκη, προς μεγάλη έκπληξη όλων. Στην επίδειξη του πρώτου λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής, ο Tesla χρησιμοποίησε ένα «Tesla coil» για την δημιουργία ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου πολύ υψηλής συχνότητας. Ο Tesla, μετά από αυτή την παρουσίαση, συνέχισε να ασχολείται με το αντικείμενο αυτό και μάλιστα προσπάθησε αργότερα να το βγάλει στην αγορά.

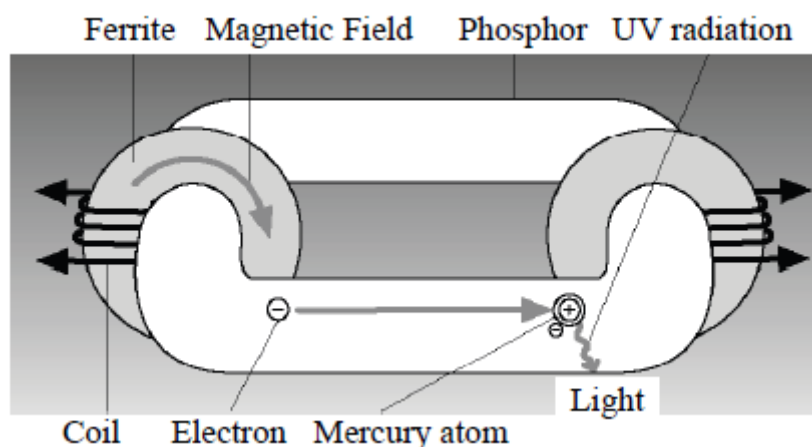
Ο Peter Cooper Hewitt το 1904 κατασκεύασε έναν λαμπτήρα δίχως ηλεκτρόδια με την χρήση αέριου υδραργύρου στο εσωτερικό τους. Έτσι κατασκεύασε σφαιρικούς λαμπτήρες εξωτερικής επαγωγής με τα πηνία γύρω από το εξωτερικό τους κέλυφος. Ο πρώτος αξιόλογος λαμπτήρας μαγνητικής επαγωγής δημιουργήθηκε το 1967 από την General Electric και τον μηχανικό της John Anderson.

Το 1990 οι λαμπτήρες «QL» από την Phillips και οι λαμπτήρες «Everlight» της εταιρίας Matsushita το έτος 1992 ήταν οι πρώτοι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής ευρείας εμπορικής χρήσης. Οι λαμπτήρες αυτοί λειτουργούσαν σε συχνότητα 2,65 MHz. Το 1993 εισήλθε στην αγορά ο λαμπτήρας μαγνητικής επαγωγής «E-Lamp» από την Intersource Technologies με συχνότητα λειτουργίας τα 13,6 MHz. Ύστερα από έναν χρόνο μπήκε στην αγορά ο λαμπτήρας μαγνητικής επαγωγής «Genura» της εταιρίας General Electric, με βάση τα σχέδια του Anderson, που λειτουργούσε σε συχνότητα 2,65 MHz και είχε ενσωματωμένο σύστημα τροφοδοσίας. Δύο χρόνια μετά, η εταιρία Osram εισήγαγε στην αγορά τον, πασίγνωστο πια, λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής «Endura» που λειτουργούσε στα 250 KHz. Το πρώτο, σύγχρονο, φωτιστικό σύστημα μαγνητικής επαγωγής με δυνατότητες

απομακρυσμένου ελέγχου και «dimming» μπήκε στην αγορά το 2005 από την εταιρία Amko Solara. Τέλος, ένα μεγάλο μερίδιο στον τομέα των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής, τα τελευταία οχτώ χρόνια, κατέχει η εταιρία Luxim.

1.1.2 Αρχές Λειτουργίας Λαμπτήρων Μαγνητικής Επαγωγής

Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής ή αλλιώς λαμπτήρες δίχως ηλεκτρόδια (Electrodeless Fluorescent Lamps - EFL), λειτουργούν περίπου σαν τους λαμπτήρες φθορισμού έχοντας διαφορά μόνο στο πως εισέρχεται η ενέργεια στον αέριο υδράργυρο του πλάσματος. Ο υδράργυρος σε αέρια μορφή, μέσα στο δοχείο εκκένωσης, παράγει υπεριώδη ακτινοβολία λόγω της ηλεκτρικής του διέγερσης. Για την διέγερση του αυτή, χρησιμοποιείται ένα ειδικό σύστημα τροφοδοσίας (ballast), το οποίο δίνει ρεύμα υπό υψηλή συχνότητα σε σπειροειδή καλώδια γύρω από τον φερρίτη. Έτσι, δημιουργείται ένα πηνίο που παράγει ισχυρό μαγνητικό πεδίο το οποίο περνά από το γυάλινο κέλυφος του σωλήνα ή της λυχνίας και διεγείρει τα άτομα υδραργύρου. Η υπεριώδης ακτινοβολία, που παράγεται από τον υδράργυρο, προσκρούει, τελικά, στα εσωτερικά τοιχώματα του δοχείου που περιέχουν τα στοιχεία φθορίου τα οποία διεγείρονται και παράγουν ακτινοβολία στο ορατό φάσμα. Παρακάτω φαίνεται μια εικόνα με την βασική αρχή λειτουργίας των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής, από την βιβλιογραφία [5].



Εικόνα **Error! No text of specified style in document..1.1**: Βασική Αρχή Λειτουργίας
Λαμπτήρα Μαγνητικής Επαγωγής [5]

Η τροφοδοσία (ballast) των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής, λειτουργεί παρόμοια με έναν μετασχηματιστή. Το πηνίο, που σχηματίζεται από τα σπειροειδή καλώδια

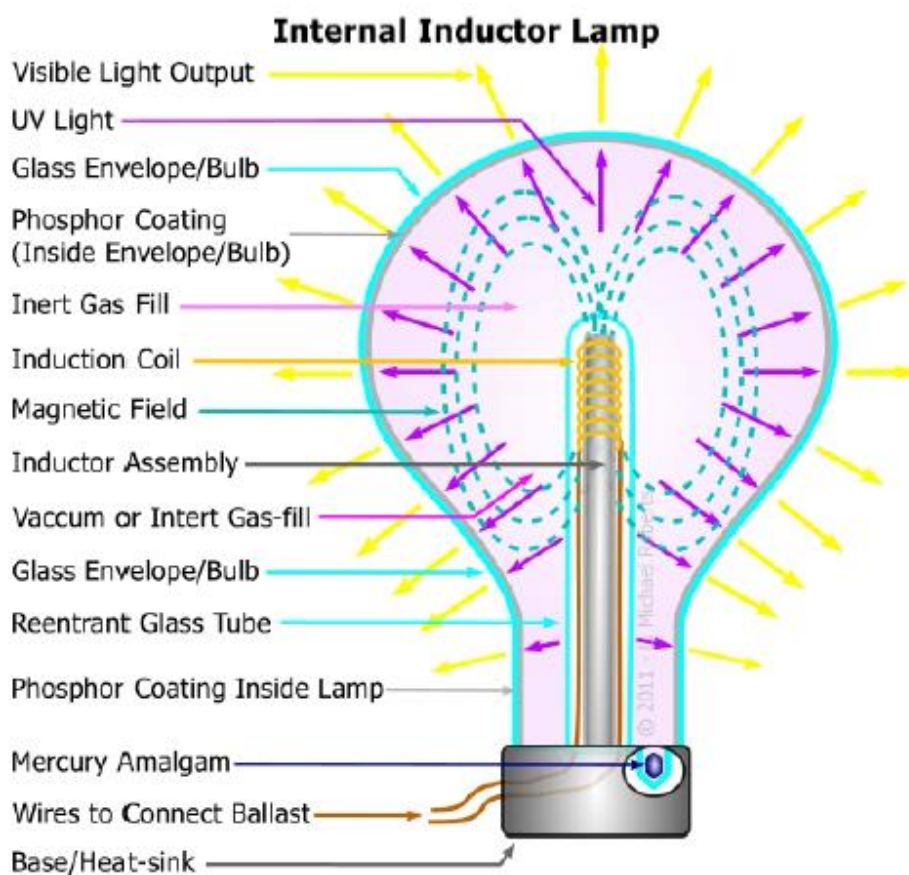
γύρω από τον φερρίτη, μπορεί να θεωρηθεί ως πρωτεύον και τα άτομα υδραργύρου, στο εσωτερικό του πλάσματος, ως δευτερεύον με σκοπό να δημιουργηθεί η εκκένωση και να διεγερθεί ο υδράργυρος. Στην παρακάτω εικόνα, από την βιβλιογραφία [57], φαίνεται ένας λαμπτήρας μαγνητικής επαγωγής ισχύος 150 W σε λειτουργία, με το σύστημα τροφοδοσίας του.



Εικόνα 1.1.2: Λαμπτήρας Μαγνητικής Επαγωγής 150 W [57]

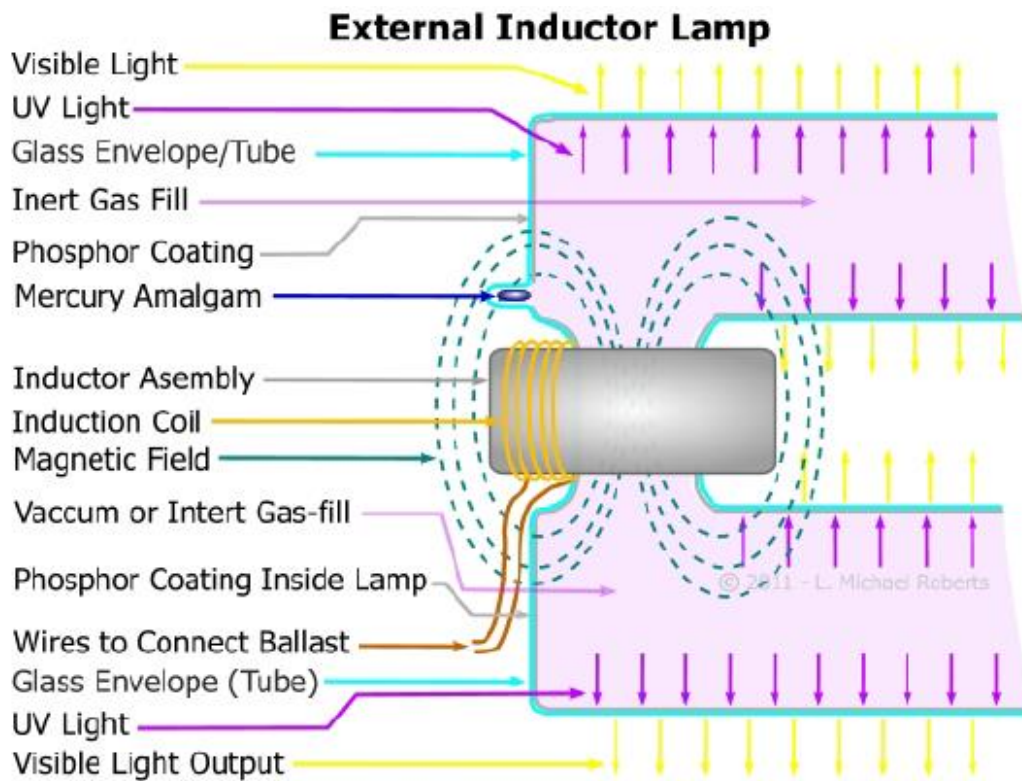
Υπάρχουν δύο βασικά είδη λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής. Το πρώτο είναι οι λαμπτήρες εσωτερικής μαγνητικής επαγωγής (internal inductor lamps). Οι λαμπτήρες εσωτερικής μαγνητικής επαγωγής είναι οι πρώτοι που κατασκευάστηκαν, είναι οι πιο εμπορικοί και χρησιμοποιούνται, κυρίως, για φωτισμό εσωτερικών χώρων. Το δεύτερο είδος είναι οι λαμπτήρες εξωτερικής μαγνητικής επαγωγής (external inductor lamps). Οι λαμπτήρες εξωτερικής μαγνητικής επαγωγής χρησιμοποιούνται σε πολύ περισσότερες εφαρμογές, κυρίως για τον φωτισμό εξωτερικών χώρων, διατίθενται σε διάφορα σχήματα και η ζήτηση τους αυξάνεται με το πέρας του χρόνου.

Οι λαμπτήρες εσωτερικής μαγνητικής επαγωγής εξωτερικά μοιάζουν αρκετά με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως. Έχουν το πλεονέκτημα του μικρότερου μεγέθους και τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται, όπως είπαμε, κυρίως σε εσωτερικούς χώρους. Η αεροστεγώς σφραγισμένη γυάλινη λυχνία, περιέχει μια εσωτερική κοιλότητα. Μέσα σ' αυτή την κοιλότητα υπάρχει μια ράβδος φερρίτη. Γύρω από τον φερρίτη είναι τυλιγμένο ένα καλώδιο σε σπείρες το οποίο τροφοδοτείται με ρεύμα σε υψηλή συχνότητα από το «ballast». Η συχνότητα του ρεύματος είναι τις περισσότερες φορές 250 KHz ή 13.6 MHz ή 2.65 MHz. Το ρεύμα αυτό παράγει, όπως αναφέραμε, μαγνητικό πεδίο, το οποίο διεγείρει τα άτομα του υδραργύρου, ο οποίος βρίσκεται σε αέρια μορφή στο εσωτερικό της λυχνίας. Για την εκκίνηση του λαμπτήρα ένα ειδικό ηλεκτρικό κύκλωμα, που ονομάζεται συντονιστής, μέσα στο κύκλωμα της τροφοδοσίας, δίνει υψηλή τάση στο πηνίο για να την δημιουργία εκκένωσης στο αέριο της λυχνίας. Ύστερα η τάση, στο πηνίο, μειώνεται στα κανονικά επίπεδα λειτουργίας. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το κατασκευαστικό διάγραμμα ενός λαμπτήρα εσωτερικής μαγνητικής επαγωγής, όπως δόθηκε στην βιβλιογραφία [48].



*Εικόνα Error! No text of specified style in document..1.3: Λαμπτήρας Εσωτερικής
Μαγνητικής Επαγωγής [48]*

Οι λαμπτήρες εξωτερικής μαγνητικής επαγωγής μοιάζουν αρκετά με τους λαμπτήρες φθορισμού. Η μόνη τους διαφορά είναι ότι σε ένα συγκεκριμένο σημείο του σωλήνα τους έχουν τυλιγμένους τους ηλεκτρομαγνήτες τους. Ο φερρίτης είναι προσαρμοσμένος περιμετρικά σε ένα σημείο του γυάλινου σωλήνα δημιουργώντας, ουσιαστικά, ένα πηνίο. Γύρω του είναι τυλιγμένο ένα καλώδιο σε σπείρες. Με τον τρόπο αυτό, το καλώδιο διοχετεύει με υψηλής συχνότητας ρεύμα τον σωλήνα, δημιουργώντας έτσι ισχυρό μαγνητικό πεδίο που, όπως είπαμε, διεγείρει τα άτομα υδραργύρου στο εσωτερικό του γυαλιού. Τα διεγερμένα, αυτά, άτομα του υδραργύρου εκπέμπουν υπεριώδη ακτινοβολία που, όπως αναφέρθηκε, μετατρέπεται σε ορατό φως κατά την πρόσκρουσή του στα στοιχεία φθορισμού τα οποία είναι τοποθετημένα στο εσωτερικό τοίχιο του γυάλινου σωλήνα. Αξίζει να σημειωθεί πως ο γυάλινος σωλήνας, εμποδίζει τη μετάδοση της υπεριώδους ακτινοβολίας καθώς η ακτινοβολία στο φάσμα από 253,7 nm έως και τα 185 nm δεν διαπερνά, καθόλου, το γυαλί. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το κατασκευαστικό διάγραμμα ενός λαμπτήρα εξωτερικής μαγνητικής επαγωγής, όπως αυτό δόθηκε στην βιβλιογραφία [48].



Εικόνα *Error! No text of specified style in document.*..1.4: Λαμπτήρας Εξωτερικής μαγνητικής επαγωγής [48]

1.2 Δίοδοι Εκπομπής Φωτός (Light Emitting Diodes – LED)

1.2.1 Ιστορική Αναδρομή

Ο Βρετανός H.J. Round, το 1901, με την ανακάλυψη του φαινομένου της ηλεκτροφωταύγειας, ουσιαστικά, εφεύραν την τεχνολογία των διόδων εκπομπής φωτός. Οι Robert Biard και Gary Pittman της εταιρίας Texas Instruments, στις αρχές της δεκαετίας του εξήντα, ανακάλυψαν πως οι ημιαγωγοί αρσενιούχου γαλλίου, όταν διεγείρονται από ηλεκτρικό ρεύμα εκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία. Λίγο καιρό αργότερα, η εταιρία General Electric δημιούργησε, μέσω του μηχανικού της, Nick Holonyak Jr., το πρώτο LED ορατής ακτινοβολίας, κόκκινου χρώματος. Η εταιρία Mosanto, ξεκίνησε το μαζικό εμπόριο των LED, τα οποία ήταν χρώματος κίτρινου και πορτοκαλί.

Η πρώτη χρήση των διόδων εκπομπής φωτός ήταν σαν δείκτες, ως λυχνίες κόκκινου χρώματος, μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του εβδομήντα, αφού η φωτεινή τους ισχύ ήταν ελάχιστη για τον φωτισμό μεγάλης κλίμακας. Αντικατέστησαν, μ' αυτόν

τον τρόπο, τους λαμπτήρες πυρακτώσεως και τους λαμπτήρες νέον που χρησιμοποιούνταν ως δείκτες νωρίτερα. Ο λόγος της αντικατάστασης αυτής ήταν η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τους, και η μικρότερη τάση λειτουργίας τους. Επίσης τα LED είχαν μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και απαιτούσαν πιο σπάνια, προφανώς, αντικατάσταση.

Από το 1980 και ύστερα, επήλθε μεγάλη ανάπτυξη της τεχνολογίας των διόδων εκπομπής φωτός. Έτσι, σταδιακή, αυξανόταν η φωτεινή τους ισχύ αλλά, ταυτόχρονα, διατηρούσαν την απόδοση και την αξιοπιστία τους. Τα πρώτα LED με μεγάλη φωτεινή ισχύ κατασκευάστηκαν από την εταιρία Nichia Corporation, στις αρχές της δεκαετίας του ενενήντα και ήταν χρώματος μπλε και πράσινου.

Για την παραγωγή λευκού φωτισμού, έως και το 1993, γινόταν μόνο με τον συνδυασμό των τριών βασικών χρωμάτων, κόκκινου, πράσινου και κίτρινου. Το έτος αυτό ο μηχανικός Shuji Nakamura παρήγαγε λευκό φως από ένα LED χρώματος μπλε με την χρήση νιτριδίου του γαλλίου και την επικάλυψή του με φώσφορο.

Το έτος 2008 η Sentry Equipment Corporation κατάφερε να τοποθετήσει φωτιστικά συστήματα LED σε όλους τους χώρους του εργοστασίου της, εσωτερικά και εξωτερικά. Το κόστος τους ήταν τρεις φορές μεγαλύτερο σε σχέση με τους λαμπτήρες που προϋπήρχαν στο εργοστάσιο. Όμως, σε λιγότερο από δυο χρόνια η εταιρία έκανε οικονομική απόσβεση λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας και την σπάνια των λαμπτήρων. Η επανάσταση στις διόδους εκπομπής φωτός ήρθε το έτος 2009. Το πανεπιστήμιο του Cambridge, εφηύρε μια νέα μέθοδο κατασκευής του, μειώνοντας το κόστος κατασκευής έως και 90 %. Από τότε η τεχνολογία LED παίζει πρωταρχικό ρόλο στον τομέα του φωτισμού, παγκοσμίως.

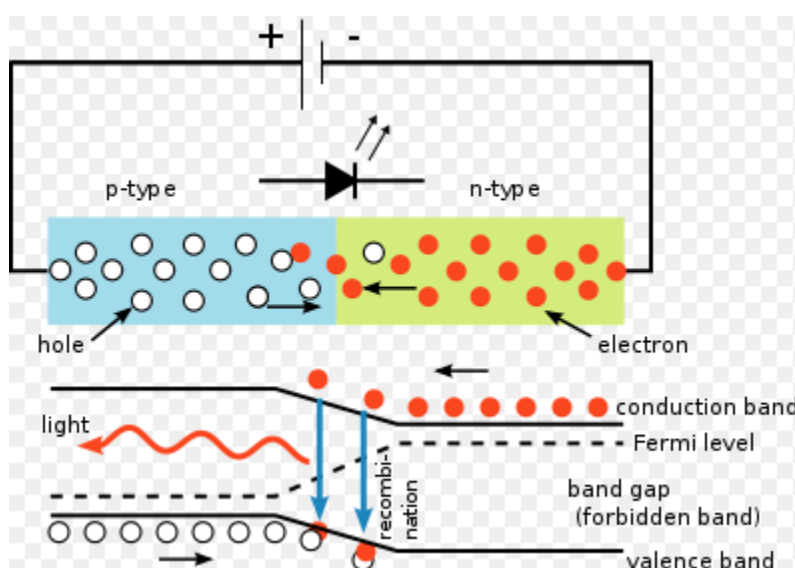
1.2.2 Αρχές Λειτουργίας Των Διόδων Εκπομπής Φωτός LED

Η Δίοδος Εκπομπής Φωτός (LED), είναι, ουσιαστικά, ένας ημιαγωγός ο οποίος, όταν του παρασχεθεί μία ηλεκτρική τάση, εκπέμπει φωτεινή ισχύ στενού φάσματος. Η αρχή λειτουργίας των φωτιστικών συστημάτων LED βασίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτροφωταύγειας (electroluminescence). Κατά το φαινόμενο αυτό όταν ένα υλικό διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα εκπέμπει φωτισμό. Το LED είναι ένα κύκλωμα ημιαγωγών, δηλαδή μια επαφή «p-n», που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε

φωτεινή ισχύ. Η δίοδος εκπομπής φωτός εκπέμπει φωτισμό όντας ορθά πολωμένη, δηλαδή εφαρμόζοντας συνεχή τάση στο «p», ή αλλιώς στον θετικό κλάδο της επαφής.

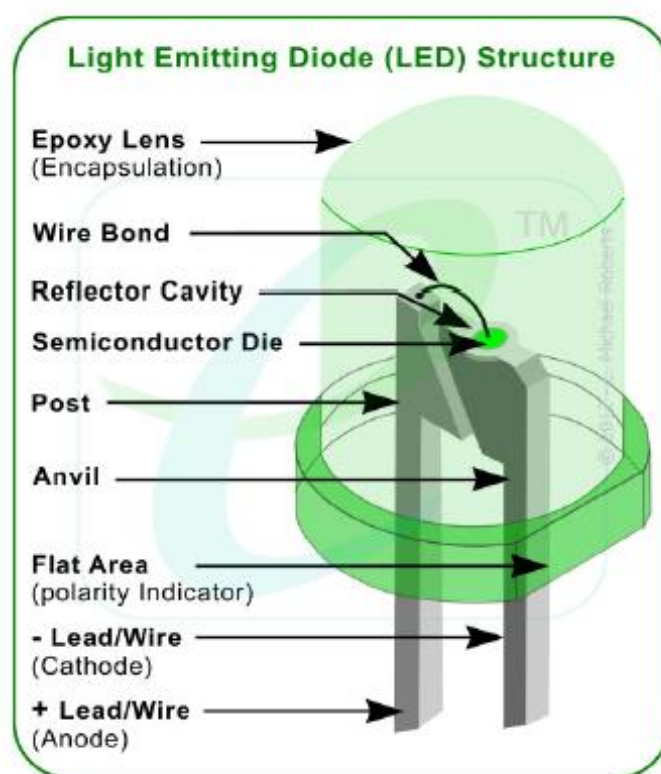
Επαφή «p-n» ονομάζουμε την παράθεση δύο τμημάτων του ημιαγωγού. Το ένα έχει περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων (ημιαγωγός τύπου «n») και το άλλο περίσσεια οπών, ή αλλιώς έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων (ημιαγωγός τύπου «p»). Έτσι, μετατρέπεται το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει τον ημιαγωγό σε φωτεινή ισχύ. Τα ηλεκτρόνια φέρουν το ηλεκτρικό ρεύμα. Η έλλειψη ηλεκτρονίου, ύστερα από την διέγερσή του, ονομάζεται οπή.

Όταν συνδέεται ξανά το ηλεκτρόνιο με την οπή (αποδιέγερση), συμβαίνει η εκπομπή φωτονίου με ενέργεια περίπου ίση προς το ενεργειακό χάσμα. Η συχνότητα, το μήκος κύματος και η ενέργεια που έχει το φωτόνιο αλλάζει εύκολα μέσω της επιλογής κατασκευαστικών υλικών με διάφορα ενεργειακά χάσματα. Κατά συνέπεια, με αυτόν τον τρόπο αλλάζει και ο χρωματισμός των φωτονίων. Τα LED κατασκευάζονται με σκοπό να δίνουν μεγάλο αριθμό φωτονίων κατά την λειτουργία τους και μάλιστα, λόγω του πλαστικού περιβλήματος στο οποίο μπορούν να περιέχονται, στέλνουν την φωτεινή ροή προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η αρχή λειτουργίας των διόδων εκπομπής φωτός, όπως παρατίθεται στην βιβλιογραφία [57].



Εικόνα 1.2.1: Αρχή λειτουργίας Διόδων Εκπομπής Φωτός (LED) [57]

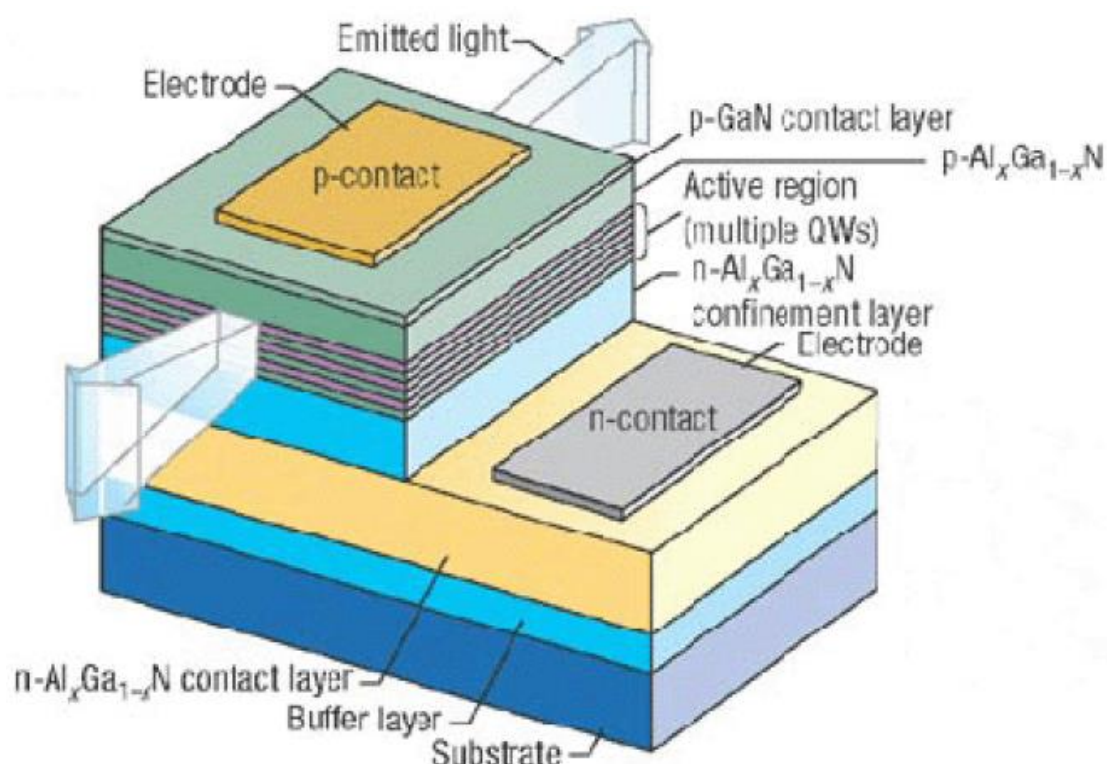
Όπως σε κάθε δίοδο, έτσι και η δίοδος εκπομπής φωτός, κατασκευάζεται από ένα μικροκύκλωμα ημιαγωγικού υλικού εμποτισμένο με διάφορες προσμίξεις για τη δημιουργία της ένωσης «p-n». Το ρεύμα διαπερνά από την άνοδο (p), στην κάθοδο (n) και ποτέ ανάποδα. Σε περίπτωση που ένα ηλεκτρόνιο συναντήσει μια οπή κατεβαίνει σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη απελευθερώνοντας ένα φωτόνιο και μέσω αυτού, φωτεινή ενέργεια. Τα κατασκευαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται στις διόδους εκπομπής φωτός έχουν διάκενο ενέργειας που αντιστοιχεί σε ορατές, σχεδόν υπέρυθρες και σχεδόν υπεριώδεις ακτινοβολίες. Το ενεργειακό διάκενο των υλικών που αποτελούν την «p-n» ένωση, ευθύνονται για το μήκος κύματος, άρα και για το χρώμα του φωτός που εκπέμπεται από τα LED [1]. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται μια απεικόνιση της κατασκευαστικής δομής ενός LED, μέσω της βιβλιογραφίας [1].



Εικόνα 1.2.3: Απεικόνιση Κατασκευαστικής Δομής LED [1]

Το κέντρο, μιας δίοδος εκπομπής φωτός, αποτελείται από μία δίοδο η οποία τοποθετείται εντός ενός ανακλαστήρα και στερεώνεται εκεί με τη χρήση μαλακού χάλυβα, ο οποίος συνδέεται με ένα ζεύγος ηλεκτρικά καλώδια. Το μέγεθος της

διόδου είναι περίπου 0,25 mm. Η δίοδος αυτή, για να λειτουργήσει με ισχύ 0,1 Watt χρειάζεται ρεύμα περίπου ίσο με 10mA. Ο φωτισμός παράγεται κατά την διαρροή του ρεύματος από την επαφή (p) στην επαφή (n) των δύο υλικών. Ο ανακλαστήρας, το μέγεθος του μικροκυκλώματος και το σχήμα του φακού, είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν το πλάτος και το σχήμα της δέσμης φωτός που παράγεται. Ένα λεπτομερές κατασκευαστικό διάγραμμα, μιας δίοδου εκπομπής φωτός, φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, που παρατίθεται στην βιβλιογραφία [50].



Εικόνα 1.2.4: Λεπτομερές Κατασκευαστικό Διάγραμμα Δίοδου Εκπομπής Φωτός [50]

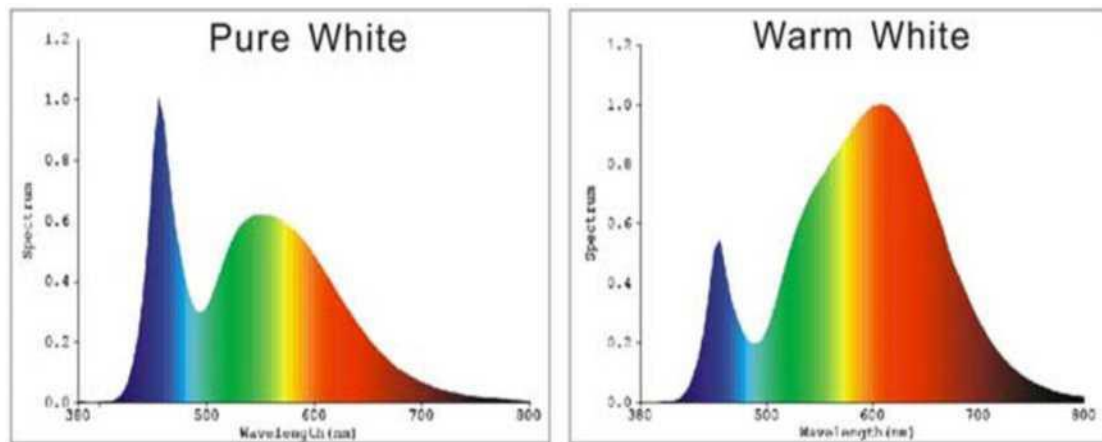
Τα φωτιστικά συστήματα LED μπορούν να εκπέμψουν υπέρυθη ακτινοβολία με μήκος κύματος από 830 nm έως 940 nm αλλά και υπεριώδη ακτινοβολία. Το χρωματικό αποτέλεσμα της φωτεινής δέσμης των LED έχει να κάνει με το υλικό των ημιαγωγών, καθώς και με τα χημικά πρόσθετα και το περίβλημά τους. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως ημιαγωγοί είναι κυρίως ενώσεις αρσενίου, γαλλίου και αργιλίου ή ενώσεις ινδίου, γαλλίου και αργιλίου. Παρακάτω φαίνεται ένας πίνακας, που παρατίθεται από την βιβλιογραφία [57], ο οποίος δείχνει την αντιστοιχία των χρωμάτων, που παράγουν τα LED, σε σχέση με το μήκος κύματος, την πτώση τάσης και τα υλικά των ενώσεων που χρησιμοποιούνται για το καθένα.

Color	Wavelength [nm]	Voltage drop [ΔV]	Semiconductor material
Infrared	$\lambda > 780$	$\Delta V < 1.63$	Gallium arsenide (GaAs) Aluminium gallium arsenide (AlGaAs)
Red	$610 < \lambda < 780$	$1.63 < \Delta V < 2.03$	Aluminium gallium arsenide (AlGaAs) Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
Orange	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta V < 2.10$	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
Yellow	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta V < 2.18$	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
Green	$500 < \lambda < 570$	$1.9^{[66]} < \Delta V < 4.0$	Traditional green: Gallium(III) phosphide (GaP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Aluminium gallium phosphide (AlGaP) Pure green: Indium gallium nitride (InGaN) / Gallium(III) nitride (GaN)
Blue	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta V < 3.7$	Zinc selenide (ZnSe) Indium gallium nitride (InGaN) Silicon carbide (SiC) as substrate Silicon (Si) as substrate—under development
Violet	$400 < \lambda < 450$	$2.78 < \Delta V < 4.0$	Indium gallium nitride (InGaN)
Purple	multiple types	$2.48 < \Delta V < 3.7$	Dual blue/red LEDs, blue with red phosphor, or white with purple plastic
Ultraviolet	$\lambda < 400$	$3.1 < \Delta V < 4.4$	Diamond (235 nm) ^[67] Boron nitride (215 nm) ^{[68][69]} Aluminium nitride (AlN) (210 nm) ^[70] Aluminium gallium nitride (AlGaInN) Aluminium gallium indium nitride (AlGaInN)—down to 210 nm ^[71]
Pink	multiple types	$\Delta V \sim 3.3^{[72]}$	Blue with one or two phosphor layers: yellow with red, orange or pink phosphor added afterwards, or white phosphors with pink pigment or dye over top. ^[73]
White	Broad spectrum	$\Delta V = 3.5$	Blue/UV diode with yellow phosphor

Εικόνα 1.2.5 : Πίνακας Αντιστοιχίας Χρωμάτων Των LED [57]

Οι δίοδοι εκπομπής φωτός LED παράγουν ακτινοβολία σε πολύ μικρό φάσμα το οποίο είναι σχεδόν ενός χρώματος. Για να μεγαλώσει το φάσμα αυτό χρησιμοποιούνται φώσφοροι, οι οποίοι διεγείρονται από την ακτινοβολία των δίοδων εκπομπής φωτός. Πέρα από τα κόκκινα, τα πορτοκαλί και τα πράσινα LED, υπάρχουν και τα λευκά LED. Τα λευκά LED είναι δυο ειδών. Το πρώτο είδος χρησιμοποιεί φώσφορο, ο οποίος απορροφά το μπλε χρώμα και το εκπέμπει ξανά σαν λευκό. Το είδος αυτό είναι το προτιμότερο αφού οι φώσφοροι μπορούν να ακτινοβολήσουν πολλά και διαφορετικά είδη λευκού φωτός. Το δεύτερο είδος, χρησιμοποιεί συνδυασμό από λυχνίες που εκπέμπουν διαφορετικά χρώματα τα οποία συνδέονται σε ένα ενιαίο λευκό. Ανάλογα με την εφαρμογή, των φωτιστικών συστημάτων LED, υπάρχει και η δυνατότητα επιλογής της θερμοκρασίας χρώματος

που απαιτείται. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται φασματική διαφορά του ψυχρού λευκού φωτός με το ζεστό λευκό φως. [50]



Εικόνα 1.2.6: Φασματική Διαφορά Εκπομπής Του Ψυχρού Λευκού Με Το Ζεστό Λευκό [50]

1.3 Ηλεκτροφωτισμός Οδών

Η οδήγηση κατά τις νυχτερινές ώρες είναι μία από τις δυσκολότερες συνθήκες στις οποίες καλείται να ανταπεξέλθει ένας οδηγός. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [58], το περιορισμένο βάθος ορατότητας, η ανικανότητα διάκρισης του περιβάλλοντος χώρου, η φτωχή αντίθεση του φωτιζόμενου τμήματος, η δυσκολία διάκρισης της οριζόντιας και κατακόρυφης σήμανσης, η θάμβωση και η συνεχής εναλλαγή των φανών του οχήματος, είναι μερικές μόνο από τις καταστάσεις που καθορίζουν το πρόβλημα της νυχτερινής οδήγησης.

Μία εγκατάσταση φωτισμού πρέπει να παρέχει στον οδηγό τη δυνατότητα να καθορίζει:

- την κατάσταση της οδού στο τμήμα που πρόκειται να διανύσει στα επόμενα 5 sec έως 10 sec
- τη θέση του οχήματός του και την κίνησή του στο εν λόγω τμήμα
- την αντίστοιχη θέση και κίνηση των λοιπών οχημάτων
- την ύπαρξη τυχόν εμποδίων επάνω στο οδόστρωμα
- τη σήμανση της οδού, κάθετη και οριζόντια

1.3.1 Σημεία Εφαρμογής Οδικού Φωτισμού

Τα σημεία στα οποία εφαρμόζεται ο ηλεκτροφωτισμός, για τα οποία οι έρευνες δείχνουν σαφή βελτίωση της οδικής ασφάλειας με την εφαρμογή του, ή σε διάφορες άλλες περιπτώσεις που είναι ευνόητα απαραίτητος, είναι τα εξής [58]:

- Οδοί με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο (EMHK>30.000 ΜΕΑ/ημ.)
- Σημεία οδών με έντονες αλλαγές χάραξης ή με φτωχά γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Κόμβοι με αξιόλογη κίνηση ή με διαρρύθμιση, καθώς και κυκλικοί κόμβοι
- Ανισόπεδοι κόμβοι αυτοκινητοδρόμων
- Μακρές γέφυρες
- Σήραγγες και υπόγεια τμήματα
- Περιοχές στάθμευσης και εξυπηρέτησης αυτοκινητιστών
- Σταθμοί διοδίων
- Αστικές οδοί με αξιόλογη κίνηση ή παράπλευρη εμπορική δραστηριότητα
- Επικίνδυνες κατασκευές, όπως μεσόβαθρα και στενές γέφυρες
- Πινακίδες σήμανσης
- Τμήματα με αξιόλογη κυκλοφορία πεζών
- Γενικώς, σημεία στα οποία απαιτείται η τεταμένη προσοχή του οδηγού, όπως θέσεις μετατροπής οδών ταχείας κυκλοφορίας σε συμβατικές οδούς ή σημεία συχνής διάσχισης πεζών έξω από πόλεις

1.3.2 Ορολογία Φωτομετρικών Στοιχείων

- **Φωτεινή Ένταση (*Luminous Intensity, I*):** Είναι η φωτεινή ροή ανά μονάδα στερεάς γωνίας, από μία δεδομένη πηγή σε μία δεδομένη κατεύθυνση. Περιγράφει τη δύναμη μίας πηγής να παρέχει φως (δύναμη κεριού) προς κάθε κατεύθυνση, ενώ υπάρχει και η μέση ένταση προς ένα σύνολο κατευθύνσεων. Η μονάδα μέτρησης είναι το **candela (cd)**, όπου $1 \text{ cd} = 1 \text{ lumen/steradian}$.
- **Φωτεινή Ροή (*Luminous Flux*):** Είναι η ακτινοβολούμενη ενέργεια (φως) που εκπέμπεται από μία φωτεινή πηγή ή λαμβάνεται από μία επιφάνεια, ασχέτως των διευθύνσεων κατά τις οποίες αυτό κατανέμεται. Η μονάδα μέτρησης

είναι το **lumen (lm)**, το οποίο ορίζεται ως η ροή που εκπέμπεται μέσω στερεάς γωνίας 1 steradian από μία σημειακή πηγή ομοιόμορφης φωτεινής έντασης 1 cd.

- **Φωτισμός ή Ισχύς Φωτισμού (Illuminance, E):** Ορίζεται ως η πυκνότητα της φωτεινής ροής, δηλαδή η φωτεινή ροή ανά μονάδα επιφάνειας. Η μονάδα μέτρησης είναι το **lux (lx)**, όπου $1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$. Είναι το μέτρο της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο οδόστρωμα.
- **Λαμπρότητα (Luminance, L):** Ορίζεται ως το πηλίκο $L=I/S$, όπου I η ένταση της φωτεινής πηγής και S η επιφάνειά της. Είναι η φωτεινή ένταση που ανακλάται από μία μοναδιαία επιφάνεια σε μία καθορισμένη διεύθυνση. Η μονάδα μέτρησης είναι το **cd/m²**. Ουσιαστικά η λαμπρότητα θεωρείται το αντικειμενικό μέτρο και το πιο σημαντικό κριτήριο για τον οδικό φωτισμό, καθώς περιγράφει την κατάσταση ενός φωτιζόμενου οδοστρώματος εξετάζοντας την ακτινοβολία που προέρχεται από ανάκλαση στο οδόστρωμα και κατευθύνεται προς το μάτι του οδηγού, καθιστώντας το οδόστρωμα ορατό.
- **Ομοιομορφία Λαμπρότητας (Uniformity, U):** Για να είναι ένα αντικείμενο ορατό επάνω στο οδόστρωμα, πρέπει η κατανομή της λαμπρότητας στο οδόστρωμα να είναι ομοιόμορφη. Η ομοιομορφία εκφράζεται είτε για διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση του παρατηρητή (εγκάρσια ομοιομορφία), είτε για την ίδια τη διεύθυνση του παρατηρητή (διαμήκης ομοιομορφία) και εκφράζεται ως λόγος μεταξύ των L_{\min} , L_{\max} , L_{av} , ελάχιστης, μέγιστης και μέσης, αντίστοιχα, λαμπρότητας στο σύνολο του οδοστρώματος.
- **Αντίθεση Λαμπρότητας (Contrast, C):** Η αναγνώριση των αντικειμένων βασίζεται στη διαφορά λαμπρότητας μεταξύ αυτών και του περιβάλλοντός τους. Αυτή η διαφορά λαμπρότητας αποτελεί την αντίθεση λαμπρότητας και δίδεται από την εξίσωση $C=(L_o-L_b)/L_b$, όπου L_o η λαμπρότητα του αντικειμένου και L_b η λαμπρότητα του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο γίνεται αυτό ορατό. Η τιμή της αντίθεσης κυμαίνεται από -1 έως $+\infty$. Στις θετικές τιμές το αντικείμενο εμφανίζεται σαν φωτεινή εικόνα μέσα σε σκοτεινό περιβάλλον, ενώ συνήθως ο οδηγός αναγνωρίζει ένα αντικείμενο σαν

σκοτεινή φιγούρα μέσα στο φωτεινό περιβάλλον της επιφάνειας του οδοστρώματος, δηλαδή η αντίθεση λαμβάνει αρνητικές τιμές.

- **Φωτεινότητα (Luminosity):** Είναι η οπτική αίσθηση που υποδεικνύει ότι μία περιοχή φαίνεται ότι εκπέμπει περισσότερο ή λιγότερο φως.
- **Ακτινοβολία (Beam):** Είναι το τμήμα της φωτεινής ροής που εκπέμπεται από μία πηγή φωτός, όταν αυτή περιέχεται σε μία στερεά γωνία. Η στερεά γωνία εκτείνεται ως το λειτουργικό κέντρο του φωτός της πηγής, συμπεριλαμβανομένης της μέγιστης έντασης.
- **Φωτεινή Απόδοση:** Ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής φωτεινής ροής που εκπέμπεται από ένα ηλεκτρικό φωτιστικό σώμα, προς τη συνολική ηλεκτρική ισχύ της πηγής. Μονάδα μέτρησης είναι το **lumen/Watt**.
- **Συντελεστής Συντήρησης:** Είναι ο λόγος της τρέχουσας φωτεινής απόδοσης σε lumens του συστήματος φωτισμού προς την αντίστοιχη αρχική, μετά από απώλεια φωτός από διάφορους παράγοντες, όπως η συσσώρευση σκόνης, η βλάβη κάποιων λαμπτήρων, η ρύπανση των τοιχωμάτων της σήραγγας κλπ.
- **Στάθμη Φωτισμού:** Είναι η φωτεινή ροή που δέχεται το οδόστρωμα ανά μονάδα επιφάνειάς του.
- **Θάμβωση:** Θάμβωση δημιουργείται όταν οι συνθήκες ορατότητας είναι τέτοιες ώστε να προκαλείται ενόχληση και μείωση της ικανότητας του παρατηρητή να διακρίνει αντικείμενα, εξαιτίας ακατάλληλης κατανομής της λαμπρότητας ή εξαιτίας υπερβολικών αντιθέσεων. Ένα από τα είδη θάμβωσης είναι η «φυσιολογική» θάμβωση, που προκαλείται από τη δημιουργία ενός ομοιόμορφου πέπλου φωτός στο οπτικό πεδίο, μειώνοντας την αντίθεση μεταξύ αντικειμένου και περιβάλλοντος. Δείκτης της εν λόγω μορφής θάμβωσης είναι το ποσοστό κατά το οποίο πρέπει να αυξηθεί η λαμπρότητα του περιβάλλοντος για να αποκατασταθεί η ορατότητα του αντικειμένου (Threshold Increment, TI).

1.3.3 Απαιτήσεις Σε Φωτομετρικά Χαρακτηριστικά

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [58], Για το σωστό φωτισμό ενός οδικού σημείου απαιτείται να πληρούνται σε αυτό ορισμένες μέγιστες και ελάχιστες τιμές φωτομετρικών στοιχείων του εφαρμοζόμενου φωτισμού. Διάφοροι κανονισμοί

δίνουν πίνακες με τα απαιτούμενα αυτά στοιχεία, τα οποία εξαρτώνται από το είδος του φωτιζόμενου τμήματος. Κατά τα βρετανικά πρότυπα (BS 5489) διαμορφώνονται κλάσεις οδικού φωτισμού, ανάλογα με το είδος και την κατάσταση της οδού. Στην παρακάτω εικόνα, που παρατίθεται στην βιβλιογραφία [58], φαίνεται ένας πίνακας με τους προαναφερθέντες κανονισμούς. Τα στοιχεία του εν λόγω πίνακα αφορούν μόνο διαμήκη τμήματα οδών.

ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΙ	
Πυκνότητα και πολυπλοκότητα κυκλοφορίας	Κλάση Φωτισμού
Υψηλή	M1
Μέση	M2
Χαμηλή	M3
ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΕΝΕΣ ΟΔΟΙ ΤΑΧΕΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	
Έλεγχος κυκλοφορίας και διαχωρισμός χρηστών	Κλάση Φωτισμού
Φτωχός	M1
Καλός	M2
ΚΥΡΙΕΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΑΣΤΙΚΕΣ ΑΡΤΗΡΙΕΣ	
Έλεγχος κυκλοφορίας και διαχωρισμός χρηστών	Κλάση Φωτισμού
Φτωχός	M2
Καλός	M3
ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΕΣ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΕΣ ΑΣΤΙΚΕΣ ΟΔΟΙ	
Έλεγχος κυκλοφορίας και διαχωρισμός χρηστών	Κλάση Φωτισμού
Φτωχός	M4
Καλός	M5

Εικόνα 1.3.1: Κλάσεις Φωτισμού Για Διάφορα Επίπεδα Οδών [58]

Στην παρακάτω εικόνα, που δίνεται στην βιβλιογραφία [58], φαίνεται ένας πίνακας ο οποίος με βάση την κλάση φωτισμού που αντιστοιχεί στην οδό ορίζει τα απαιτούμενα φωτομετρικά χαρακτηριστικά.

Κλάση Φωτισμού	Μέση Λαμπρότητα L_{av} (cd/m ²)	Συνολική Ομοιομορφία U_o (L_{min}/L_{av})	Αρχικό ΤΙ (θάμβωση)	Διαμήκης Ομοιομορφία U_L (L_{min}/L_{max})	Λαμπρότητα περιβάλλοντος χώρου SR
	για όλες τις οδούς	για όλες τις οδούς	για όλες τις οδούς	για οδούς χωρίς, ή με λίγους κόμβους	για οδούς με διαβάσεις πεζών
M1	>2,0	>0,4	<10 %	>0,7	>0,5
M2	>1,5	>0,4	<10 %	>0,7	>0,5
M3	>1,0	>0,4	<10 %	>0,5	>0,5
M4	>0,75	>0,4	<15 %	-	-
M5	>0,5	>0,4	<15 %	-	-

Εικόνα 1.3.2: Απαιτήσεις Φωτισμού Κατά Κλάση Φωτισμού [58]

Ανάλογα στοιχεία δίνονται και κατά τις αμερικανικές προδιαγραφές του AASHTO, οι οποίες φαίνονται στον πίνακα [58] της εικόνας παρακάτω. Στον εν λόγω πίνακα δίνονται οι απαιτήσεις φωτισμού διαμήκων τμημάτων οδών, βάσει του είδους της οδού και της πυκνότητας κίνησης πεζών και οχημάτων και σε σχέση με χρήσεις γης, για ασφαλτικό οδόστρωμα.

Είδος οδού	Πυκνότητα κίνησης	Φωτισμός (lux)	Συνολική Ομοιομορφία $U_o (L_{min}/L_{av})$
Αυτοκινητόδρομος		9	1:3
Ταχείας κυκλοφορίας	Μεγάλη	14	1:3
	Μέτρια	12	
	Περιοχή Κατοικίας	9	
Κύρια	Μεγάλη	17	1:3
	Μέτρια	13	
	Περιοχή Κατοικίας	9	
Συλλεκτήρια	Μεγάλη	12	1:4
	Μέτρια	9	
	Περιοχή Κατοικίας	6	
Τοπική	Μεγάλη	9	1:6
	Μέτρια	7	
	Περιοχή Κατοικίας	4	

Εικόνα 1.3.3: Απαιτήσεις Φωτισμού Για Ασφαλτικό Οδόστρωμα, Κατά AASHTO [58]

2

Βιβλιογραφική Έρευνα

[1]Econolux Induction Lights Vs. Led Lights

Indulux Technologies Inc.

Στην εργασία αυτή, γίνεται μια σύγκριση των νέων τεχνολογιών φωτισμού. Ιδιαίτερα συγκρίνονται οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής με τα φωτιστικά συστήματα LED. Στην αρχή της εργασίας γίνεται μια σύντομη περιγραφή από τους συγγραφείς εξηγώντας την λειτουργία των δύο αυτών, σύγχρονων, φωτεινών πηγών δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην τροφοδοσία τους. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι φωτογραφίες δύο τυπικών συστημάτων τροφοδοσίας. Το πρώτο είναι ένα σύστημα τροφοδοσίας για λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής και το δεύτερο για φωτιστικό σύστημα LED.



Εικόνα 2.1.1: Σύστημα Τροφοδοσίας Λαμπτήρα Μαγνητικής Επαγωγής [1]



Εικόνα 2.1.2: Σύστημα Τροφοδοσίας Φωτιστικού Συστήματος LED [1]

Ύστερα, γίνεται σύγκριση των δυο αυτών φωτιστικών συστημάτων. Στο πρώτο κεφάλαιο της σύγκρισης, αναφέρεται η ενεργειακή απόδοση των δύο φωτεινών πηγών, με τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής να είναι ανώτεροι, κατά τους συγγραφείς, σ' αυτόν τον τομέα. Το επόμενο κομμάτι της έρευνας ασχολείται με την διάρκεια ζωής των συστημάτων, δίνοντας ιδιαίτερο προβάδισμα στους λαμπτήρες δίχως ηλεκτρόδια, κυρίως λόγω του μικρότερου κόστους συντήρησης. Ύστερα, γίνεται ιδιαίτερος λόγος για το κόστος των λαμπτήρων και της επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Δίνεται, επίσης, ένα, εφαρμοσμένο σε πραγματικές συνθήκες, παράδειγμα για την επιβεβαίωση όσων έγραψαν οι συγγραφείς.

Τέλος, δίνονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα και των δύο τεχνολογιών. Οι δίοδοι εκπομπής φωτός LED, έχουν πολύ μεγάλο χρόνο ζωής, έχουν μεγάλη ενεργειακή αποδοτικότητα και καλύτερο σύστημα τροφοδοσίας από τους συμβατικούς λαμπτήρες. Επίσης, χρειάζονται ελάχιστο χρόνο από την έναρξη στην παραγωγή φωτισμού, είναι ιδανικά για εφαρμογές μικρού μεγέθους και είναι διαθέσιμα σε διάφορες αποχρώσεις. Τα μειονεκτήματα τους είναι, κατά τους συγγραφείς, ο μικρότερος χρόνος ζωής και το μεγαλύτερο κόστος, σε σύγκριση με τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής. Επίσης, λόγω της μεγάλης θερμοκρασίας τους, χρειάζονται ειδικές ψήκτρες, κάνοντας τα έτσι μεγαλύτερα σε μέγεθος.

Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, έχουν πάρα πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής και μεγάλη ενεργειακή απόδοση. Ακόμα, κάνουν τεράστια εξοικονόμηση ενέργειας, έχουν πολλά χρόνια εγγύηση από τους κατασκευαστές και χαμηλό κόστος συντήρησης. Επίσης, παράγουν φωτισμό εξαιρετικής ποιότητας για μεγάλο χρονικό διάστημα, ανάβουν σε ελάχιστο χρονικό διάστημα από την έναρξή τους, έχουν άριστο «σκοτοπικό/φωτοπικό» συντελεστή και είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Ως μειονεκτήματα αναφέρονται, το μεγάλο τους μέγεθος, η ευθραυστότητά τους, καθώς είναι κατασκευασμένα από γυαλί και τέλος η μικρή τους ποικιλία στην αλλαγή χρωμάτων.

[2] Design Orientated Model and Application of Electronic Ballasts for Two Toroidal Ferrite Coupled Electroless Lamps

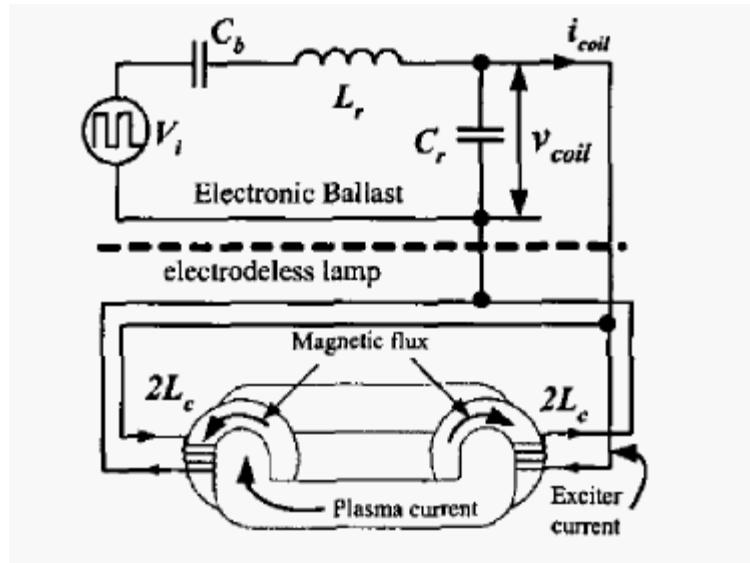
X.H. Cao

Institute of Power Electronics

Zhejiang University

Hang Zhou, PRC.

Στην δημοσίευση αυτή, οι συγγραφείς προτείνουν ένα απλουστευμένο μοντέλο δυο τοροϊδών λαμπτήρων φερρίτη, μαγνητικής επαγωγής, με βάση τις βασικές θεωρίες του μετασχηματιστή, δίνοντας επίσης το σύστημα τροφοδοσίας τους. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, γίνεται έρευνα και ανάλυση του πεδίου συχνοτήτων και του σχεδιασμού της τροφοδοσίας. Επίσης, ερευνάται η επίδραση των πηνίων διέγερσης στους λαμπτήρες δίχως ηλεκτρόδια, και συγκρίνονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τους συμβατικούς λαμπτήρες φθορισμού. Η παρακάτω εικόνα δείχνει το προτεινόμενο μοντέλο.



Εικόνα2.2.1: Μοντέλο Προτεινόμενου Λαμπτήρα Με Την Τροφοδοσία Του [2]

Τελικά κατά τους συγγραφείς μετά από εκτενή έρευνα, το μοντέλο φαίνεται ακριβέστατο συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της προσομοίωση με τα πειραματικά. Τα χαρακτηριστικά στο πεδίο των συχνοτήτων του τροφοδοτικού επηρεάζονται πολύ με την εισαγωγή της αυτεπαγωγής του πηνίου διέγερσης, δίνοντας νέα δεδομένα για τον σχεδιασμό του συστήματος τροφοδοσίας.

[3] Model for Electrical Characteristics of Electrodeless Fluorescent Lamps

M. F. da Silva, N. B. Chagas, J. Fraytag, R. N. Marchesan, F. E. Bisogno, R. A. Pinto, R. N. do Prado

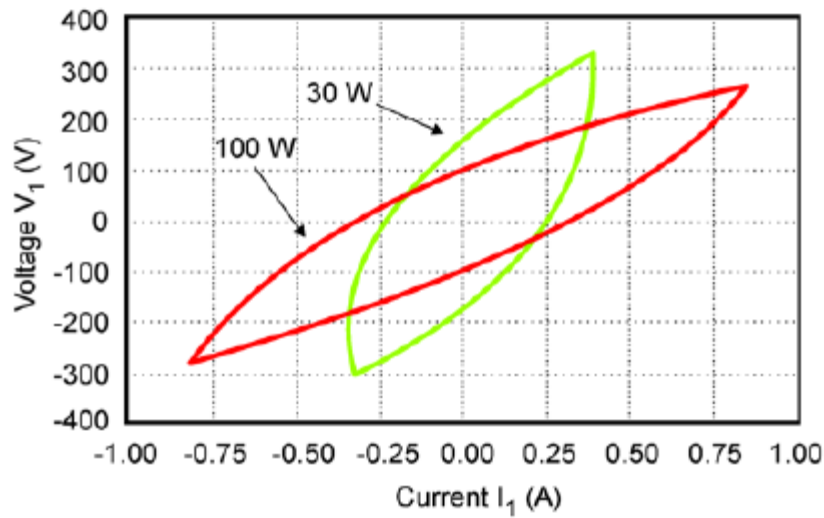
Federal University of Santa Maria – UFSM

Group of Intelligence in Lighting – GEDRE

Santa Maria, Brazil

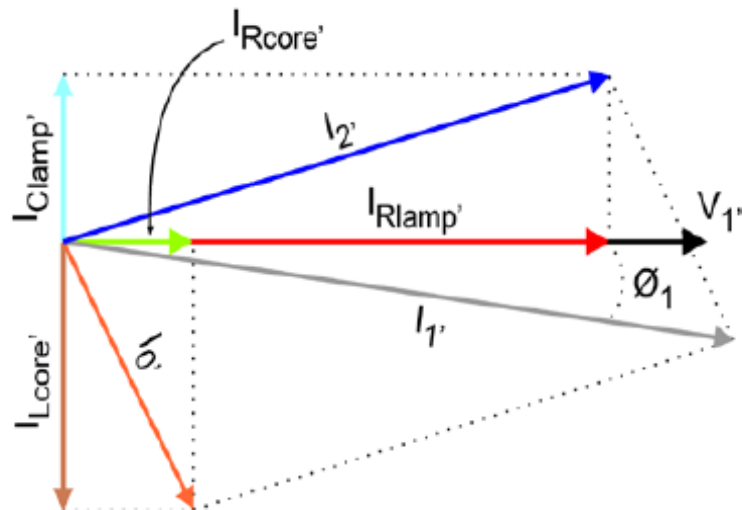
Η εργασία παρουσιάζει ένα μοντέλο λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής (IEFL) δίνοντας στοιχεία για την πραγματική και άεργο ισχύ του λαμπτήρα. Κατά τον συγγραφέα ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι οι απώλειες στον πυρήνα του λαμπτήρα και τα χαρακτηριστικά αντίδρασης του. Οι προσομοιώσεις του προτεινόμενου μοντέλου παρουσιάζονται στο παρόν έγγραφο και όπως φαίνεται συμφωνούν απόλυτα με τα πειραματικά

αποτελέσματα. Παρακάτω φαίνονται οι καμπύλες τάσεως- ρεύματος των δύο λαμπτήρων ισχύος 30 W και 100 W αντίστοιχα.



Εικόνα 2.3.1: Καμπύλη Ρεύματος- Τάσης Δυο Λαμπτήρων Μαγνητικής Επαγωγής [3]

Η εικόνα παρακάτω δείχνει το διανυσματικό διάγραμμα του λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής.



Εικόνα 2.3.2: Διανυσματικό Διάγραμμα Λαμπτήρα Μαγνητικής Επαγωγής [3]

Σημαντικά χαρακτηριστικά των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής παρουσιάστηκαν από τους συγγραφείς αλλά και οι διαφορές τους σε σχέση με τα δεδομένα στη βιβλιογραφία της δημοσίευσης. Τα αποτελέσματα που λήφθηκαν επικύρωσαν το μοντέλο της προσομοίωσης για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των λαμπτήρων

μαγνητικής επαγωγής, σε σταθερή κατάσταση. Η ακρίβεια του μοντέλου επιτυγχάνεται επειδή αυτό δεν λαμβάνει υπ' όψιν του μόνο τη διακύμανση της αντίστασης του πλάσματος, αλλά και τη διακύμανση της αντίδρασης απαλλαγής, καθώς και τις απώλειες στον πυρήνα. Τελικά, η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόζεται στο μοντέλο θεωρώντας αμετάβλητο τον συντελεστή σύζευξης κοντά στη μονάδα και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας.

[4] Demonstration of Resonant Inverter Circuit for Electrodeless Fluorescent Lamps Using High Voltage GaN-HEMT

Wataru Saito, Ichiro Omura, Tomohiro Nitta, Yorito Kakiuchi and Masakazu Yamaguchi

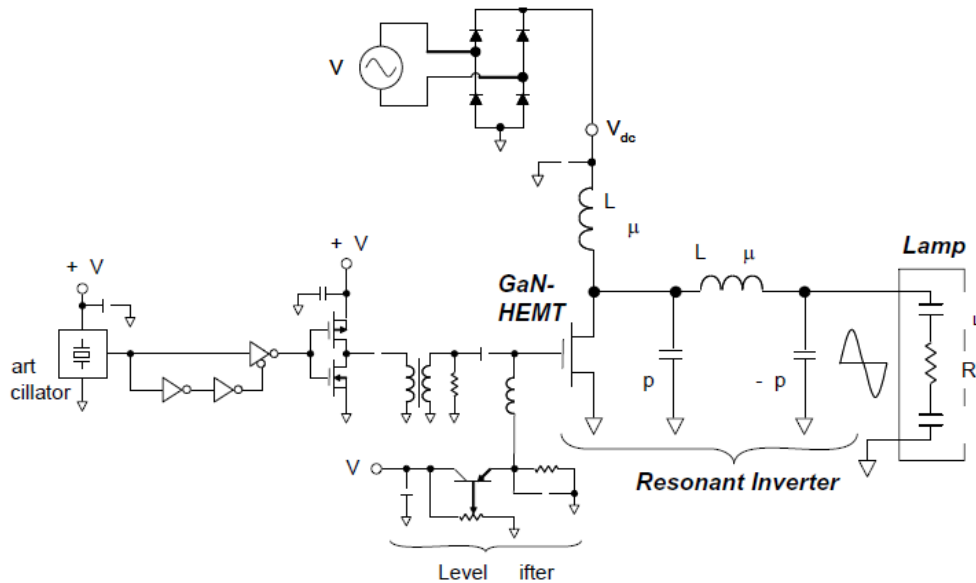
Semiconductor Company, Toshiba Corp.,

Tomokazu Domon

Toshiba Business and Life Service,

Kunio Tsuda, R&D Center, Toshiba Corp

Η παρούσα δημοσίευση επιδεικνύει ένα κύκλωμα μετατροπέα συντονισμού της συχνότητας, ενός λαμπτήρα φθορισμού μαγνητικής επαγωγής, χρησιμοποιώντας ως κύριο μετασχηματιστή ένα κύκλωμα υψηλής τάσης τύπου «GaN - HEMT(620-V/1.4-A)» σαν κύρια συσκευή μετασχηματισμού. Η δυναμική αντίσταση που αύξησε κάποια φαινόμενα κατάρρευσης εξομαλύνθηκε μέσω μιας «dual-FP» καταφέροντας έτσι μετασχηματισμό υπό υψηλή τάση (πάνω από 350 V). Παρακάτω φαίνεται η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία.



Εικόνα 2.4.1: Κυκλωματικό Διάγραμμα Προτεινόμενου Μοντέλου [4]

Συμπερασματικά, το κύκλωμα του μετατροπέα συντονισμού λειτουργώντας στα 13.56 MHz απέδειξε ότι επιτυγχάνει υψηλή τάση λειτουργίας στα 380 V, υψηλή ταχύτητα στη θύρα μετασχηματισμού του στα 4,5 ns έως και 7 ns, και άριστο φωτισμό του λαμπτήρα με ισχύ εισόδου 7W έως και 10 W. Η απόδοση ισχύος του μετατροπέα ήταν άνω του 90% με είσοδο στα 9 W. Τελικά, όπως αναφέρεται, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το «GaN - HEMT» υψηλής τάσης που χρησιμοποιήθηκε, είναι κατάλληλο για μετασχηματισμό υψηλής συχνότητας στα πλαίσια υψηλών τάσεων εισόδου, αρκετών εκατοντάδων βολτ.

[5] A Dimmable Electronic Ballast for Wired or Wireless Remote Control of Electrodeless Fluorescent Lamp Group Lighting Systems

Hoon Kim, Xian-Chao Ma

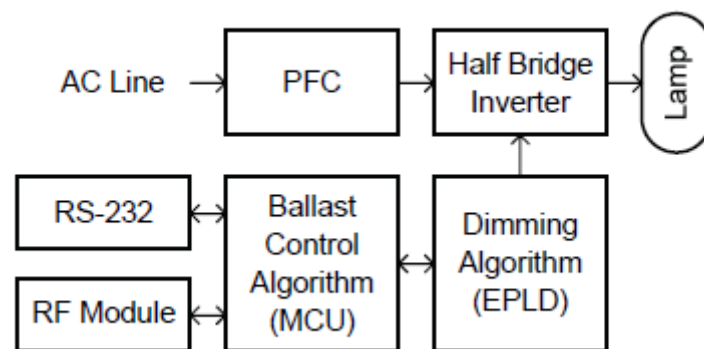
Dept. of Electronics, Electrical, Control, and Instrumentation

Engineering, Hanyang University, Ansan, 426-791, South Korea

Hai Xu, and Hee-Jun Kim, School of Electrical Engineering and Computer Science, Hanyang University, Ansan, 426-791, South Korea

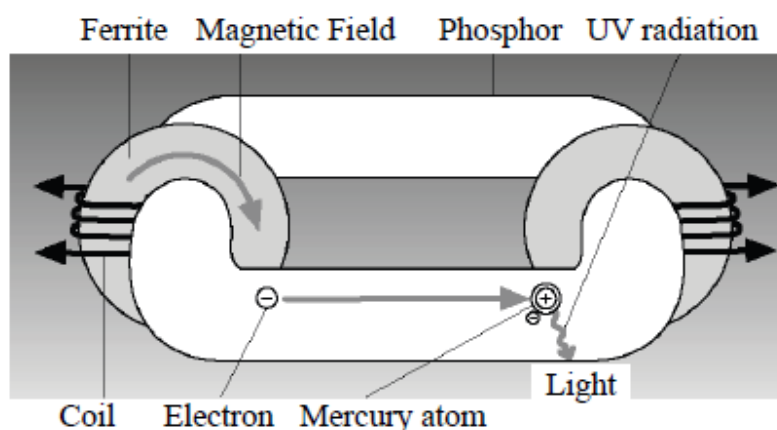
Στην δημοσίευση αυτή παρουσιάζεται ένα σύστημα τροφοδοσίας με δυνατότητα «dimming» για ενσύρματο ή ασύρματο τηλεχειρισμό, ενός συστήματος φωτισμού,

καθώς και οι απαραίτητοι αλγόριθμοι ελέγχου του. Η προτεινόμενη τροφοδοσία αποτελείται από έναν «resonant-inverter», μια προγραμματιστική λογική συσκευή «EPLD» για «dimming», και ένα «MCU» για τον έλεγχο και την επικοινωνία με τον διακομιστή διαχείρισης. Το σύστημα που εφαρμόζεται ελέγχεται σωστά από τον εξυπηρετητή μέσω της ενσύρματης αλλά και μέσω της ασύρματης επικοινωνίας. Επίσης, αναφέρεται ότι, ο αλγόριθμος ελέγχου σταθερής ισχύος έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα της προτεινόμενης μεθοδολογίας.



Εικόνα 2.5.1: Διαγραμματικό Μοντέλο Προτεινόμενης Τοπολογίας [5]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το κατασκευαστικό διάγραμμα του προτεινόμενου λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής.



Εικόνα 2.5.2: Κατασκευαστικό Διάγραμμα Λαμπτήρα Μαγνητικής Επαγωγής Τύπου «ENDURA» [5]

[6] A Novel Ballast for Electrodeless Fluorescent Lamps

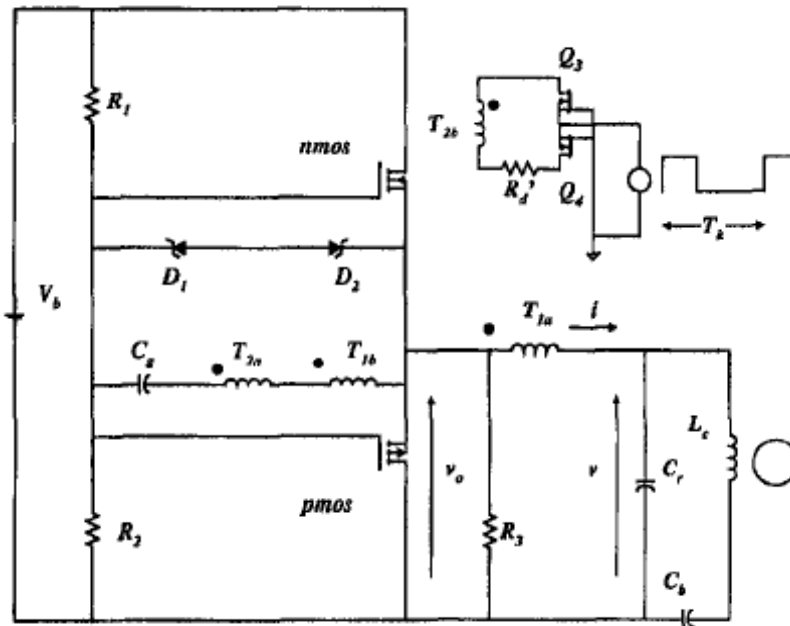
Louis R. Nerone, Senior Member, IEEE

GE Lighting, NELA Park

Cleveland, Ohio 441 12 USA

Αρχικά, ο συγγραφέας δίνει δυο πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής. Το τοροϊδές τόξο του, λοιπόν, δίνει μεγάλη διάρκεια ζωής στον λαμπτήρα, και τον καθιστά ικανό για άμεση έναρξη και γρήγορο ζέσταμα. Σ' αυτό το έγγραφο εξετάζεται η σύγχρονη τεχνολογία πάνω στους λαμπτήρες φθορισμού μαγνητικής επαγωγής από τη σκοπιά της τροφοδοσίας και εστιάζεται σε ένα νέο σύστημα με έναν μετατροπέα κλάσης «D». Μια νέα τεχνική που ονομάζεται «Frequency-Shift-Keying (FSK)» ελέγχει την ισχύ που εφαρμόζεται στο πηνίο επαγωγής.

Συμπερασματικά, ο συμπαγής λαμπτήρας μαγνητικής επαγωγής είναι, προφανώς μια μακράς διάρκειας, αποτελεσματική εναλλακτική λύση σε σύγκριση με τους συμβατικούς λαμπτήρες πυρακτώσεως. Η μέθοδος που προτείνεται δίνει εξαιρετικά αποτελέσματα για την τροφοδοσία. Η τεχνική «FSK» εμποδίζει το επαγωγικό πηνίο να υπερθερμανθεί, διατηρώντας παράλληλα την υψηλή αποτελεσματικότητα του συστήματος σε ευρύ φάσμα φωτεινής έντασης. Η ταλάντωση του μετατροπέα διατηρείται καθώς μεταβάλλεται η συχνότητά και αλλάζει ομαλά κατά τις ακραίες τιμές της. Τέλος, οι απώλειες του αγωγού παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα ενώ, η απόδοση του μετατροπέα υπερβαίνει το 90 % σχεδόν καθ' όλη την διάρκεια του «dimming». Παρακάτω φαίνεται το κυκλωματικό διάγραμμα του λαμπτήρα μαζί με το κυκλωματικό διάγραμμα της τεχνικής ελέγχου «FSK».



Εικόνα 2.6.1: Κυκλωματικό Διάγραμμα Λαμπτήρα Με «FSK» [6]

[7] A Study of Electronic Ballast for Electrodeless Fluorescent Lamps with Dimming Capabilities

Hiroshi Kido, Shinji Makimura, Shingo Masumoto

Matsushita Electric Works, Ltd.,

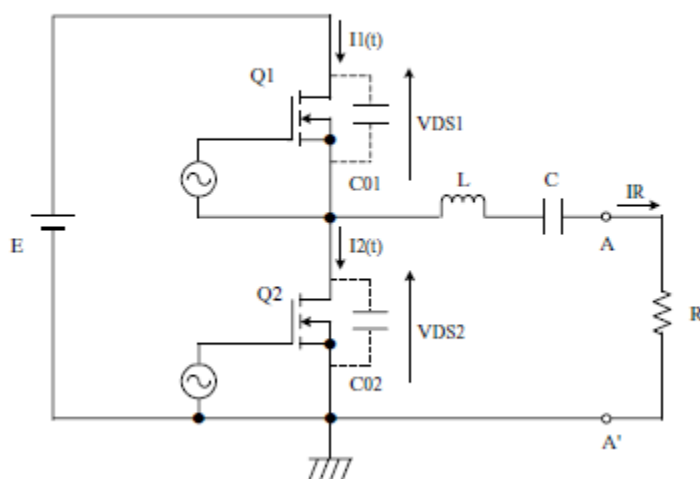
Lighting Company

1048, Kadoma, Osaka 571-8686, Japan

Στην δημοσίευση αυτή οι μηχανικοί ξεκινούν λέγοντας μας πως οι λαμπτήρες φθορισμού χωρίς ηλεκτρόδια έχουν βασικά χαρακτηριστικά την εξαιρετικά μεγάλη διάρκεια ζωής καθώς και την απόκριση της γρήγορης εναλλαγής ισχύος που γίνεται χωρίς καθυστέρηση. Αυτή, συνδέεται άμεσα με το θέμα της θερμοκρασίας των ηλεκτροδίων καθώς αυτοί οι λαμπτήρες δεν έχουν ηλεκτρόδια. Αποσκοπούν λοιπόν στο χαρακτηριστικό της ταχείας απόκρισης εγκρίνοντας την διακοπτόμενη λειτουργία, πράγμα που σημαίνει ότι επαναλαμβάνονται τα «ON / OFF» του λαμπτήρα με ταχείς ρυθμούς, προκειμένου να δημιουργήσουν «dimming» στη λάμπα που λειτουργεί ομαλά μέχρι και 5 % στα 13.56MHz.

Τα αποτελέσματα λοιπόν έδειξαν πως, η διακοπτόμενη λειτουργία είναι απαραίτητη για το «dimming» στους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής χρησιμοποιώντας

ενισχυτή κλάσης D στα 13.56 MHz (ISM band). Σε αυτή την περίπτωση, ο σχεδιασμός της τάσεως του ανοικτού κυκλώματος για την τροφοδοσία και η μέθοδος για να σταματήσει η λειτουργία του ενισχυτή με την χρήση ενός μετασχηματιστή στην κατάσταση «OFF» της διακοπτόμενης λειτουργίας, επηρεάζουν σημαντικά τη σταθερότητα ολόκληρης της λειτουργικής διαδικασίας. Επίσης, δίνονται τα χαρακτηριστικά εκκίνησης στη λειτουργία «dimming». Ως εκ τούτου, από την προτεινόμενη τεχνολογία «dimming», έχουμε σοβαρές ενδείξεις, μεγάλης εξοικονόμησης ενέργειας, χρησιμοποιώντας τις λάμπες μαγνητικής επαγωγής. Το κυκλωματικό διάγραμμα του προτεινόμενου ενισχυτή φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.7.1: Κυκλωματικό Διάγραμμα Προτεινόμενης Τοπολογίας [7]

[8] Analysis of losses in the core of an electrodeless fluorescent lamp

M. F. da Silva, M. E. Schlittler, J. Fray tag, N. B. Chagas, A. R. Seidel and
R. N. do Prado, IEEE Member

Federal University of Santa Maria - UFSM

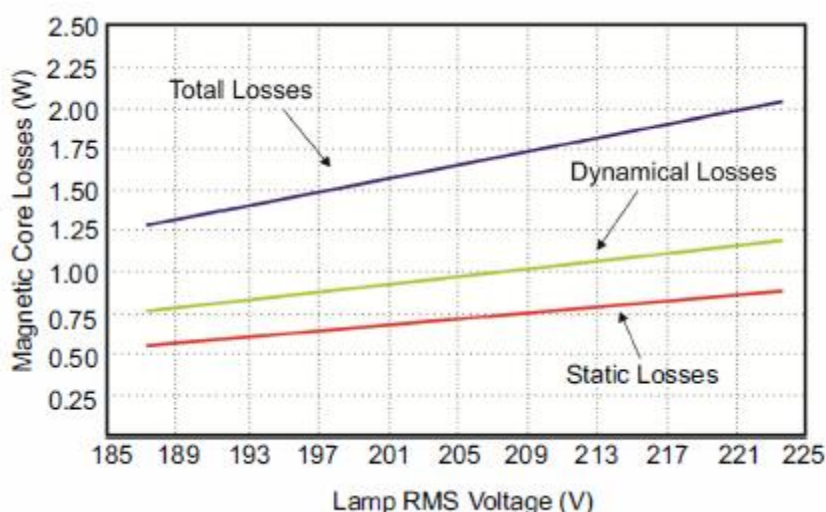
Av. Roraima, 1000, Santa Maria, RS, Brazil

Group of Intelligence in Lighting - GEDRE - GSEC

Η δημοσίευση αυτή πραγματεύεται τη διερεύνηση των μαγνητικών απωλειών στον πυρήνα ενός λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής. Οι απώλειες αυτές κατά τα λεγόμενα

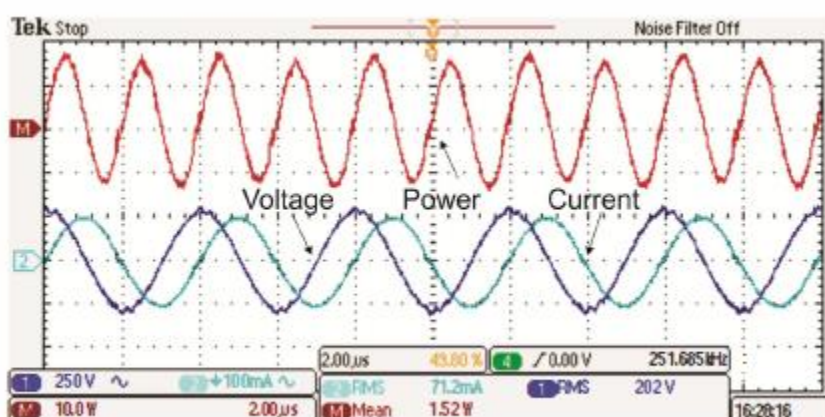
του συγγραφέα μπορούν να χωριστούν σε δύο διαφορετικά είδη: Πρώτον τις στατικές απώλειες με τις οποίες σχετίζονται τα φαινόμενα υστέρησης, και δεύτερον τις δυναμικές, οι οποίες σχετίζονται με τα παρασιτικά φαινόμενα. Για τα πειράματα της δημοσίευσης αξίζει να σημειωθεί πως χρησιμοποιήθηκε λαμπτήρας OSRAM ENDURA 100 W.

Εν κατακλείδι, ο συγγραφέας δίνει πληροφορίες που καθορίζουν πόση ενέργεια καταναλώνεται στο πλάσμα ενός λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής και πόση χάνεται στους πυρήνες. Η συμπεριφορά των απωλειών του πυρήνα, όταν υπόκεινται σε διαφορετικά μεγέθη της τάσης φαίνονται καθ' όλη την διάρκεια των πειραμάτων, καθώς και από τις εξισώσεις που παρουσιάζονται στο παρόν έγγραφο. Οι στατικές και οι δυναμικές απώλειες παρουσιάζονται χωριστά. Οι συνολικές απώλειες στους μαγνητικούς πυρήνες προκύπτουν από το άθροισμα των στατικών και δυναμικών απωλειών. Φαίνεται λοιπόν πως οι απώλειες που σχετίζονται με τον πυρήνα αυξάνονται γραμμικά με την αύξηση της τάσης στα άκρα του λαμπτήρα. Οι συνολικές απώλειες αυξήθηκαν σε ένα ποσό της τάξης των 37 mWIV. Θα πρέπει να σημειωθεί πως όλα δεδομένα ελήφθησαν σε θερμοκρασία δωματίου περίπου 25° C. Παρακάτω παρατίθεται διάγραμμα που μας δίνει τις γραφικές παραστάσεις των δυναμικών, των στατικών και των ολικών απωλειών.



Εικόνα 2.8.1: Διάγραμμα Στατικών, Δυναμικών Και Ολικών Απωλειών Στον Πυρήνα[8]

Τέλος, στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι κυματομορφές, σε ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας, του ρεύματος, της τάσης και τη ισχύος του λαμπτήρα.



Εικόνα 2.8.2: Κυματομορφές Ρεύματος Τάσης Και Ισχύος Σε Ονομαστικές Συνθήκες[8]

[9] Dimming Control Characteristics of Electrodeless Fluorescent Lamps

Tae-Eun Jang,

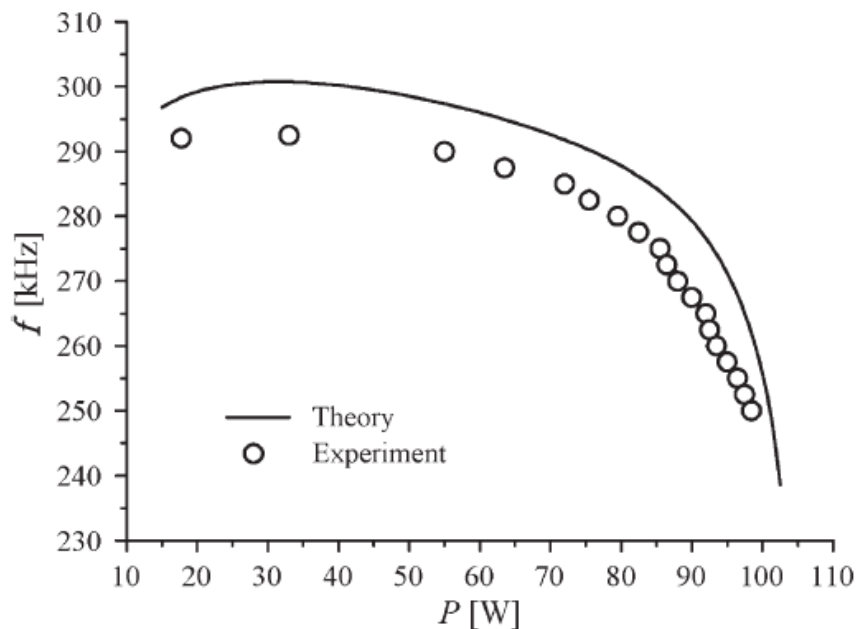
Hee-Jun Kim, *Senior Member, IEEE*,

HoonKim

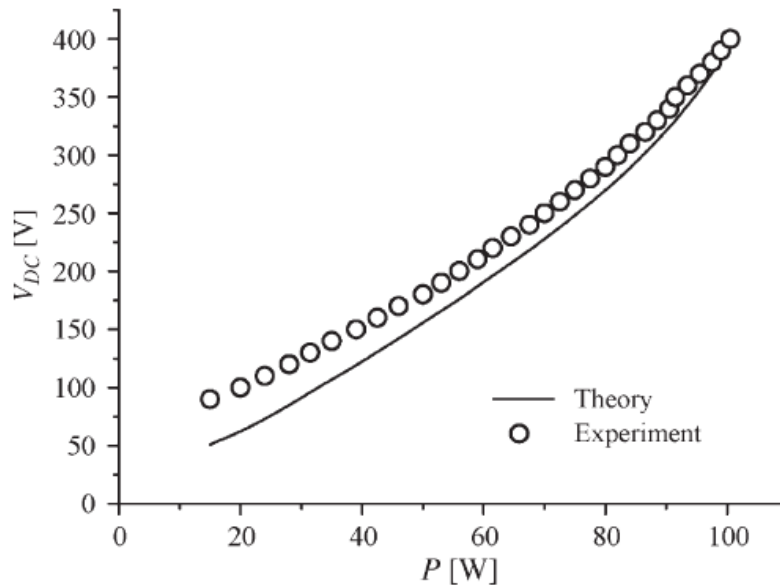
Η παρακάτω δημοσίευση μας δίνει τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας «dimming» σε λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής. Υπάρχουν δύο είδη της μεθόδου «dimming», η μέθοδος ελέγχου διαφοράς μεταβαλλόμενης συχνότητας και η μέθοδος μεταβλητού ελέγχου της τάσης «DC-link» η οποίες εφαρμόστηκαν σ' ένα μοντέλο και συγκρίθηκαν από τους συγγραφείς. Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν πως στην πρώτη μέθοδο το «dimming» είναι μη γραμμικό ενώ κατά την μέθοδο της μεταβλητής τάση «DC-link» είναι γραμμικό σε ευρεία περιοχή. Οι υποθέσεις που είχαν αρχικά διατυπωθεί, επιβεβαιώθηκαν από τα αποτελέσματα του πειράματος. Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε λαμπτήρας τύπου «100-W ENDURA».

Συμπερασματικά, το μοντέλο παρουσιάζει χαρακτηριστικά επαγωγής στην περιοχή χαμηλής ισχύος της λάμπα ενώ χαρακτηριστικά αντίστασης στην περιοχή υψηλής ισχύος. Στο πείραμα, η μέθοδος ελέγχου διαφοράς μεταβαλλόμενης συχνότητας

έδειξε ότι η ευαισθησία ελέγχου της λάμπας μειώνεται απότομα σε περιοχές χαμηλής ισχύος. Έτσι, αυτή η μέθοδος απαιτεί έναν περίπλοκο μηχανισμό ελέγχου ώστε να είναι σε θέση να πραγματοποιήσει την γραμμική εξασθένιση στη λειτουργία του λαμπτήρα. Αντίθετα η μέθοδος μεταβλητού ελέγχου της τάσης «DC-link» έδειξε ότι τα χαρακτηριστικά του «dimming» είναι γραμμικά ανάλογα της «DC-link» τάσης, και η ευαισθησία του ελέγχου του είναι χαμηλή της τάξεως του 0.5 σε μεγάλο εύρος ισχύος του λαμπτήρα. Οπότε, η μέθοδος μεταβλητού ελέγχου της τάσης είναι καταλληλότερη κατά τους συγγραφείς. Στις παρακάτω, δυο, εικόνες φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις της μεθόδου ελέγχου διαφοράς μεταβαλλόμενης συχνότητας και της μεθόδου μεταβλητού ελέγχου της τάσης «DC-link», αντίστοιχα.



Εικόνα 2.9.1: Γραφική Παράσταση Μεθόδου Ελέγχου Διαφοράς Μεταβαλλόμενης Συχνότητας [9]



Εικόνα 2.9.1: Γραφική Παράσταση Μεθόδου Μεταβλητού Ελέγχου Της Τάσης «DC-link», [9]

[10] Electric Equivalent Model for Induction Electrodeless Fluorescent Lamps

M. F. da Silva, N. B. Chagas,

M. E. Schlittler, J. Fraytag,

T. B. Marchesan, Member, IEEE,

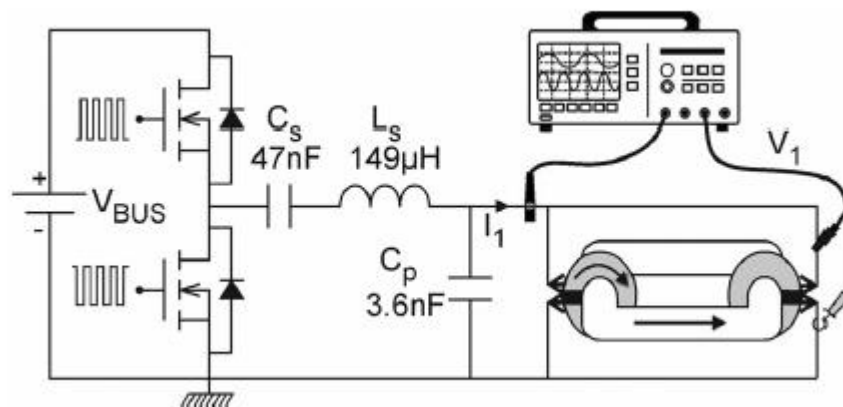
F. E. Bisogno,

J. Marcos Alonso, Senior Member, IEEE

R. N. do Prado, Member, IEEE

Η δημοσίευση αυτή παρουσιάζει ένα μοντέλο, με βάση τα παθητικά στοιχεία που προσομοιώνει έναν λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής. Το μοντέλο αυτό λαμβάνει υπόψη την πραγματική και την άεργο ισχύ του λαμπτήρα. Από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας που προτείνουν οι συγγραφείς είναι οι απώλειες στον πυρήνα και τα χαρακτηριστικά αντίδρασης του λαμπτήρα. Οι περιελίξεις του λαμπτήρα διαμορφώνονται ως αντίσταση ή αντίδραση ανάλογα με την ισχύ του. Το προτεινόμενο μοντέλο παρουσιάζει εξαιρετική ομοιότητα με τα πειραματικά αποτελέσματα.

Τελικά, τα αποτελέσματα των πειραμάτων έδειξαν στους συγγραφείς πως το μοντέλο προβλέπει εξαιρετικά τη λειτουργική συμπεριφορά του λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής σε σταθερή κατάσταση. Το προτεινόμενο μοντέλο δεν αντιπροσωπεύει τη δυναμική συμπεριφορά του λαμπτήρα. Η ακρίβεια του επιτυγχάνεται, καθώς αυτό δεν λαμβάνει υπ' όψιν μόνο τις διαφορές στην αντίσταση του πλάσματος, αλλά και τις διακυμάνσεις της αντίδρασης, καθώς και τις απώλειες στον πυρήνα. Οι κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος έδειξαν παρόμοια χαρακτηριστικά στην προσομοίωση του μοντέλου με τα πειραματικά αποτελέσματα. Έτσι, η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι εφαρμόσιμη στο μοντέλο του λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής, θεωρώντας σύζευξη με συντελεστή ισχύος κοντά στη μονάδα και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και σε διαφορετικές συχνότητες. Το πρωτότυπο σχηματικό διάγραμμα της συνδεσμολογίας για την πειραματική διαδικασία, φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.10.1: Πρωτότυπο Για Την Λήψη Πειραματικών Αποτελεσμάτων [10]

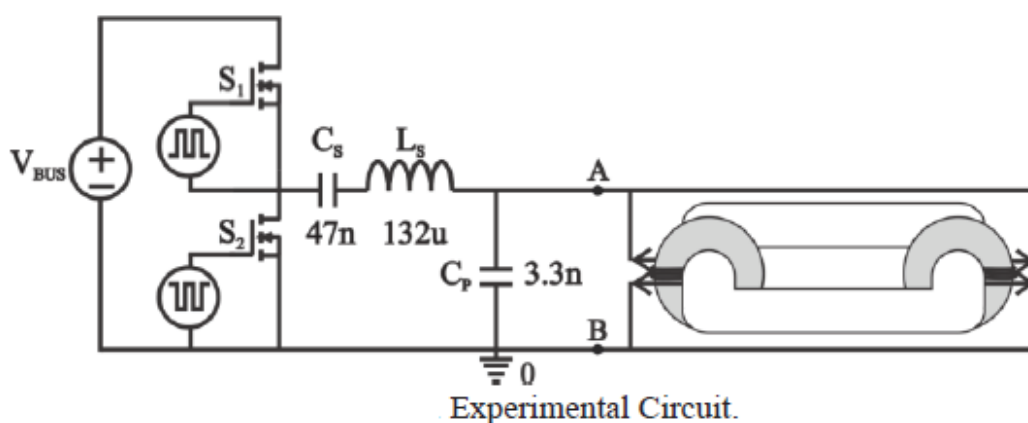
[11] Electrodeless Fluorescent Lamps Model Operated at High Frequency

N. B. Chagas, M. F. da Silva, M. E. Schlittler, J. Fraytag, R. N. do Prado and F. E. Bisogno

Federal University of Santa Maria – UFSM – Brazil

Group of Intelligence in Lighting – GEDRE

Στη δημοσίευση αυτή παρουσιάζεται ένα μοντέλο για την προσομοίωση ενός λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής το οποίο περιέχει ισοδύναμες μεταβλητές για το πηνίο και την αντίσταση. Παρουσιάζεται λοιπόν ο λαμπτήρας κατά το πρωτεύων του μετασχηματιστή με ισοδύναμη αντίσταση παράλληλα σε μία ισοδύναμη αυτεπαγωγή. Ο λαμπτήρας επαγωγής μπορεί να παρουσιαστεί με έναν ισοδύναμο επαγωγέα παράλληλα με μια ισοδύναμη αντίσταση. Το μοντέλο προσομοιώθηκε σε λογισμικό «OrCAD / Pspice» για να επαληθευθεί η εφικτότητα και η ακρίβεια του. Επίσης το μοντέλο αυτό ισχύει μόνο για λάμπα επαγωγής με εξωτερικά πηνία και όχι για τους λαμπτήρες με εσωτερικούς επαγωγούς. Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα του πειραματικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε.



Εικόνα 2.11.1: Πειραματικό Κυκλωματικό Διάγραμμα [11]

Τελικά, όπως συμπεραίνεται από τους συγγραφείς, μετά το πειραματικό μέρος της δημοσίευσης το μοντέλο δίνει καλά πειραματικά αποτελέσματα σε σταθερή κατάσταση λειτουργίας του λαμπτήρα. Το μοντέλο προσομοιώνει τη στατική συμπεριφορά του λαμπτήρα, τόσο στην κατάσταση ονομαστικής λειτουργίας όσο και υπό συνθήκες «dimming», με ακρίβεια, αφού λαμβάνει υπ' όψιν όχι μόνο το μοντέλο της αντίστασης, αλλά χρησιμοποιεί και μια μεταβλητή αυτεπαγωγή για την προσομοίωση της αντίστασης του λαμπτήρα ώστε να γίνεται πιο επαγωγική, καθώς η ισχύς του λαμπτήρα ελαττώνεται.

[12] Low power 60 kHz Electrodeless Fluorescent Lamp For Indoor Use

Chang-Shien Lin

IEEE Taipei Section

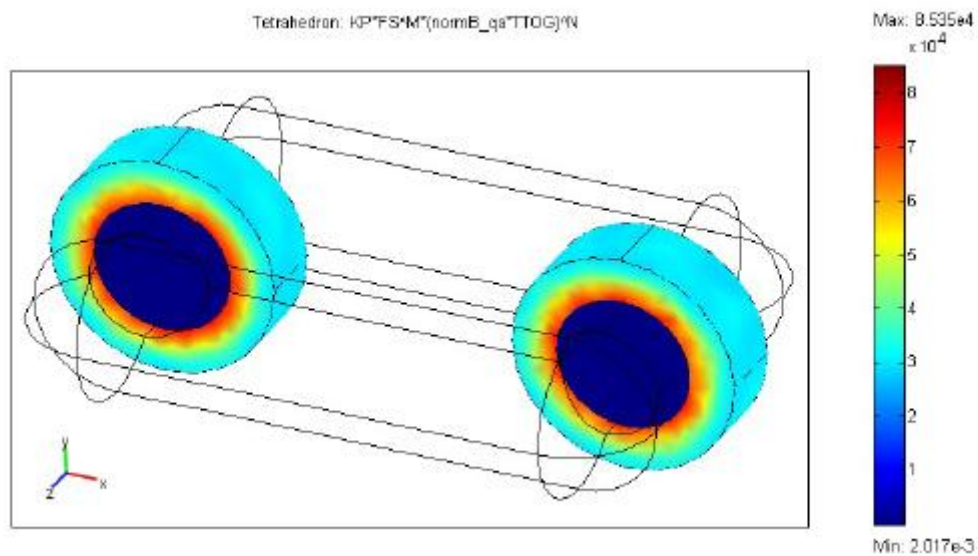
Taipei, Taiwan

Στη δημοσίευση αυτή ο μηχανικός κάνει σύγκριση της αποτελεσματικότητας και των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (EMI) μεταξύ δυο διαφορετικών λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής. Ο ένας είναι ο κλασσικός λαμπτήρας των 210 kHz και αυτός που εκείνος προτείνει και παρουσιάζει είναι στα 60 kHz. Βασιζόμενος σ' αυτή του την έρευνα κατέληξε στις εξισώσεις για χαμηλές συχνότητες λειτουργίας. Όπως προκύπτει, η μείωση των απωλειών του τοροϊδούς στον πυρήνα (οι οποίες συγκεντρώνονται μόνο στην εσωτερική του πλευρά) επιτυγχάνεται μόνο με λάμπες μαγνητικής επαγωγής χαμηλής ισχύος οι οποίες είναι κατάλληλες για χαμηλή συχνότητα λειτουργίας. Η βέλτιστη συχνότητα είναι περίπου στα 50kHz με 70 kHz. Έτσι ο συγγραφέας παρουσιάζει έναν πειραματικό λαμπτήρα στα 40W. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το επίπεδο EMI αλλά και η αποτελεσματικότητα του λαμπτήρα των 60 kHz είναι καλύτερα από αυτά του κλασσικού λαμπτήρα των 210 kHz. Η παρακάτω εικόνα περιέχει τους δυο αυτούς λαμπτήρες. Προφανώς ο μικρότερος σε μέγεθος είναι ο πειραματικός.



Εικόνα 2.12.1: Λαμπτήρες Μαγνητικής Επαγωγής 40 W Και 100 W [12]

Εν κατακλείδι, κατά τον συγγραφέα μπορούμε εύκολα να σχεδιάσουμε ένα φίλτρο για χαμηλότερες συχνότητες λειτουργίας κατά τα πρότυπα χρήσης σε εσωτερικούς χώρους . Επιπλέον, από τις δοκιμές προκύπτει πως οι λαμπτήρες των 60 kHz μοιάζουν πολύ με τους ευθύγραμμους λαμπτήρες φθορισμού με ηλεκτρόδια. Οι λαμπτήρες των 60 kHz είναι προφανώς κατάλληλοι μόνο για εσωτερική χρήση ενώ αυτοί των 210 kHz μόνο για εξωτερική. Οι λαμπτήρες χαμηλής ισχύος λειτουργούν με περίπου τις ίδιες συχνότητες όπως και οι παραδοσιακοί λαμπτήρες φθορισμού. Έτσι, είναι εύκολη η χρήση χαμηλής συχνότητας, πράγμα που απλοποιεί το σχεδιασμό και επίσης μειώνει το κόστος τους. Μπορούν λοιπόν να αντικαταστήσουν τους γραμμικούς λαμπτήρες φθορισμού άμεσα αφού μπορούν να χρησιμοποιήσουν το ίδιο σύστημα εκκίνησης με αυτούς. Τέλος, στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα τρισδιάστατο διάγραμμα των απωλειών του πυρήνα του λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής.



Εικόνα 2.12.2: Τρισδιάστατο Διάγραμμα Των Απωλειών Του Πυρήνα Του Λαμπτήρα Μαγνητικής Επαγωγής [12]

[13] Mathematical Modeling and Optimization of The Electrodeless, Low-Pressure, Discharge System

Louis R. Nerone

General Electric Lighting

Nela Park

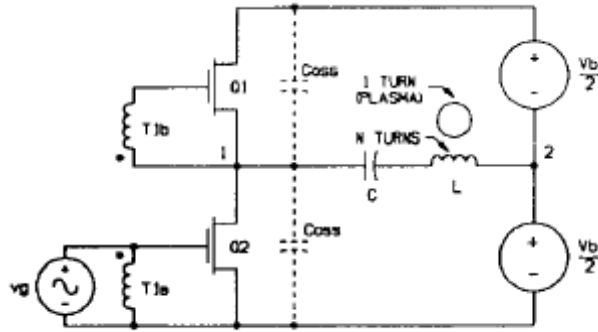
A. Haq Qureshi

Fenn College of Electrical Engineering

Cleveland State University

Στην παρακάτω δημοσίευση παρουσιάζεται ένα μαθηματικό μοντέλο ενός λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής με πηνίο διέγερσης και μετατροπέα μηδενικής τάσης. Διερευνάται έτσι η συμπεριφορά του συστήματος εφαρμόζοντας μετατροπές στην ισχύ σε υψηλή συχνότητα έχοντας ως απώτερο στόχο την ελαχιστοποίηση των απωλειών ισχύος του συστήματος. Οι λαμπτήρες αυτοί όπως αναφέρουν οι συγγραφείς προσφέρουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από ότι τα συμβατικά συστήματα φωτισμού, αλλά απαιτούν ένα μετατροπέα ισχύος «RF».

Τελικά, μια πρώτη προσέγγιση της σύνθετης αντίστασης του πλάσματος προέρχεται από τις αρχές, με αποτέλεσμα τις εξισώσεις για την αντίσταση τόξου. Για την μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας του μετατροπέα «ZVS», που λειτουργεί στην περιοχή των MHz χρησιμοποιήθηκε ένα ισοδύναμο κύκλωμα για το πηνίο του πλάσματος. Η αγωγιμότητα του πλάσματος είναι στην περιοχή των 300 S/m έως 500 S/m. Το πλάσμα δεν παρουσιάζει επιδερμικό φαινόμενο, ακόμη και στα 2.6MHz, λόγω της μάλλον χαμηλής του αγωγιμότητας. Χρησιμοποιώντας τη κυματική εξίσωση για τον καθορισμό της εσωτερικής αντίστασης του τόξου, λένε, πως εξακολουθεί να δίνει πολύ καλή προσέγγιση. Κατά τους συγγραφείς, γνωρίζοντας τις διαστάσεις του λαμπτήρα, μπορούμε να υπολογίσουμε χωρίς απόλυτη ακρίβεια την εσωτερική και την εξωτερική ακτίνα του τόξου που μας δίνουν την σύνθετη αντίσταση τόξου. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το διάγραμμα της τοπολογίας που αναφέρθηκε.



Εικόνα 2.13.1: Κυκλωματικό Διάγραμμα Τοπολογίας [13]

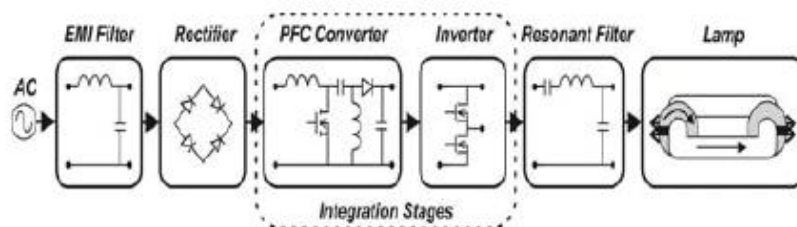
[14] Single-Stage High-Power-Factor Dimmable Lighting System for Electrodeless Fluorescent Lamp

M. F. da Silva, J. Fraytag, N. B. Chagas, M. E. Schlittler, M. A. Dalla Costa, Rafael A. Pinto, A. R. Seidel and R. N. do Prado, *Member, IEEE*

Federal University of Santa Maria – UFSM – Brazil

Electrical and Computational Systems Research and Development Group – GSEC Group of Intelligence in Lighting – GEDRE

Στο άρθρο αυτό, κατά τους συγγραφείς, η μέθοδος «dimming» επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση στην τροφοδοσία ενός «inverter-SEPIC» με έναν «Half-Bridge asymmetric LCC resonant inverter» ο οποίος μπορεί να ρυθμίσει αποτελεσματικά την ισχύ του λαμπτήρα. Η υλοποίηση αυτής της μεθοδολογίας πειραματικά παρουσίασε συντελεστή ισχύος περίπου 99,5 %, συνολική τρέχουσα αρμονική παραμόρφωση 9,61 % και απόδοση 86 %. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η διάταξη που προτείνεται.



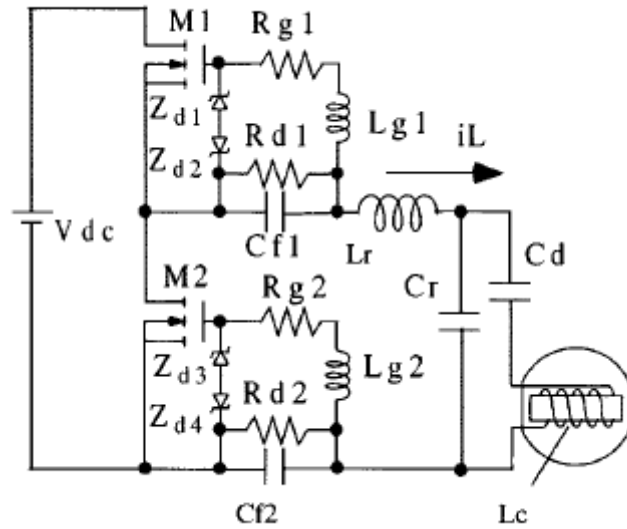
Εικόνα 2.14.1: Σχηματικό Διάγραμμα Ηλεκτρονικής Τροφοδοσίας Με Υψηλό Συντελεστή Ισχύος [14]

Στην δημοσίευση αναφέρεται πως, η ισχύς του λαμπτήρα ελέγχεται αποτελεσματικά από τον διακόπτη «duty cycle». Ο «inverter» λειτουργεί σε ασύμμετρη διαμόρφωση πλάτους-παλμού για να δώσει ένα ευρύ φάσμα στο «dimming». Σημαντικό να αναφερθεί είναι πως στη μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιείται μειωμένος αριθμός ελεγχόμενων διακοπών και κυκλωμάτων ελέγχου. Απαραίτητος εδώ είναι ένας αρκετά ισχυρός διακόπτης, καθώς υποβάλλεται σε υψηλές εντάσεις ρεύματος και υψηλές τάσεις.

[15] High-Frequency Class-D Converter Driving with Feedback Capacitors for Electrodeless Fluorescent Lamps

Hideki Miyazaki, Hiroyuki Shoji, and Yuuichi Namura

Αυτή η εργασία παρουσιάζει μια νέα κατηγορία μετατροπέα τύπου «D» για λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής (EFL) που λειτουργεί σε συχνότητες της τάξεως των MHz. Ο προτεινόμενος από τους μηχανικούς μετατροπέας είναι αυτο-ταλαντούμενου τύπου και χρησιμοποιεί τους πυκνωτές τροφοδοσίας για να παρέχει τάση στην πύλη των συσκευών μέσω ενός αντιστροφέα. Ο μετατροπέας είναι κατάλληλος όχι μόνο για συμβατικούς λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής αλλά και για λαμπτήρες τύπου «choke-coil-less». Έτσι, στην πειραματική διαδικασία ο μετατροπέας δοκιμάζεται και στους δυο αυτούς τύπους λαμπτήρων και στο τέλος γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων. Η συχνότητα ταλάντωσης αλλάζει ανάλογα με τις DC τάσεις, ιδιαίτερα σε λαμπτήρες τύπου «choke-coil-less». Προκειμένου να σταθεροποιήσει τον συντελεστή ισχύος, τα κυκλώματα πύλης αντισταθμίζουν τόσο το διάστημα «off» στις συσκευές μεταγωγής όσο και την γωνία φάσης. Παρακάτω φαίνεται το κύκλωμα του προτεινόμενου μετατροπέα.



Εικόνα 2.15.1: Κυκλωματικό Διάγραμμα Προτεινόμενου Μετατροπέα [15]

Συμπερασματικά, κατά τους συγγραφείς, ο μετατροπέας έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα τόσο στο διάστημα «off» των συσκευών μεταγωγής όσο και στην γωνία φάσης διατηρώντας έτσι την ισχύ εισόδου του λαμπτήρα υπό μεταβαλλόμενη τάση (V_{dc}). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, παρά τις αλλαγές στην τάση συνεχούς ρεύματος, ο λαμπτήρας λειτουργεί σταθερά και η θερμοκρασία του MOSFET δεν ξεπέρασε τους $55^{\circ} C$ και στις δυο περιπτώσεις. Το πρόβλημα στους λαμπτήρες τύπου «choke-coil-less» ήταν η μείωση του ρεύματος μετατόπισης. Ωστόσο, αυτό βελτιώνεται όπως λένε με ένα παράλληλο φίλτρο «L-C» συνδεδεμένο σε σειρά με το πηνίο του λαμπτήρα οπότε, το ρεύμα μετατόπισης περιορίζεται από την αυτεπαγωγή του φίλτρου.

[16] Ferrite-free high power electrodeless fluorescent lamp operated at a frequency of 160–1000 kHz

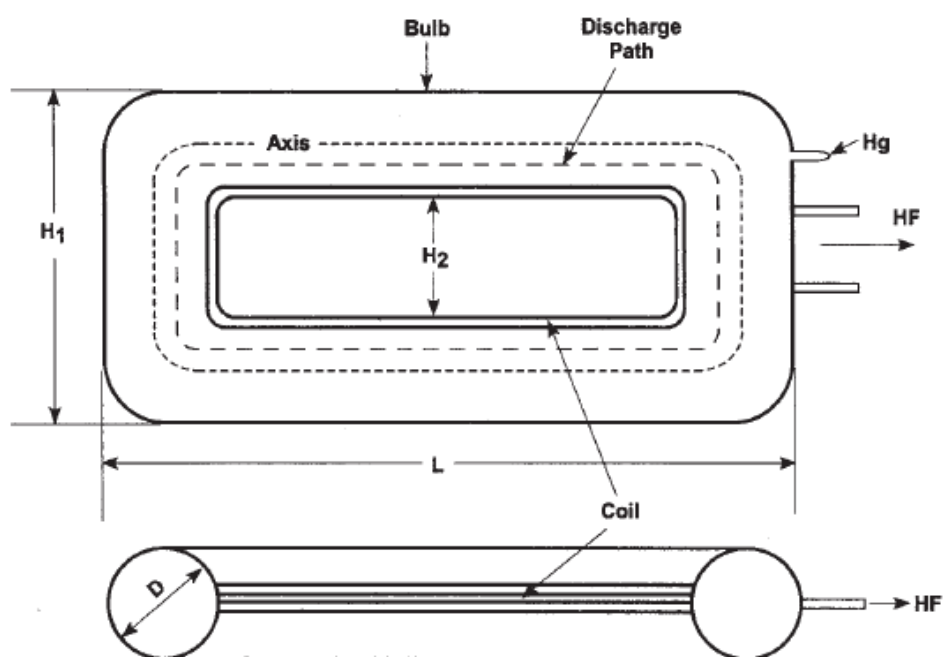
Oleg A Popov and Robert Chandler

Matsushita Electric Works R & D Laboratory, 216 West Cummings Park,
Woburn,

MA 01801, USA

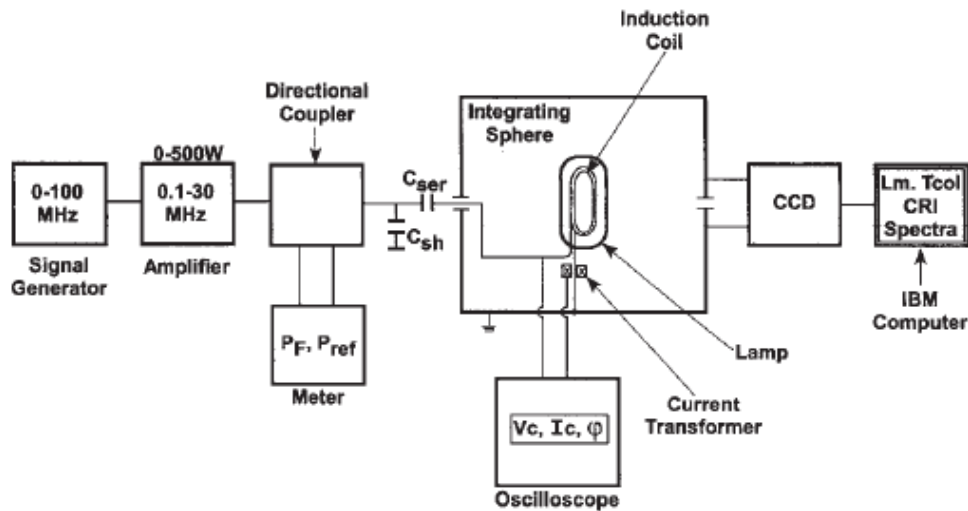
Στην δημοσίευση αυτή παρουσιάζεται ένας λαμπτήρας μαγνητικής επαγωγής χωρίς φερρίτη «ferrite free» τύπου κλειστού βρόχου (tokamak) ο οποίος μελετήθηκε σε

συχνότητα οδήγησης $f = 160-1000$ kHz, και ισχύ από 100 W έως 250 W. Η επαγωγική εκκένωση πυροδοτήθηκε στο εσωτερικό του πλάσματος στο μίγμα υδραργύρου-αργού με τη βοήθεια ενός επαγωγικού πηνίου αρκετών περιελίξεων (7-15). Οι παράμετροι της εκκένωσης υπολογίστηκαν με τη χρήση ενός μοντέλου μετασχηματιστή επαγωγικής εκκένωσης «RF». Οι παράμετροι είναι πολύ κοντά σε αυτές που μετρούνται στο πλάσμα ενός λαμπτήρα τύπου «tokamak» ο οποίος λειτουργεί στην ίδια συχνότητα και ισχύ, αλλά με τη χρήση των πυρήνων φερρίτη. Οι λάμπες «ferrite free» έχουν υψηλή φωτεινή απόδοση περίπου 85lm/W σε συχνότητα μεγαλύτερη των 200 kHz, και ισχύ 100 W έως 200 W. Αυτή αποδίδεται στις χαμηλές απώλειες ισχύος του πηνίου και ως εκ τούτου, στην υψηλή ισχύ της λάμπας με αποδοτικότητα μεγαλύτερη του 90 %. Το σχηματικό διάγραμμα του προτεινόμενου μοντέλου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.16.1: Σχηματικό Διάγραμμα Του Προτεινόμενου Λαμπτήρα [16]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα της πειραματικής διάταξης.



Εικόνα 2.16.2: Σχηματικό Διάγραμμα Πειραματικής Διάταξης [16]

Συμπερασματικά, οι συγγραφείς αναφέρουν πως οι απώλειες ισχύος του πηνίου του λαμπτήρα μειώνονται με την αύξηση της συχνότητας οδήγησης καθώς και η ισχύς που απορροφάται από το πλάσμα. Η εξοικονόμηση ενέργειας του λαμπτήρα ήταν υψηλότερη από 95 % σε συχνότητα μεγαλύτερη από 300 kHz και ισχύ μεγαλύτερη των 200W. Επίσης, η φωτεινή απόδοση του λαμπτήρα ήταν από 83Lm/W έως 85Lm/W σε συχνότητα μεγαλύτερη των 300 kHz και ισχύ 150W. Ευρέθη ότι η απόδοση μεγαλώνει όσο αυξάνεται η συχνότητα οδήγησης κυρίως λόγω της μείωσης των απωλειών ισχύος του πηνίου. Ακόμα, το πηνίο έναυσης και η διατήρηση των τάσεων δεν εξαρτάται από την συχνότητα ενώ το πηνίο ρεύματος μειώνεται με την αύξηση της. Τέλος, το υπολογιζόμενο ωφέλιμο ηλεκτρικό πεδίο του πλάσματος δεν εξαρτάται της συχνότητας οδήγησης, αλλά μειώνεται αργά λόγω της ισχύος του λαμπτήρα. Η αντίσταση του πλάσματος και το ρεύμα δεν έχουν εξάρτηση λόγω της συχνότητας οδήγησης και ήταν πολύ κοντά στα δεδομένα που μετρήθηκαν στην επαγωγική εκκένωση του λαμπτήρα κλειστού βρόχου με φερρίτη στον πυρήνα.

[17] A new approach to the evaluation of the discharge parameters of the electrodeless fluorescent lamps

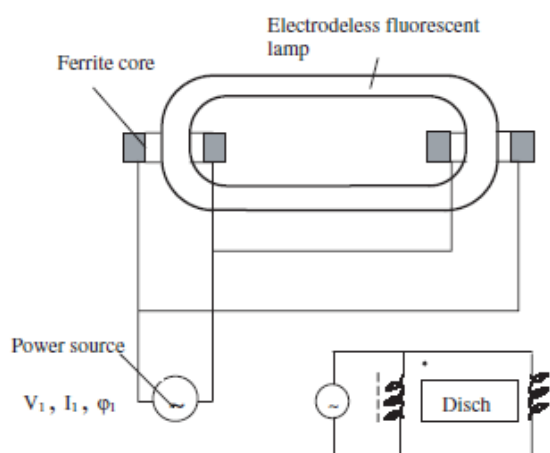
Eugen Statnic

OSRAM, Munich, Germany

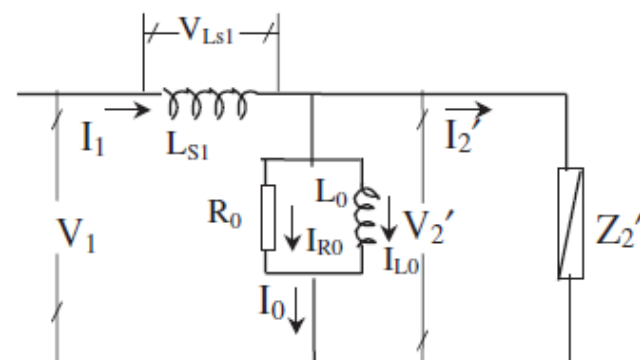
Valentin Tanach

VOG Telectronic, Erlau, Germany

Στην παρακάτω δημοσίευση παρουσιάζεται ένα νέο μοντέλο για το χαρακτηρισμό και την ποσοτικοποίηση των «απρόσιτων», όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο συγγραφέας, παραμέτρων στον κλειστό σωλήνα υψηλής ισχύος των λαμπτήρων φθορισμού μαγνητικής επαγωγής. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν κατά την εφαρμογή του μοντέλου συμφωνούν σε όλα τα επίπεδα λειτουργίας του λαμπτήρα. Απροσδόκητη ήταν η χωρητική συμπεριφορά του επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος σε χαμηλότερες ισχύς. Η μέθοδος έρευνας είναι κατάλληλη για την βελτιστοποίηση λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής υψηλής ισχύος με μεγάλη διάρκεια εκκένωσης λειτουργώντας σε χαμηλές συχνότητες, βελτιώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα και τη σταθερότητα του συστήματος. Παρακάτω φαίνεται το σχηματικό και κυκλωματικό διάγραμμα του εν λόγω λαμπτήρα.



Εικόνα 2.17.1: Σχηματικό Διάγραμμα Λαμπτήρα [17]



Εικόνα 2.17.2: Κυκλωματικό Διάγραμμα Λαμπτήρα [17]

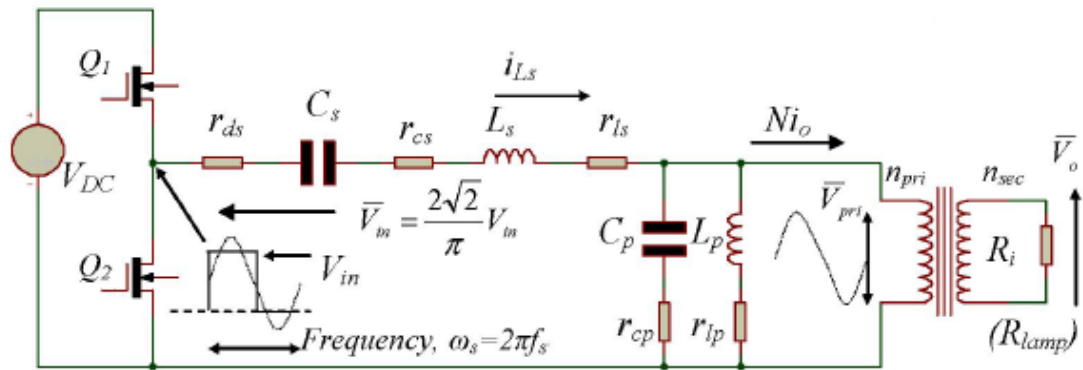
Εν κατακλείδι, οι συγγραφείς λένε πως το μοντέλο που περιγράφεται σε αυτή την εργασία προσφέρει τη δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων της εφαρμογής του που προκύπτουν από τις άμεσες μετρήσεις στο πρωτεύον κύκλωμα. Η εξαιρετική συμφωνία μεταξύ των τιμών της ισοδύναμης αντίστασης και αντίδρασης επιβεβαιώνει την εγκυρότητα του. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε δείχνει ότι υπό τις συνθήκες «dimming», δηλαδή με μείωση της ισχύος του λαμπτήρα από την ονομαστική τιμή σε πολύ χαμηλές τιμές, η αντιδραστική συνιστώσα της εκκένωσης μετατρέπεται σταδιακά από ελαφρώς επαγωγική σε χωρητική. Τέλος, οι λάμπες με αρκετά σφαιρικό σωλήνα εκκένωσης, με το πηνίο επαγωγής τοποθετημένο στο κέντρο του τοροϊδούς, έχουν σημαντικά μειωμένο παράγοντα σύζευξης μεταξύ του πηνίου και της εκκένωσης, διότι μόνο ένα μέρος του μαγνητικού πεδίου που παράγεται από το πηνίο περιβάλλει την εκκένωση.

[18] Rapid Analysis & Design Methodologies of High-Frequency LCLC Resonant Inverter as Electrodeless Fluorescent Lamp Ballast

Yong-Ann Ang, David Stone, Chris Bingham, Martin Foster

Dept of Electronic Engineering, University of Sheffield, Mappin Street, Sheffield

Η δημοσίευση παρουσιάζει τρόπους για την ανάλυση των «LCLC» μετατροπέων συντονισμού ισχύος, που λειτουργούν στα 2.63MHz και στην τροφοδοσία των λαμπτήρων φθορισμού μαγνητικής επαγωγής, όπου οι υψηλές συχνότητες λειτουργίας διευκολύνουν την απαλλαγή από τον πυκνωτή στον σωλήνα. Έτσι, η λειτουργία συντονισμού έχει υψηλή ποιότητα φορτίου και δίνει έτσι, υψηλή απόδοση στον λαμπτήρα. Περιγράφονται, από τους συγγραφείς, οι δυναμικές μεταβολές κατάστασης του μετατροπέα για να προσδιοριστεί η κυκλική συμπεριφορά της τροφοδοσίας κατά την σταθερή-κατάσταση στην ονομαστική λειτουργία του λαμπτήρα. Επίσης, δίνονται πειραματικές μετρήσεις από ένα κύκλωμα πρωτότυπης τροφοδοσίας s' έναν λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής μήκους 60 εκατοστών, 8 W, T5. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το κυκλωματικό διάγραμμα του εν λόγω μετατροπέα.



Εικόνα 2.18.1 : Κυκλωματικό Διάγραμμα Προτεινόμενου Μετατροπέα [18]

Εν κατακλείδι, αναφέρεται πως, η ακρίβεια της προτεινόμενης τεχνικής δίνεται από τη σύγκριση της προσομοίωσης του προγράμματος «SPICE», με τις πειραματικές μετρήσεις του χωρητικά συζευγμένου λαμπτήρα φθορισμού αποδεικνύοντας πως συμφωνούν μεταξύ τους. Τονίζεται επίσης πως, ενώ οι δυναμικές μεταβολές κατάστασης του μοντέλου απαιτούν ένα γρηγορότερης υπολογιστική πολυπλοκότητας πρόγραμμα σε σχέση με το «Spice», η μέθοδος που παρουσιάζεται στην εργασία είναι κατά κύριο λόγο 10^4 γρηγορότερη.

[19] Investigation of the electrical discharge parameters in electrodeless inductive lamps with a re-entrant coupler and magnetic core

Eugen Statnic

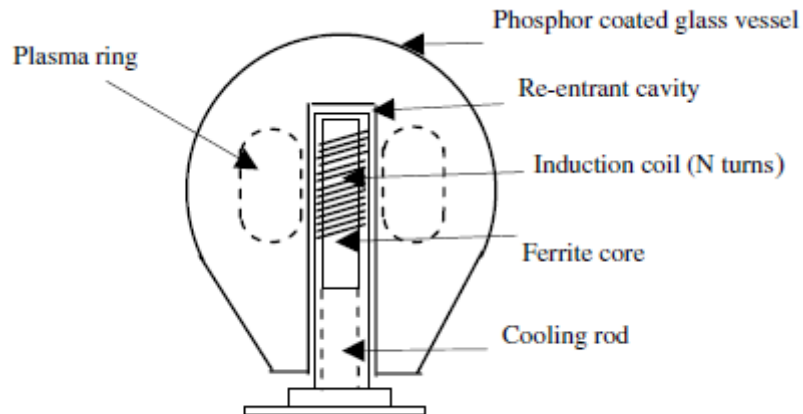
OSRAM, Munich, Germany

Valentin Tanach

VOGT Electronic, Erlau, Germany

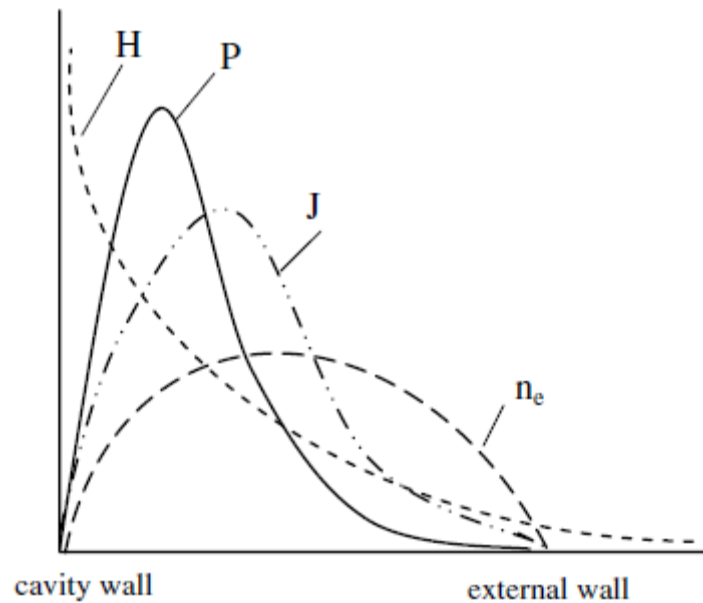
Ο συζευγμένος επαγωγικά λαμπτήρας φθορισμού μαγνητικής επαγωγής με ένα πυρήνα-πηνίο επαγωγής τοποθετείται σε μία κοιλότητα και είναι στην πραγματικότητα ένας ομοαξονικός μετασχηματιστής που λειτουργεί σε φάσμα ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ 100 kHz έως και την κλίμακα των MHz. Η δημοσίευση αυτή έχει σκοπό να βρεθεί από τους συγγραφείς ένα μοντέλο για τον προσδιορισμό του συντελεστή μαγνητικής σύζευξης «k» στο πλάσμα του λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής με βάση τις μετρούμενες πρωτοβάθμιες παραμέτρους και τελικά όλες τις

απρόσιτες μέχρι τώρα ηλεκτρικές παραμέτρους, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η ηλεκτρική εκκένωση του πλάσματος και η απόδοση του λαμπτήρα. Αναλύονται λοιπόν πειραματικά τα πολύπλοκα χαρακτηριστικά της αυτεπαγωγής του πλάσματος σε λαμπτήρα που λειτουργεί στα 2.6 MHz. Επίσης αναπτύσσονται κάποιες βασικές σχέσεις για τον έλεγχο της ορθότητας των παραμέτρων του πλάσματος. Το μοντέλο αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 2.19.1: Σχηματικό Διάγραμμα Λαμπτήρα Μαγνητικής Επαγωγής Που Προτείνεται [19]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι καμπύλες κατανομής της πυκνότητας ηλεκτρονίων (n_e), του μαγνητικό πεδίου (H), της πυκνότητας του ρεύματος (J) και της ισχύος (P), του προτεινόμενου λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής.



Εικόνα 2.19.2: Κατανομή Της Πυκνότητας Ηλεκτρονίων (n_e), Του Μαγνητικό Πεδίου (H), Της Πυκνότητα Του Ρεύματος (J) Και Της Ισχύος (P), Του Προτεινόμενου Λαμπτήρα Μαγνητικής Επαγωγής[19]

Συμπερασματικά αναφέρεται ότι ,το μοντέλο αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι ο συντελεστής «κ» θα μπορούσε να υπολογίζεται όχι μόνο βάσει των μετρούμενων κυρίων παραμέτρων, αλλά και μέσω όλων των παραμέτρων εκκένωσης για όλα τα είδη λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής αυτού του τύπου. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του μοντέλου αυτού είναι η διάκριση μεταξύ της συνολικής επαγωγής της εκκένωσης του πλάσματος με την γεωμετρική του επαγωγή, πράγμα πολύ σημαντικό, ιδιαίτερα για τις λάμπες τύπου «γλόμπου» με φερρίτη στον πυρήνα. Η συνολική αυτεπαγωγή παραμένει περίπου σταθερή με την ισχύ καθώς και οι δύο επαγωγές συνεισφέρουν ώστε να αντισταθμίζει η μια την άλλη. Η γωνία φάσης στα κύρια κυκλώματα του λαμπτήρα είναι αρκετά μεγάλη (έως 89°) άρα ο συντελεστής ισχύος του λαμπτήρα είναι πολύ κακός, ειδικά σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού κατά το «dimming». Τέλος, αναφέρεται πως το μεγάλο πλεονέκτημα του μοντέλου αυτού είναι πως πολύ εύκολα μπορούν να επαληθευθούν τα αποτελέσματά του.

[20] The preparation and operation of electrodeless discharge

Lamps - A critical review

J. P. S. HAAXSMA, G. J. DE Jam and J. AGTERDENBOS

Analytisch Chemisch Laboratorium der Rijksuniversiteit, Croesestraat 7 7A,
Utrecht, The Netherlands

Η δημοσίευση αυτή, η οποία είναι αρκετά παλαιότερη, όπως λένε οι δημιουργοί της αναθεωρεί όλα τα μέχρι τότε δεδομένα από τις βιβλιογραφίες σε σχέση με τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής. Πολλές πτυχές της προετοιμασίας αλλά και της λειτουργίας των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής παρατίθενται. Αναφέρονται επίσης στοιχεία για λαμπτήρες επαγωγής πολλαπλών στοιχείων και γίνονται συγκρίσεις με άλλες πηγές φωτός.

Προφανώς, λόγω της παλαιότητας του παρόντος εγγράφου κάποια από τα αποτελέσματα που δίνονται στο τέλος δεν ισχύουν στις μέρες μας, λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας. Κάποια από αυτά όμως ανήκουν στις αρχές λειτουργίας των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής και είναι απολύτως χρήσιμα μέχρι σήμερα.

[21] A Behavioral SPICE Compatible Model of an Electrodeless Fluorescent Lamp

Sam Ben-Yaakov, Moshe Shvartsas

Corresponding author

Power Electronics Laboratory

Department of Electrical and Computer Engineering

Ben-Gurion University of the Negev

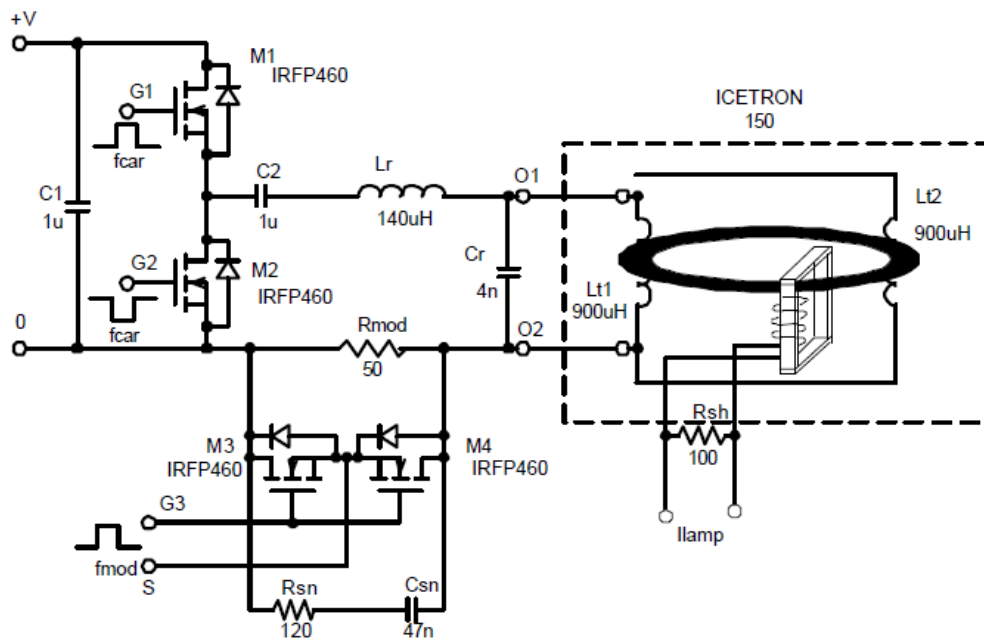
Jim Lester

Central Research & Services Laboratories

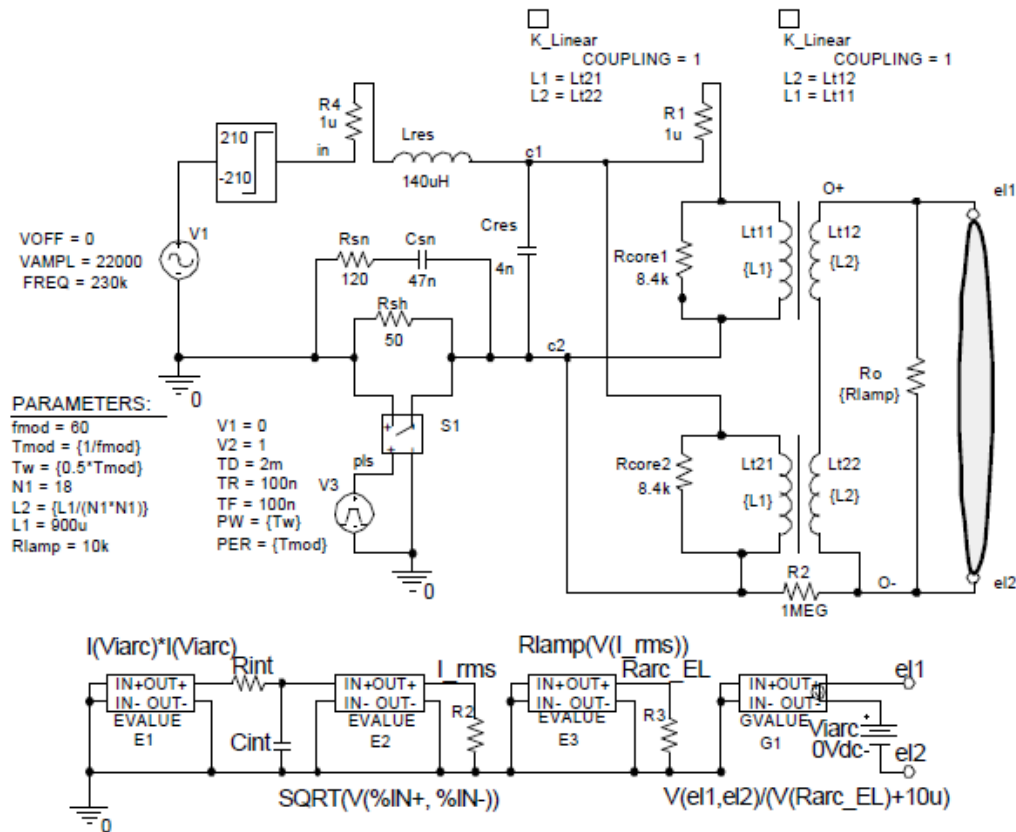
Fluorescent Systems Laboratory

Η δημοσίευση αυτή παρουσιάζει ένα υπολογιστικό μοντέλο, τύπου «SPICE», που αναπτύχθηκε για την προσομοίωση ενός λαμπτήρα φθορισμού μαγνητικής επαγωγής (OSRAM SYLVANIA ICETRON / ENDURA 150 W). Το μοντέλο προσομοιώνει τη στατική και δυναμική συμπεριφορά της λάμπας όταν διαρρέεται από υψηλές

συχνότητες. Ελέγχθηκε υπό διάφορες πειραματικές συνθήκες: σε σταθερή κατάσταση για διαφορετικά επίπεδα ισχύος, με δίσκο διαμόρφωσης «AM» και υπό μεταβατικές αλλαγές. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συμφωνούν κατά πολύ με τα πειραματικά αποτελέσματα. Ωστόσο, η επίδραση της θερμοκρασίας στην συμπεριφορά του λαμπτήρα απαιτεί καλύτερη εφαρμογή του μοντέλου σε περιπτώσεις μεγάλων αλλαγών στην κατάσταση λειτουργίας τις οποίες πρέπει να προσομοιώσει. Παρακάτω, φαίνεται το διάγραμμα της πειραματικής διαδικασίας που χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση της δυναμικής παραμέτρου « R_1C_1 », στην πρώτη εικόνα. Στην δεύτερη εικόνα φαίνεται το αντίστοιχο μοντέλο προσομοίωσης του λαμπτήρα.



Εικόνα 2.21.2: Κυκλωματικό Διάγραμμα Πειραματικής Διαδικασίας Για Την Εύρεση Της Δυναμικής Παραμέτρου « R_1C_1 » [21]



Εικόνα 2.21.2: Κυκλωματικό Διάγραμμα Μοντέλου Προσομοίωσης Του Λαμπτήρα

[21]

Συμπερασματικά, όπως φαίνεται από την εργασία, το μοντέλο μιμείται πιστά τη στατική και δυναμική συμπεριφορά του λαμπτήρα «ICETRON / ENDURA». Το μοντέλο προσομοιώνει αποτελεσματικά τη στατική συμπεριφορά του λαμπτήρα τόσο σε ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας όσο και σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Προσομοιώνει επίσης και την αρνητική σύνθετη αντίσταση σε χαμηλές συχνότητες διαμόρφωσης καθώς και τη θετική σύνθετη αντίσταση σε υψηλές συχνότητες διαμόρφωσης. Όπως φαίνεται, η λάμπα είναι αρκετά ευαίσθητη στην θερμοκρασία. Κατά συνέπεια, το μοντέλο προσομοίωσης που παρουσιάζεται εδώ ισχύει για την κατάσταση της θερμοκρασίας που επικρατούσε ενώ αυτό ρυθμιζόταν. Με επαναλαμβανόμενες ρυθμίσεις, σε μια σειρά από διαφορετικές θερμοκρασίες και καθιστώντας τις παραμέτρους του μοντέλου θερμοκρασιακά εξαρτώμενες, θα μπορούσε κατά τα λεγόμενα των συγγραφέων να δημιουργηθεί ένα παγκόσμιο πρότυπο που ισχύει για δεδομένο εύρος θερμοκρασιών. Τελικά, όπως αναφέρεται, το προτεινόμενο μοντέλο θα μπορούσε να είναι χρήσιμο στον

σχεδιασμό της τροφοδοσίας των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής και ειδικότερα στον σχεδιασμό του «dimming» για τέτοια συστήματα.

[22] Solid state lighting review – Potential and challenges in Europe

Aníbal De Almeida a, Bruno Santos

Department of Electrical Engineering, Polol – ISR, University of Coimbra,
3030Coimbra, Portugal

Bertol di Paolo b, Michel Quicheron

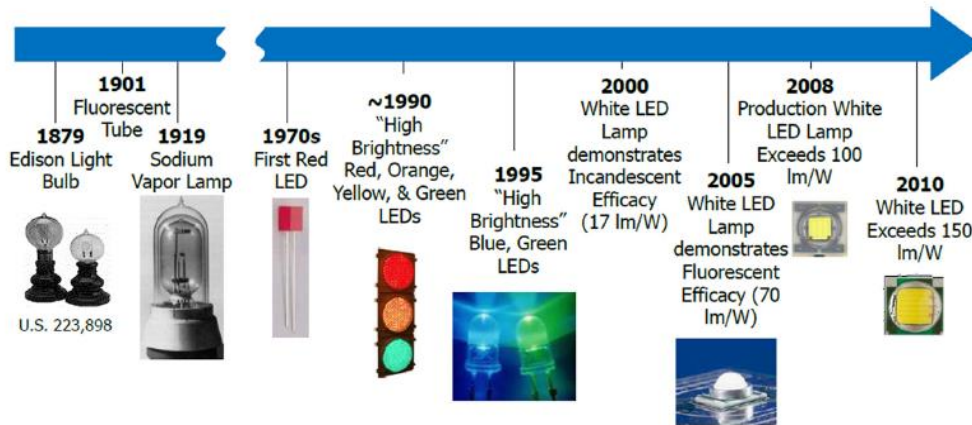
European Commission – Joint Research center, Institute for Energy
&Transport – Renewable Energy Unit, The Netherlands

Η δημοσίευση αυτή παρουσιάζει τις νέες τάσεις στον φωτισμό στερεάς κατάστασης (SSL). Γίνεται λοιπόν αναφορά, από τους συγγραφείς, στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για φωτισμό στην Ευρώπη και σε όλο τον κόσμο, στις πηγές φωτός, στην εξέλιξη της τεχνολογίας και στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των εφαρμογών για τον φωτισμό στερεάς κατάστασης. Ακόμα, αναφέρονται στην διείσδυση των LED στην Ευρώπη και τον κόσμο, στην επίδραση τους στο περιβάλλον, στις μελλοντικές τάσεις, καθώς και στις δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας στην Ευρώπη.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που αναφέρονται είναι, πρώτον το μικρό βάρος και μέγεθός τους (αλλά η ψύκτρα μπορεί να είναι υπερμεγέθης σε μοντέλα υψηλής ισχύος). Ύστερα, το προσδόκιμο μεγάλη διάρκεια ζωής, από 25.000 σε πάνω από 50.000 ώρες ζωής. Τρίτον, η στιγμιαία ενεργοποίηση χωρίς χρόνο επανενεργίας. Δεν περιλαμβάνουν υδράργυρο. Πέμπτον, η υψηλή φωτεινή τους απόδοση καθώς και οι νέες δυνατότητες σχεδιασμού που προσφέρουν. Ακόμα, η ζωντανή ποικιλία χρωμάτων, ο έλεγχος και η εύκολη ρύθμισή τους. Τέλος, δεν εκπέμπουν καθόλου ακτινοβολίες «IV» και «UV» ενώ εφαρμόζονται εύκολα στα ποδήλατα.

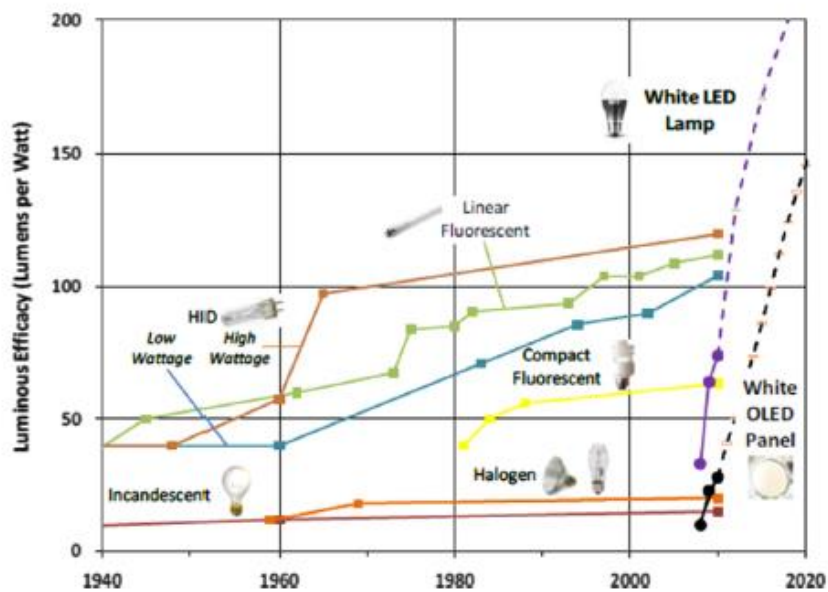
Τα μειονεκτήματα που αναφέρονται είναι η έλλειψη τυποποίησης τους, η σχετικά υψηλή τους τιμή, ο κίνδυνος αντανάκλασης, ως αποτέλεσμα του μικρού μεγέθους της λυχνίας τους και η ανάγκη τους για θερμική διαχείριση, ούτως ώστε να

αποφευχθεί η μείωση του χρόνου ζωής τους. Τέλος, ως μειονεκτήματά τους αναφέρονται, η «Μπλε ρύπανση» και η εξάρτηση από τη θερμοκρασία, καθώς το ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση των LED. Η παρακάτω εικόνα μας δίνει την εξέλιξη των φωτιστικών συστημάτων με τη πάροδο του χρόνου.



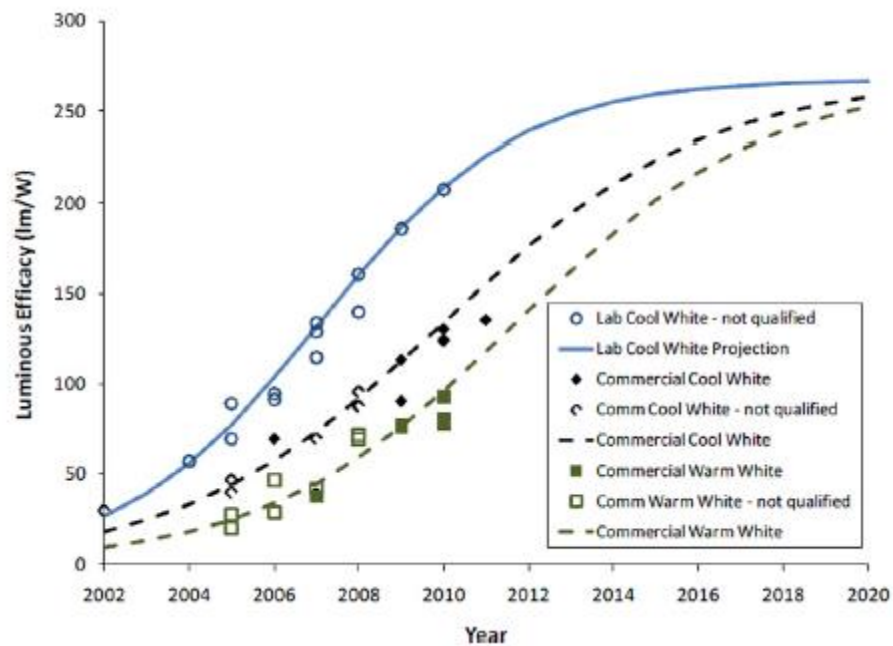
Εικόνα 2.22.1: Εξέλιξη Των Συστημάτων Φωτισμού Με Την Πάροδο Του Χρόνου [22]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα διάγραμμα με την αποδοτικότητα των φωτιστικών συστημάτων με τη πάροδο του χρόνου. Επίσης, δίνεται μια πρόβλεψη των συγγραφέων για το άμεσο μέλλον.



Εικόνα 2.22.2: Εξέλιξη Της Αποδοτικότητας Των Συστημάτων Φωτισμού Με Την Πάροδο Του Χρόνου [22]

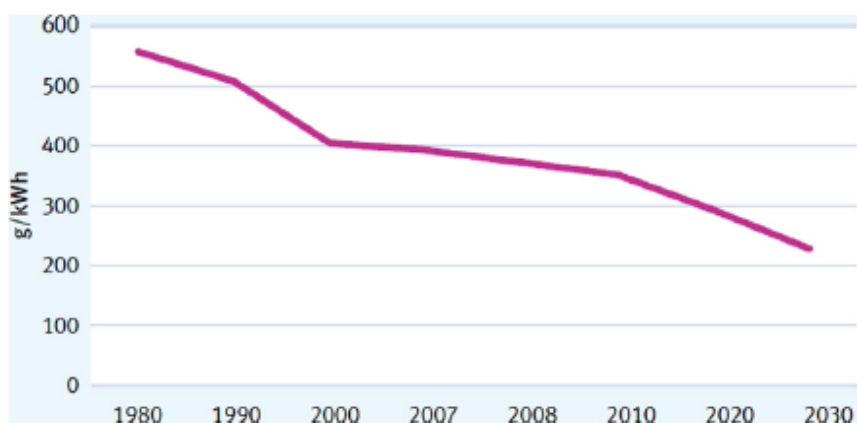
Η εικόνα που παρατίθεται πιο κάτω μας δείχνει την εξέλιξη της ενεργειακή απόδοσης των διαφόρων τύπων φωτιστικών συστημάτων LED, τα τελευταία



χρόνια.

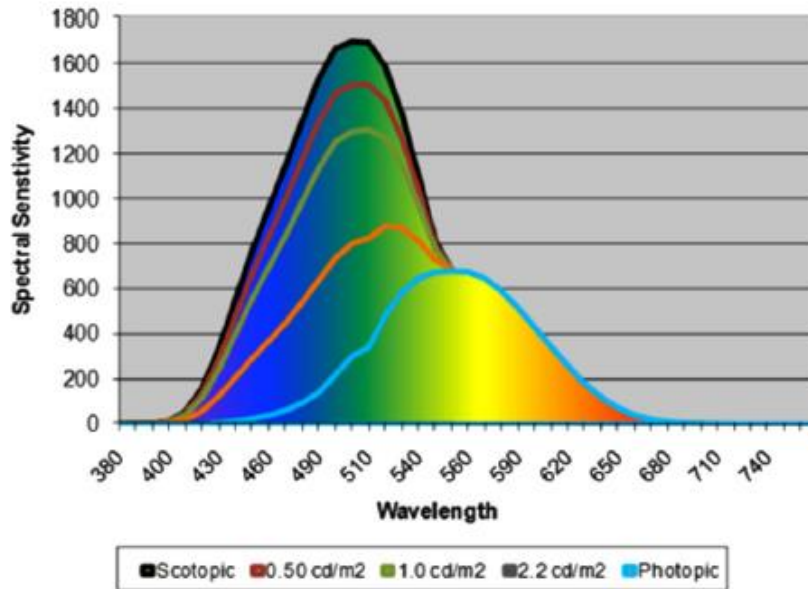
Εικόνα 2.22.3: Εξέλιξη Της Ενεργειακή Απόδοσης Των Διαφόρων Τύπων Φωτιστικών Συστημάτων LED, Τα Τελευταία Χρόνια [22]

Η επόμενη εικόνα παριστάνει ένα διάγραμμα που δείχνει την εξέλιξη των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα των φωτιστικών συστημάτων LED κατά την πάροδο του χρόνου.

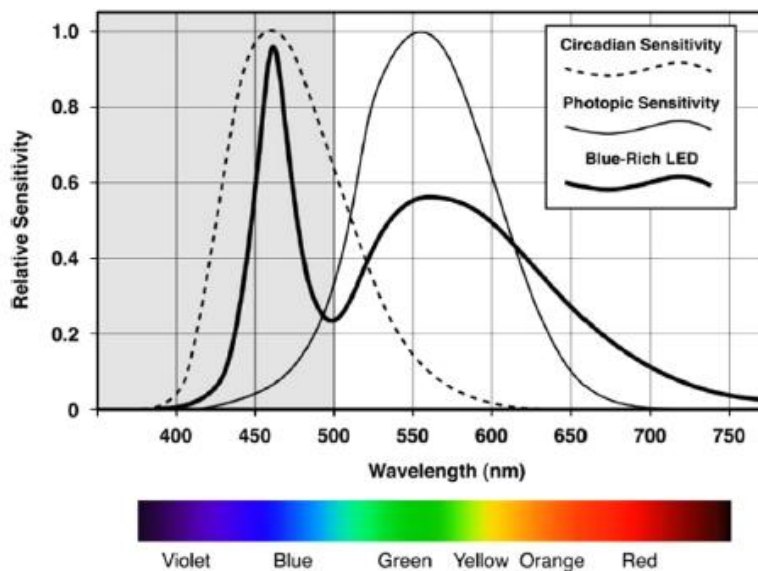


Εικόνα 2.22.4: Εξέλιξη Των Εκπομπών Διοξειδίου Του Άνθρακα Των Φωτιστικών Συστημάτων LED [22]

Στις παρακάτω δύο εικόνες φαίνεται το διάγραμμα φασματικής ευαισθησίας και το φασματικό διάγραμμα εκπομπής μελατονίνης των φωτιστικών συστημάτων LED αντίστοιχα.



Εικόνα 2.22.5: Διάγραμμα Φασματικής Ευαισθησίας Των Φωτιστικών Συστημάτων LED [22]



Εικόνα 2.22.6: Φασματικό Διάγραμμα Εκπομπής Μελατονίνης Των Φωτιστικών Συστημάτων LED [22]

[23] A Review of Solid State White Light Emitting Diode and Its Potentials for Replacing Conventional Lighting Technologies in Developing Countries

Ahemen, I., Dilip, K. De² & Amah, A. N.

Department of Physics, University of Agriculture, Makurdi, Nigeria

Dilip, K. De

Department of Physics, Kaduna State University, Kaduna, Nigeria

Correspondence: Dilip, K. De, Department of Physics, Kaduna State University, Kaduna, Nigeria.

Στην δημοσίευση αυτή οι συγγραφείς κάνουν μια εκτενή αναφορά στις τεχνολογίες των λαμπτήρων οδικού φωτισμού κάνοντας και σύγκριση με την νέα τεχνολογία λαμπτήρων φωτισμού τύπου LED. Επίσης, αξιολογούνται η φυσική καθώς και οι αρχές λειτουργίας των LED. Ο αντίκτυπος αυτής της νέας τεχνολογίας φωτισμού στις αναπτυσσόμενες χώρες στους τομείς του εμπορίου, της εκπαίδευσης, της υγείας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε σύγκριση με τις συμβατικές τεχνολογίες φωτισμού είναι ο βασικός στόχος των συγγραφέων. Τα αποτελέσματά τους είναι εμφανώς θετικά, για την αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων φωτισμού σε εγκαταστάσεις δρόμων με λαμπτήρες τεχνολογίας LED.

[24] Development of Low Power LED Driver Using LTSpice Software

Muhammad Ikram Mohd Rashid,

Aim Izzuddin Hakimi Mohamad Bekri,

Suliana Ab Ghani, Mudathir Funsho Akorede

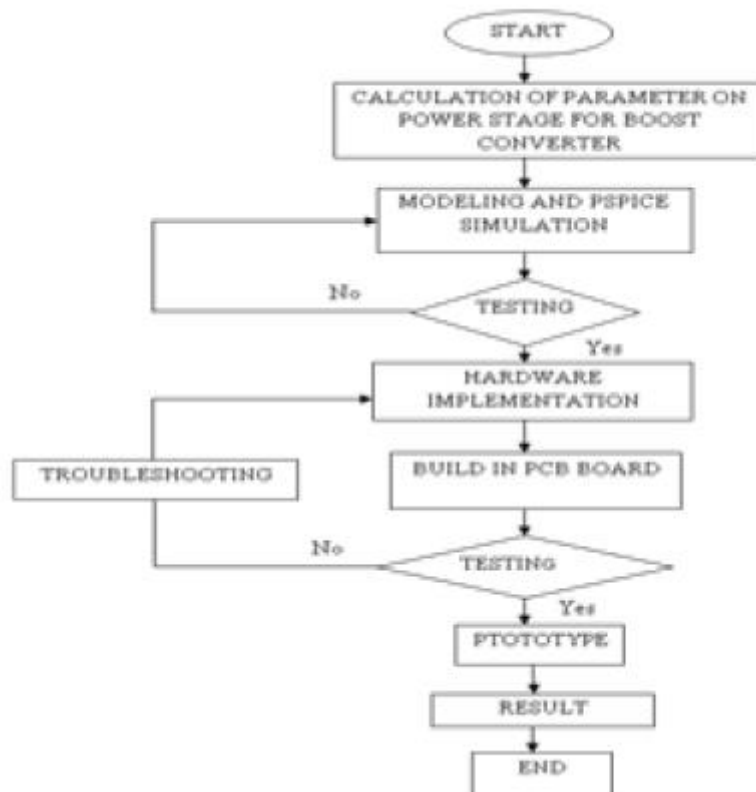
And Mohd Herwan Sulaiman

Sustainable Energy & Power Electronics Research Group, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, University

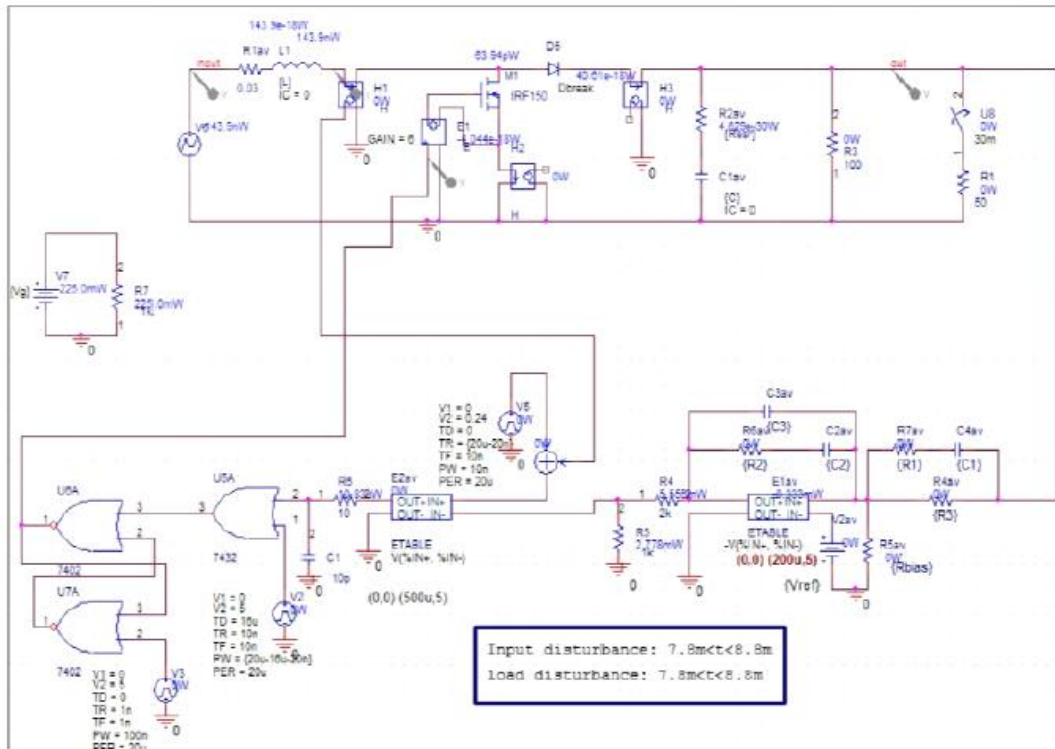
Malaysia Pahang, Pekan 26600, Pahang, Malaysia

Στο άρθρο αυτό παρουσιάζεται μια μέθοδος για τα σύστημα λαμπτήρων LED παρέχοντας μια πιο αποτελεσματική λύση για τον έλεγχο του οδηγού των χαμηλής ισχύος των λαμπτήρων. Επίσης, δίνονται λύσεις για να βελτιωθεί η φωτεινότητα, η

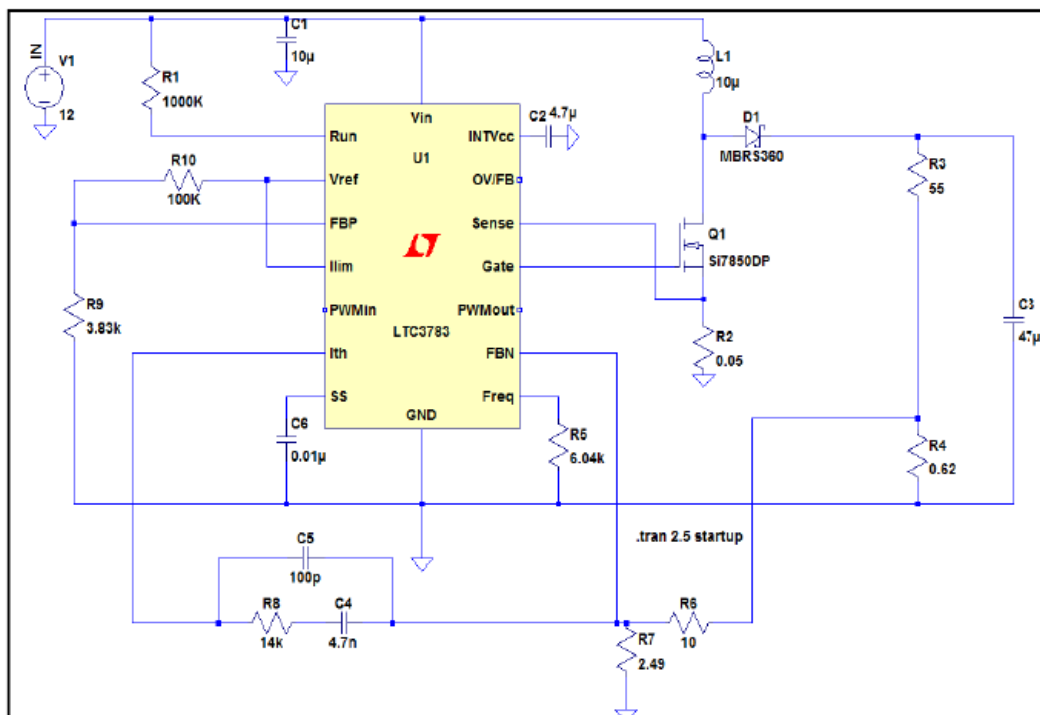
απόδοση και η μεγάλη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων LED. Παρουσιάζεται λοιπόν η λειτουργία «PWM» (διαμόρφωση πλάτους παλμού), που ελέγχεται από μετατροπέα ώθησης εισάγοντας ισχύ στο LED. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των LED ισχύος, είναι ελεγχόμενες από το ρεύμα συσκευές. Συνήθως, χρησιμοποιούνται μετατροπείς ως οδηγοί τροφοδοσίας. Για το έργο αυτό, η τοπολογία ώθηση έχει επιλεγεί ως οδηγός τροφοδοσίας του LED. Ο ελεγκτής ρεύματος «PWM» χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει ότι το σύστημα είναι σταθερό. Λογισμικό «PSPICE» χρησιμοποιείται για την προσομοίωση. Στο τέλος, καταγράφονται οι κυματομορφές και τα αποτελέσματα. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται το κύκλωμα προσομοίωσης του «PSPICE» και στην τρίτη εικόνα, παρατίθεται το κύκλωμα προσομοίωσης με «LTSPICE»



Εικόνα 2.24.1: Διάγραμμα Ροής [24]



Εικόνα 2.24.2: Κύκλωμα Προσομοίωσης «PSpice» [24]



Εικόνα 2.24.3: Κύκλωμα Προσομοίωσης «LTspice» [24]

Συμπερασματικά, στην «PWM» ο αντισταθμιστής βρόχος είναι το σημαντικό μονοπάτι στο σχεδιασμό του ελεγκτή καθώς και στο συνολικό σχεδιασμό ενός

μετατροπέα ανύψωσης. Ο αντισταθμιστής βρόχος σταθεροποιεί το σύστημα όταν, μερικές από τις παραμέτρους στο κύκλωμα σχεδιασμού, αλλάζουν λόγω της προσομοίωσης ελέγχου του ρεύματος με τη χρήση λογισμικού «PSpice» και «LTSpice». Τέλος, αναφέρεται πως, το παράδειγμα του σχεδιασμού που δίνεται, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οδηγός για την υλοποίηση ενός πραγματικού μοντέλου.

[25] Light emitting diodes reliability review

Moon-Hwan Chang, Diganta Das

CALCE Center for Advanced Life Cycle Engineering, University of Maryland, College Park, MD 20742, United States

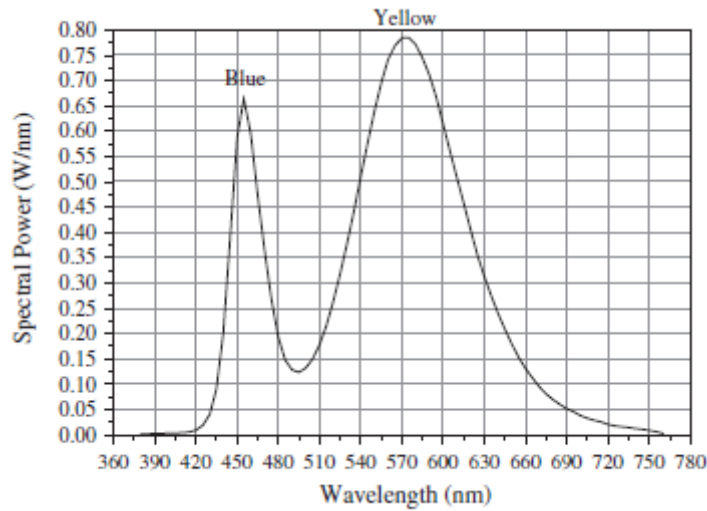
Michael Pechta,^b

Center for Prognostics and System Health Management, City University of Hong Kong, Hong Kong, China

P.V. Varde

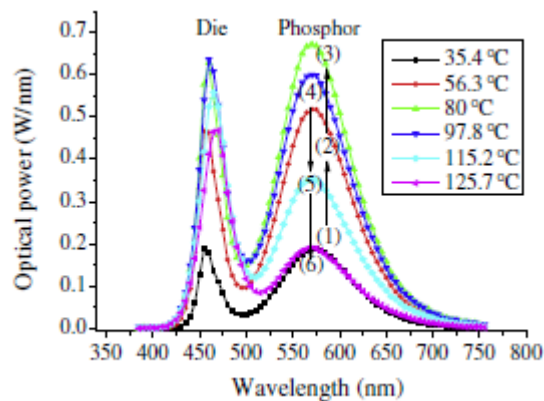
Homi Bhabha National Institute, Reactor Group, Dhruva Complex, Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai 400 085, India

Στην εργασία αυτή, γίνεται εκτενής αναφορά σε σχέση με την αξιοπιστία των λαμπτήρων φωτισμού τύπου LED. Όπως αναφέρεται, η κατασκευή των LED είναι κάπως παρόμοια με τη μικροηλεκτρονική, αλλά υπάρχουν λειτουργικές απαιτήσεις, υλικά, και διασυνδέσεις των LED, που κάνουν τους μηχανισμούς αστοχίας τους μοναδικούς. Παρουσιάζεται λοιπόν, μια σφαιρική ανασκόπηση για τη βιομηχανία και την ακαδημαϊκή έρευνα, για τους μηχανισμούς αστοχίας των LED και την αξιοπιστία τους, ώστε να βοηθηθούν αργότερα οι προγραμματιστές και οι κατασκευαστές τους. Οι πληροφορίες αξιοπιστίας που παρέχουν οι κατασκευαστές των LED δεν είναι σε αρκετά ώριμο στάδιο όπως χαρακτηριστικά λένε οι συγγραφείς. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η φασματική κατανομή ισχύος των λευκών LED.



Εικόνα 2.25.1: Φασματική Κατανομή Ισχύος Των Λευκών LED [25]

Η εικόνα που δίνεται παρακάτω, μας δίνει την φασματική αλλαγή, που συμβαίνει με την αύξηση της θερμοκρασίας των διόδων εκπομπής φωτός.



Εικόνα 2.25.2: Φασματική Αλλαγή Σε Σχέση Με την Θερμοκρασία Των LED [25]

Όπως τελικά αναφέρεται, υπάρχει η ανάγκη να αποκτηθούν γνώσεις για τον κύκλο ζωής, τη γεωμετρία και τις ιδιότητες των υλικών των LED ώστε να εντοπισθούν πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας και για την εκτίμηση της απομένουσας ωφέλιμης ζωής τους. Η προσέγγιση της «φυσικής-της-αποτυχίας (POF)», όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν, αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού και ανάπτυξης και περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των βασικών αιτιών της αποτυχίας. Η «PHM» προσέγγιση σε συνδυασμό με τη διαδικασία προεπιλογής «POF» μπορεί να ενισχύσει την αξιολόγηση της αξιοπιστίας σε πραγματικές συνθήκες, του κύκλου

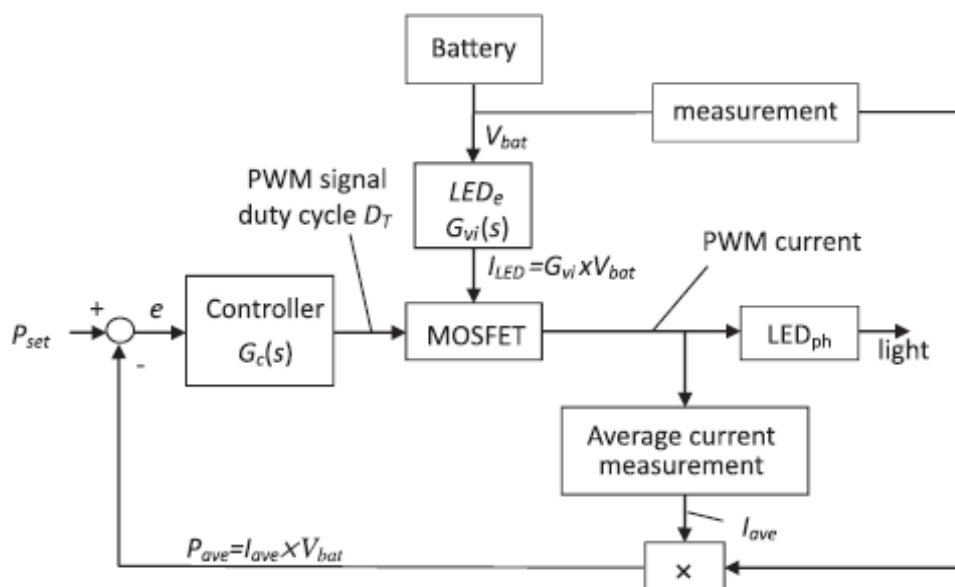
ζωής, την υποβάθμιση και την έγκαιρη ανίχνευση αποτυχιών των LED, εκτιμώντας έτσι την διάρκεια ζωής τους και τον μετριασμό των κινδύνων.

[26] Direct battery-driven solar LED lighting using constant-power control

Bin-Juine Huang, Chun-Wei Chen, Po-Chien Hsu, Wei-Min Tseng, Min-Sheng Wu

New Energy Center, Department of Mechanical Engineering, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan

Στην δημοσίευση αυτή προτείνεται ένα σύστημα LED με μπαταρία άμεσης σύνδεσης, χρησιμοποιώντας χειριστήριο σταθερής ισχύος. Ένα δυναμικό μοντέλο φωτιστικού LED χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό του συστήματος ελέγχου με ανάδραση σταθερής ισχύος. Ένα ηλιακό LED για σύστημα οδικού φωτισμού με χρήση σταθερής ισχύος και εξασθένιση ελέγχου σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε για τη δοκιμή του πεδίου, σε απομακρυσμένη περιοχή. Η παρακάτω εικόνα μας δείχνει τη δομή ανατροφοδότησης του συστήματος ελέγχου του LED, που προτείνεται.



Εικόνα 2.26.1: Δομή Ανατροφοδότησης Συστήματος Ελέγχου LED [26]

Το αποτέλεσμα της εξέτασης έδειξε ότι η ισχύς των LED 18 W και 100 W ελέγχεται με ακρίβεια δίνοντας σφάλμα 2-5% με αλλαγής τάσης της μπαταρίας 12- 22,5%. Η μακροπρόθεσμη απόδοση ήταν ικανοποιητική και δεν υπάρχει οποιαδήποτε αποτυχία μετά την εγκατάσταση. Ο σχεδιασμός του ηλιακού φωτιστικού συστήματος LED για οδικό φωτισμό, όπως αναφέρουν οι συγγραφείς, έχει τρία μοναδικά χαρακτηριστικά. Πρώτον, χρησιμοποιείται η λειτουργία σχεδόν μέγιστης ισχύος στο σχεδιασμό του φωτοβολταϊκού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για να αποφευχθεί η μέγιστη ισχύς στο σημείο εντοπισμού του ελεγκτή. Δεύτερον, για να φορτιστεί η μπαταρία μετά το σημείο υπερφόρτωσης, χρησιμοποιείται η τεχνική ελέγχου «PWM». Τρίτον, η λειτουργία του λαμπτήρα LED άμεσα από την μπαταρία χρησιμοποιώντας την τεχνική ελέγχου σταθερής δύναμης που αναπτύχθηκε στην παρούσα μελέτη. Η μακροπρόθεσμη απόδοση ήταν ικανοποιητική και δεν υπάρχει οποιαδήποτε αποτυχία μετά την εγκατάσταση. Τέλος, δεδομένου ότι, δεν υπάρχει πυκνωτής υψηλής ισχύος στο παρόν κύκλωμα ελέγχου σταθερής ισχύος, αναμένεται μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Παρακάτω, παρατίθεται η εικόνα του ηλιακού φωτιστικού συστήματος LED που παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη δημοσίευση.



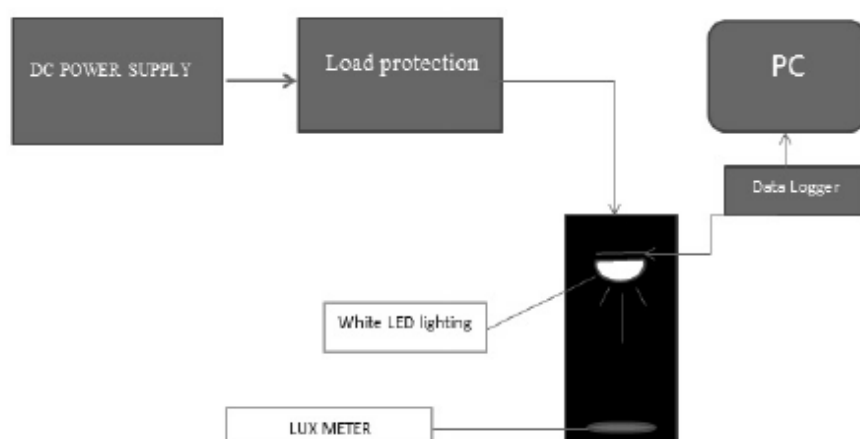
Εικόνα 2.26.2: Ηλιακό Φωτιστικό Σύστημα Οδικού Φωτισμού LED 18 W [26]

[27] Design and realization of LED Driver for solar street lighting applications

M. Fathi, A. Chikouche and M. Abderrazak

Solar Equipments Unit (UDES), RN 11, BP 386, Bouismail, 42415 Tipaza, Algeria

Το άρθρο αυτό ασχολείται με την χρήση των «λευκών» LED, τροφοδοτούμενα από φωτοβολταϊκά αυτόνομα συστήματα φωτισμού. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν οι συγγραφείς, απαιτείται γνώση των ηλεκτρικών, οπτικών και θερμικών χαρακτηριστικών τους. Αυτές οι παράμετροι επιτρέπουν τη βελτίωση της ανάπτυξης των συστημάτων αυτών. Η φωτεινή ένταση και ο χρόνος ζωής των εξαρτημάτων τους, είναι συνάρτηση της έντασης του ρεύματος. Για να έχουν σταθερά χαρακτηριστικά οι λαμπτήρες LED αυτού του τύπου προτείνονται, από τους συγγραφείς, διάφορες διαμορφώσεις για το κύκλωμα οδηγού. Συζητούνται διάφορα κριτήρια, όπως η απλότητα του κυκλώματος, το κόστος παραγωγής, η κατανάλωση ενέργειας και οι απώλειες θερμικές και ηλεκτρικές που παράγονται από το πρόγραμμα οδήγησης του LED. Στη μελέτη αυτή, εφαρμόζεται μια εντολή ελέγχου (DC Driver) στον λαμπτήρα. Το σύστημα αυτό, εφαρμόζεται σε οδικό φωτισμό και είναι αυτόνομο. Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να επιτευχθεί μια σταθερή εντολή ελέγχου χρησιμοποιώντας ελάχιστο ηλεκτρικό ρεύμα, για λειτουργία μακράς διάρκειας ζωής και σταθερό φωτισμό. Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα της πειραματικής διαδικασίας.



Εικόνα 2.27.1: Σχηματικό Διάγραμμα Πειραματικής Διαδικασίας [27]

Συμπερασματικά, η δημοσίευση αυτή, πειραματικά, δίνει τις παραμέτρους ενός υψηλής ισχύος «λευκού» LED. Επίσης, προτείνει ένα απλό σχέδιο για ένα ρυθμιστή ρεύματος «DC». Το πρόγραμμα οδήγησης «DC» δοκιμάζεται και ρυθμίζει ικανοποιητικά τα πειραματικά φωτιστικά αποτελούμενα από συστοιχία των είκοσι LED. Τα πειραματικά αποτελέσματα για τη ρύθμιση του ρεύματος συμφωνούν με την προσομοίωση μέσω του λογισμικού «Pspice». Τελικά, όπως χαρακτηριστικά γράφουν, αυτή η μελέτη βοηθά πολύ στην ανάπτυξη ενός νέου οδηγού με την τεχνική «PWM».

[28] Analysis and Design of a Multi-Channel Constant Current LED Driver Based on High Frequency AC Bus

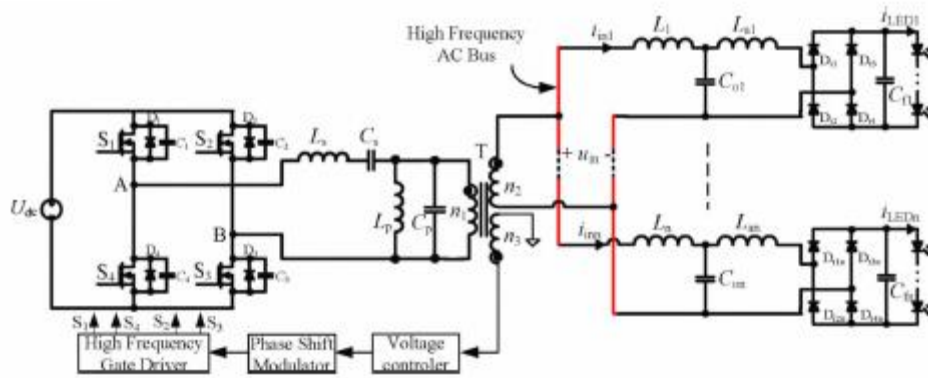
ShuboZhi, Quanming Luo, Can Zou, Luowei Zhou

State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology

Chongqing University

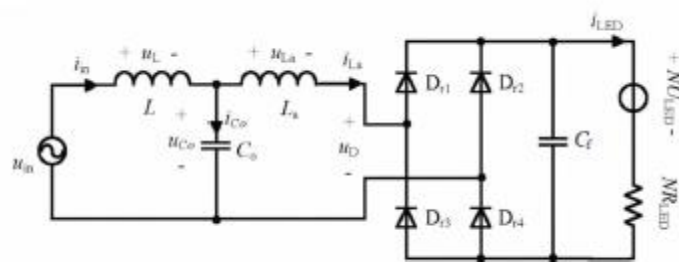
Chongqing 400044, China

Η δημοσίευση αυτή αποσκοπεί στο να περιγράψει έναν πολυκαναλικό οδηγό σταθερού ρεύματος οδήγησης, ο οποίος αποτελείται από μια κύρια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος και κάποιο υποτελής, παθητικό, σταθερό ρεύμα, σύμφωνα με τον αριθμό των LED στην συστοιχία. Ο συντονιστικός μετατροπέας υψηλής συχνότητας ελέγχεται ώστε να λειτουργεί ως κυρίως πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, η παραγωγή του οποίου δίνει την υψηλή εναλλασσόμενη συχνότητα. Κάθε συστοιχία LED, ατομικά, τροφοδοτείται από την αντίστοιχη παθητική σταθερή πηγή ρεύματος, οδηγούμενη από το δίαυλο υψηλής συχνότητας εναλλασσόμενου ρεύματος. Η απόδοση και τα χαρακτηριστικά του οδηγού αναλύονται λεπτομερώς από τα πειραματικά αποτελέσματα. Το σχηματικό διάγραμμα του μοντέλου που προτείνεται φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.28.1: Σχηματικό Διάγραμμα Προτεινόνου Πολυκαναλικού Οδηγού [28]

Τελικά, σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα, η παθητική πηγή λειτουργεί ως σταθερή παροχή ρεύματος για τις συστοιχίες των LED, χωρίς κύκλωμα ελέγχου ανάδρασης, όταν οι παράμετροι επιλέγονται καταλλήλως. Όπως φαίνεται λοιπόν από τα αποτελέσματα που παρέχονται, το μοντέλο αυτό είναι μια απλή και κομψή λύση για την παροχή υψηλής ισχύος σε ένα σύστημα φωτισμού LED. Παρακάτω φαίνεται το κυκλωματικό διάγραμμα του παθητικού ανορθωτή που χρησιμοποιήθηκε.



Εικόνα 2.28.2: Κυκλωματικό Διάγραμμα Παθητικού Ανορθωτή [28]

[29] Design of a Soft-Switching Asymmetrical Half-Bridge Converter as Second Stage of a LED Driver for Street Lighting Application

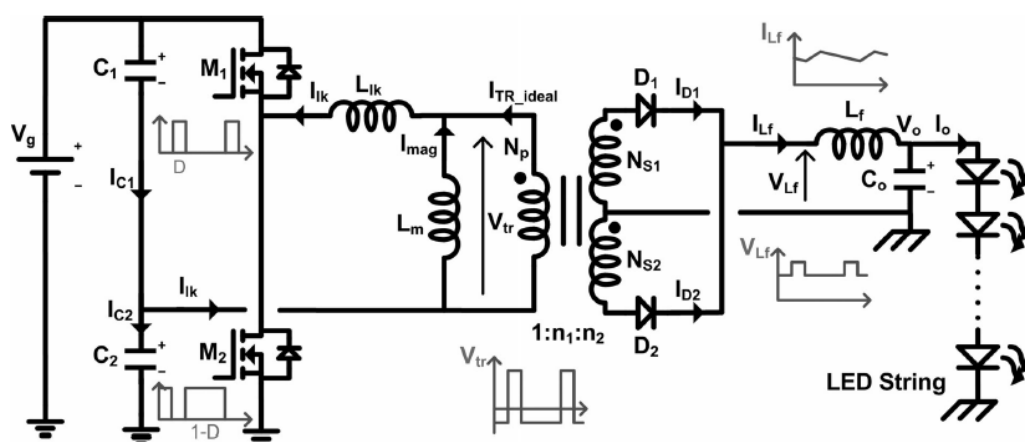
Manuel Arias, Member, IEEE, Diego G. Lamar, Member, IEEE, Francisco F.

Linera, Member, IEEE,

Didier Balocco, Almadidi Aguisa Diallo, and Javier Sebastián, Senior

Member, IEEE

Στην δημοσίευση αυτή, προτείνεται από τους συγγραφείς μια τοπολογία τροφοδοσίας δύο σταδίων για λαμπτήρες ηλεκτροφωτισμού οδών, τύπου LED. Το πρώτο στάδιο είναι ο γνωστός μετατροπέας «PFC boost». Η δεύτερη φάση, κατά την οποία το παρόν έγγραφο εστιάζεται περισσότερο, είναι η ασύμμετρη ημι-γέφυρα (AHB). Ο σχεδιασμός της έχει βελτιστοποιηθεί με βάση τις ανάγκες και τα χαρακτηριστικά των λαμπτήρων LED για τον φωτισμό δρόμων. Η προτεινόμενη σχεδίαση του μετασχηματιστή (με ασύμμετρες δευτερεύουσες περιελίξεις) ελαχιστοποιεί τις απώλειες αγωγιμότητας, ενώ το μοντέλο του μετατροπέα κατά τη διάρκεια των νεκρών χρόνων βελτιστοποιεί τη διάρκειά τους, μειώνοντας τις απώλειες μεταγωγής στα «MOSFET» και της διόδους. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα της ασύμμετρης «AHB», που προτείνεται, ενώ η παρακάτω εικόνα, είναι η φωτογραφία του πρωτότυπου.



Εικόνα 2.29.1: Σχηματικό Διάγραμμα «AHB» [29]



Εικόνα 2.29.2: Φωτογραφία Πρωτοτύπου [29]

Εν κατακλείδι, κατά τα λεγόμενα των συγγραφέων, τροποποιώντας τον παραδοσιακό σχεδιασμό στον μετατροπέα, είναι δυνατόν να βελτιστοποιηθεί αρκετά η συστοιχία των LED. Έτσι, ενισχύεται η αποτελεσματικότητα και η αξιοπιστία της. Το προτεινόμενο σχέδιο έχει δύο πλεονεκτήματα. Πρώτον, η μέση τιμή του ρεύματος μαγνήτισης μειώνεται λόγω της ασύμμετρης σχεδίασης του μετασχηματιστή του. Αυτό συνεπάγεται μείωση των απωλειών αγωγιμότητας. Δεύτερον, αναπτύσσεται ένα μοντέλο για την περιγραφή των μεταβάσεων το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση των απωλειών μεταγωγής σε «MOSFET» και διόδους. Τα πειραματικά αποτελέσματα, που ελήφθησαν με έναν πρωτότυπο λαμπτήρα 40W, δείχνουν απόδοση της τάξεως του 94,5 % για το δεύτερο αυτό στάδιο, επικυρώνοντας την προτεινόμενη διαδικασία σχεδιασμού. Η συνολική απόδοση του συστήματος προκύπτει 91,5 %. Τέλος, φαίνεται από τα πειράματα ότι το προτεινόμενο μοντέλο είναι ακριβές και βοηθά πολύ στον σχεδιασμό εφαρμογών βελτιστοποίησης.

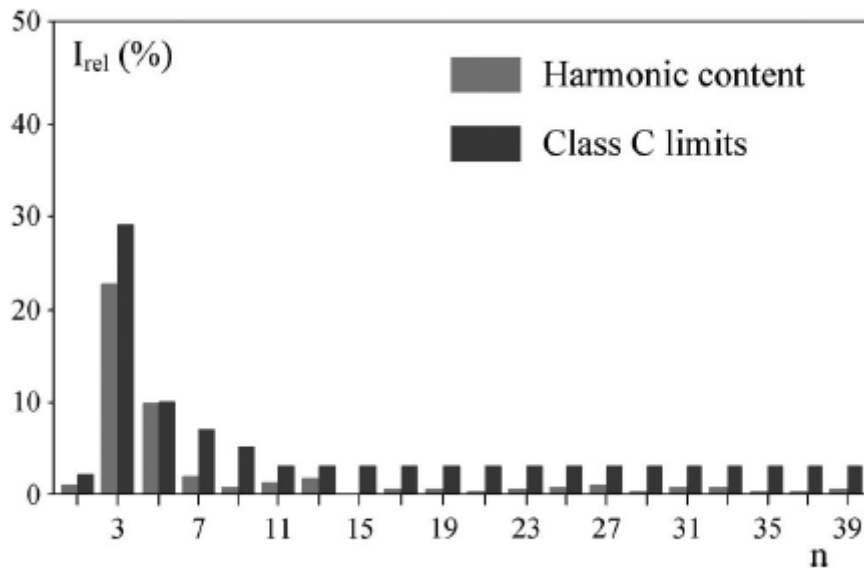
[30] PWM Series Dimming for Slow-Dynamics HPF LED Drivers: the High-Frequency Approach

David Gacio, Student Member, IEEE, J. Marcos Alonso, Senior Member, IEEE,

Jorge Garcia, Member, IEEE, Lidia Campa, Student Member, IEEE,

Mario J. Crespo, Student Member, IEEE, and Manuel Rico-Secades, Member, IEEE

Η δημοσίευση αυτή ασχολείται με την ικανότητα της διαμόρφωσης πλάτους παλμού (PWM) για την λειτουργία «dimming» μαζί με τον μετατροπέα που είναι ο παράγοντας υψηλής ισχύος ονομαζόμενος και «integrated buck-flyback converter (IBFC)». Πρώτον, παρουσιάζονται οι δύο κύριες τεχνικές «dimming», δηλαδή, η «analog dimming» και η «PWM dimming». Στη συνέχεια, συζητούνται εν συντομία, τα τρία κύρια σχέδια «PWM dimming». Ύστερα, δοκιμάζεται η τοπολογία «IBFC» εκτελώντας μαζί τις τεχνικές «analog dimming» και «enable dimming». Μια νέα πρόταση δίνεται από τους συγγραφείς την οποία ονομάζουν «high-frequency series PWM dimming technique» που υπερνικά, όπως λένε όλες τις προκλήσεις που αντιμετωπίζονται κατά την τεχνική «PWM dimming» και προσφέρει όλα τα μειονεκτήματα του «PWM dimming» σε σχέση με την τεχνική «analog dimming», διατηρώντας παράλληλα πολύ καλή απόδοση. Παρουσιάζονται λοιπόν, ο προτεινόμενος βρόχος ελέγχου, καθώς και οι εργαστηριακές εξετάσεις των συγγραφέων, δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά το ποσοστό του «dimming», τη συνολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος εισόδου (THDI) και τον παράγοντα ισχύος. Το διάγραμμα της συνολικής αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος εισόδου, σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα, φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.30.1: Διάγραμμα Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης Ρεύματος Εισόδου [30]

Συμπερασματικά, δεδομένου ότι η «PWM dimming» θεωρείται πως προσφέρει την καλύτερη απόδοση στην τεχνική «dimming», τα τρία κύρια σχέδια για αυτή την τεχνική αναθεωρήθηκαν και συγκρίθηκαν. Η «analog dimming» θεωρείται από τους συγγραφείς ότι είναι η απλούστερη και πιο αποδοτική τεχνική «dimming». Τελικά, προτείνεται μια ιδιαίτερα αξιόπιστη τεχνική «PWM dimming» για τους μετατροπείς «slow dynamics», επιτυγχάνοντας καλά αποτελέσματα στο «dimming» και στην αρμονικό συνιστώσα του ρεύματος εισόδου. Το μόνο μειονέκτημα είναι η ελαφρώς χαμηλότερη αποτελεσματικότητα σε σύγκριση με την «analog dimming», αλλά έχει όλα τα υπόλοιπα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν.

[31] Research on thermal shock test for the optical and electrical properties of white LEDs

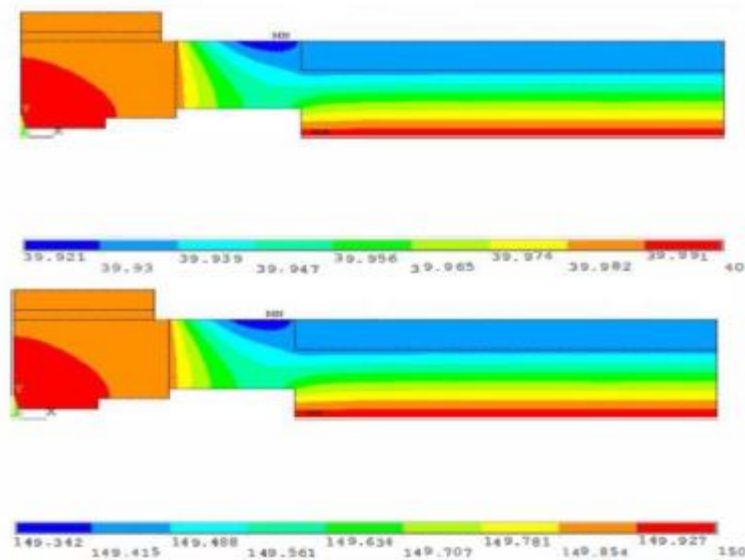
Yinong Liu, Jibing Chena, Wei GUOa, Wenfei Zhanga, Yiping Wu, Bing An Huazhong

University of Science & Technology, Wuhan 430074, China

Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Wuhan 430074, China

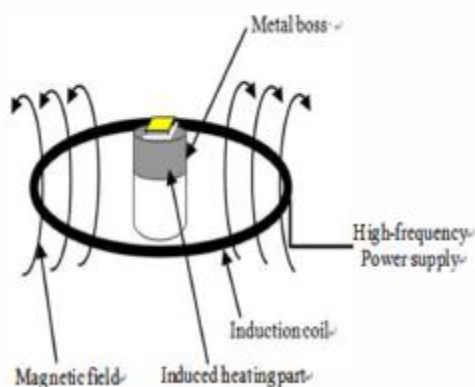
Corresponding author at: College of materials science & engineering, Huazhong University Science & Technology, Wuhan, China

Ο σκοπός της δημοσίευσης αυτής είναι να διερευνήσει τις αλλαγές στις οπτικές και ηλεκτρικές ιδιότητες του λευκού LED κατά την διαδικασία δοκιμής θερμικού σοκ. Στο πείραμα, χρησιμοποιήθηκε μια συσκευή ηλεκτρομαγνητικής θέρμανσης υψηλής συχνότητας, για τη διενέργεια της δοκιμής θερμικού σοκ, και ένα «λευκό» LED τύπου «Cree-XLAMP-MX-6» το τσιπ του οποίου χρησιμοποιήθηκε ως δείγμα. Στην πειραματική διαδικασία, τα κυκλώματα, δοκιμάστηκαν σε απότομες αλλαγές θερμοκρασίας από 40° C έως 150° C σε κύκλους των 10s. Λογισμικό «ANSYS» χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της διακύμανσης της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του τσιπ και μια ενσωματωμένη σφαιρική συσκευή για τη μέτρηση των βασικών οπτικών και ηλεκτρικών παραμέτρων. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.31.1: Αποτελέσματα Προσομοίωση Στους 40° C (Πάνω) Και Στους 150° C (Κάτω) [31]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα της ηλεκτρομαγνητικής συσκευής θέρμανσης, υψηλής ισχύος, που προαναφέρθηκε.



Εικόνα 2.31.2: Σχηματικό Διάγραμμα Ηλεκτρομαγνητικής Συσκευής Θέρμανσης, Υψηλής Ισχύος [31]

Συμπερασματικά, διαπιστώθηκε ότι η καμπύλη φωτεινής ροής και φωτεινής απόδοσης μειώθηκε με την αύξηση του χρόνου γήρανσης, ενώ η σχετιζόμενη καμπύλη θερμοκρασίας και η καμπύλη τάσης αυξήθηκαν. Εν τω μεταξύ, το μέγιστο παραγόμενο μήκος κύματος, τείνει να είναι σταθερό. Τα αποτελέσματα των δοκιμών δείχνουν ότι η ενδιάμεση θερμοκρασία επηρεάζει αρκετά στους μηχανισμούς αστοχίας των «λευκών» LED. Η θερμότητα συγκεντρώθηκε στις μικρές διαστάσεις του τσιπ, προκαλώντας την ενδιάμεση θερμοκρασία να αυξηθεί και να γίνει άνιση κατανομή των θερμικού στρες, ενώ η φωτεινή απόδοση και η απόδοση της μετατροπής φωσφόρου μειώθηκαν.

[32] Reliability Study on High Power LED with Chip on Board

Dongjing Liu, D.G. Yang, Rongbin Ren, Fengze Hou, Chao Huang

Guangxi Key Laboratory of Manufacturing System & Advanced Manufacturing Technology

School of Mechanism and Electrical Engineering

Guilin University of Electronic Technology, Guilin, China

Η εργασία αυτή έχει ως στόχο την ανάλυση της αξιοπιστίας των λαμπτήρων LED υψηλής ισχύος, για εγκαταστάσεις εξωτερικών χώρων, υποβάλλοντάς τους σε διάφορες θερμοκρασίες. Δύο είδη μοντέλων πεπερασμένων στοιχείων καθορίζονται από τη χρήση του λογισμικού «ANSYS» για τη δομή ενός λαμπτήρα LED με ισχύ

εισόδου 60W. Τα δύο, αυτά, είδη φωτιστικών συστημάτων LED, φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

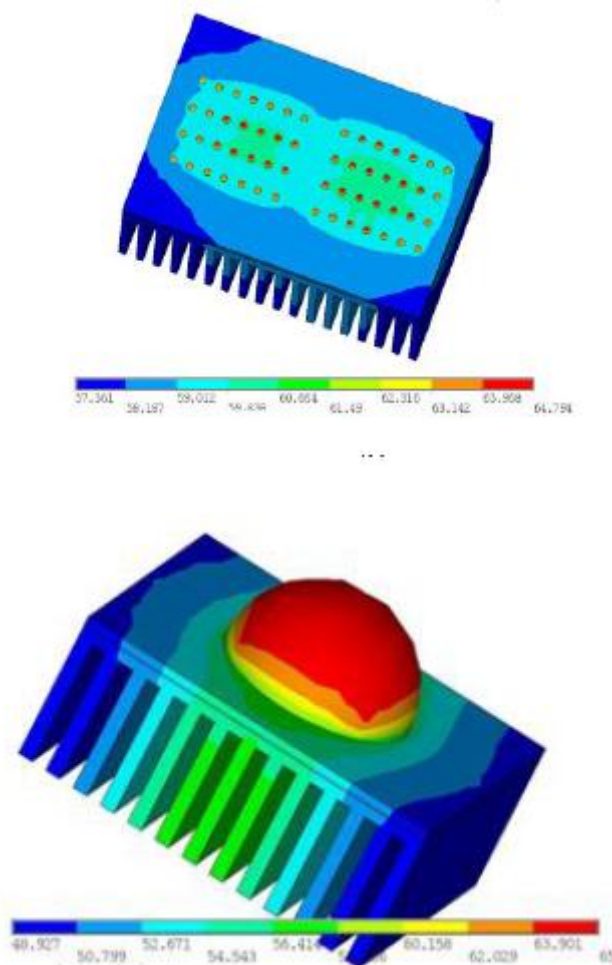


Εικόνα 2.32.1: Δοκιμαζόμενα Είδη Φωτιστικών Συστημάτων LED (Πάνω: Μοντέλο A, Κάτω: Μοντέλο B) [32]

Το μοντέλο αναπαράγεται σ' ένα κύκλο θερμοκρασιών από -5° Cέως 50° C. Το ποσοστό αύξησης και η μείωση της θερμοκρασίας είναι 5° C/min και ο χρόνος παραμονής είναι 30min. Αυτή η διαδικασία αποτελείται από 8 κυκλικές περιόδους και επιστρέφει σε θερμοκρασία δωματίου 25° C ως αρχική θερμοκρασία.

Τα αποτελέσματα δείχνουν πως η παραμόρφωση της δομής των λαμπτήρων LED για εφαρμογές σε δρόμους μπορεί να φτάσει στα 2.17 μm σε αντίθεση με τα LED για εσωτερικές εφαρμογές που φτάνει μόνο στα 5nm. Κατά τους συγγραφείς λοιπόν, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι λαμπτήρες και τα φανάρια με συστοιχίες λυχνιών LED, έχουν καλύτερες επιδόσεις στην δομική παραμόρφωση. Τέλος, προτείνεται ένα μέτρο για τη βελτίωση της αξιοπιστίας του λαμπτήρα. Στην παρακάτω εικόνα

φαίνεται η κατανομή της θερμοκρασίας και στα δύο μοντέλα φωτιστικών συστημάτων LED.



Εικόνα 2.32.2: Κατανομή Θερμοκρασίας Στα Δυο Εξεταζόμενα Μοντέλα Φωτιστικών Συστημάτων LED (Πάνω: Μοντέλο Α, Κάτω: Μοντέλο Β) [32]

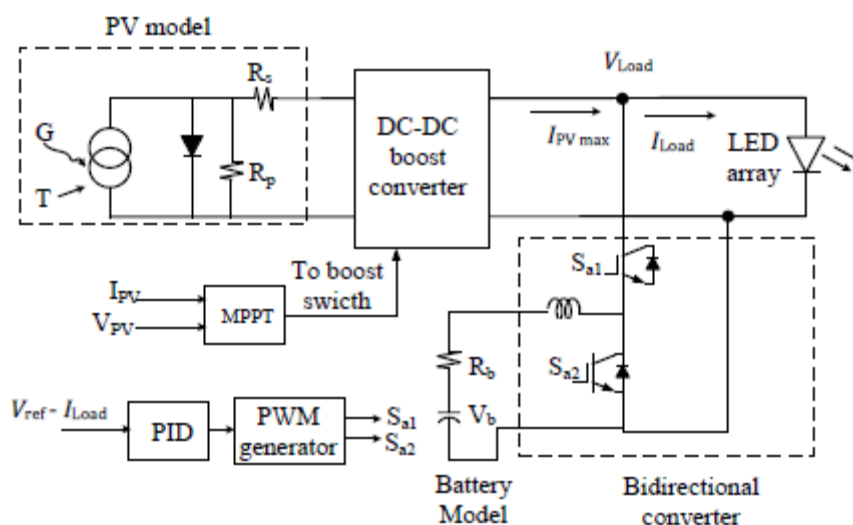
[33] Modeling, Control and Simulation of a Power Conditioning System for Solar Street LED Light

Mahrous Elsamman, M. K. Metwally

Faculty of Engineering, Taif University, 21974 Taif, KSA

Το παρόν έγγραφο προτείνει ένα αυτόνομο ηλιακό σύστημα οδικού φωτισμού ανεξάρτητο από το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Το προτεινόμενο σύστημα αποτελείται από ένα πάνελ φωτοβολταϊκών, ένα σύστημα αποθήκευσης, ένα λαμπτήρα LED, το σύστημα ρύθμισης της ισχύος (PCS) και τον ελεγκτή που μπορεί να διαχειριστεί την τροφοδοσία και την λειτουργία του συστήματος. Όπως γράφεται, η

χρησιμοποίηση λαμπτήρα LED στις εφαρμογές φωτισμού, έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση τους συμβατικούς λαμπτήρες. Είναι πολύ αποτελεσματικά, καθώς δίνουν πολύ υψηλή απόδοση, είναι οικονομικά, αφού έχουν μεγάλο χρόνο ζωής και τέλος χρειάζονται πηγή χαμηλής τάσης συνεχούς ρεύματος για να λειτουργήσουν. Το σύστημα αποθήκευσης φορτίζει κατά τη διάρκεια της ημέρας χρησιμοποιώντας τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια. Ύστερα, κατά τη διάρκεια της νύχτας, ο ελεγκτής δίνει ένα σήμα στο σύστημα για να συνδεθεί το σύστημα του LED και να είναι έτοιμο για χρήση. Δεδομένου ότι το LED χρειάζεται μόνο μια παροχή χαμηλής τάσης συνεχούς ρεύματος για να λειτουργήσει, ένας απλός μετατροπέας «DC- DC» είναι αρκετός για το σύστημα, οδηγώντας σε μείωση του συνολικού κόστους του συστήματος. Γίνεται λοιπόν, από τους μηχανικούς, προσομοίωση για την επικύρωση του προτεινόμενου συστήματος. Το σχηματικό διάγραμμα του προτεινόμενου συστήματος φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.33.1: Σχηματικό Διάγραμμα Προτεινόμενου Συστήματος Με Το Σύστημα Ελέγχου Του [33]

Συμπερασματικά, το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε είναι ένας λαμπτήρας LED των 80 W που ισοδυναμεί με έναν λαμπτήρα υψηλής πίεσης νατρίου(HPS) των 150W. Τέλος, όπως γράφεται από τους συγγραφείς, τα κύρια οφέλη του προτεινόμενου συστήματος είναι ότι αναπτύχθηκε, πρώτον ένα μοντέλο προσομοίωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων με έλεγχο «MPPT» με τη χρήση «MATLAB / SIMUINK» για την επικύρωση του προτεινόμενου συστήματος, ενώ επίσης αναπτύχθηκε ένα

νέο μοντέλο μπαταρίας. Ακόμα, αναπτύχθηκε ένας αμφίδρομος μετατροπέας «DC-DC». Οι υλοποιήσεις και τα αποτελέσματα έχουν μείνει για μελλοντικές εργασίες ώστε να συγκριθούν με τα αποτελέσματα της παρούσας προσομοίωσης για την υποστήριξη της προτεινόμενης ιδέας.

[34] Digital Signal Processing for Light Emitting Diode Based Visible Light Communication

C. W. Chow¹, C. H. Yeh², Y. Liu³, and Y. F. Liu¹

Department of Photonics and Institute of Electro-Optical Engineering,
National Chiao Tung University, (Taiwan)

² Information and Communications Research Laboratories, Industrial
Technology Research Institute (ITRI), (Taiwan)

³ Hong Kong Productivity Council (HKPC), (Hong Kong)

Στην παρούσα δημοσίευση, εξετάζονται από τους συγγραφείς, κάποιες πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνική «Visible light communication (VLC)» που εφαρμόζεται για λαμπτήρες τύπου LED. Συζητούνται οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει η «VLC» και μερικές πιθανές λύσεις. Γράφουν επίσης και δείχνουν πειραματικά πως με τη χρήση ψηφιακής επεξεργασίας σήματος (DSP) μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά η απόδοση της «VLC». Η παρακάτω εικόνα δείχνει ένα εφαρμοσμένο παράδειγμα της τεχνικής «VLC»



Εικόνα 2.34.1: Εφαρμοσμένο Περιβάλλον «VLC» [34]

Εν κατακλείδι, επισημάνθηκαν από τους συγγραφείς ορισμένες από τις δραστηριότητες της «VLC». Επίσης, αναφέρθηκαν τα πλεονεκτήματα και οι προκλήσεις του συστήματος «VLC», μαζί με ορισμένες πιθανές λύσεις. Η χρησιμοποίηση της «DSP» θα μπορούσε, όπως γράφεται, να είναι μια καλή επιλογή για την ενίσχυση της απόδοσης της «VLC». Προτείνεται και αποδεικνύεται, χρησιμοποιώντας μια απλή ψηφιακή εξίσωση, η βελτίωση του περιορισμού του εύρους ζώνης στο κανάλι «LED-VLC». Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν δέκα φορές μεγαλύτερη ενίσχυση της άμεσης ταχύτητα διαμόρφωσης του συστήματος χρησιμοποιώντας την διαμόρφωση «OOK». Τελικά, προτείνεται και αποδεικνύεται πειραματικά η διαμόρφωση «4-ASK» για την περαιτέρω ενίσχυση (είκοσι φορές μεγαλύτερη) της άμεσης ταχύτητας διαμόρφωσης στην «VLC».

[35] Light-emitting diodes in street and roadway lighting – a case study involving mesopic effects

AM Kostic MArch, LS Djokic PhD

Faculty of Architecture, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

MB Kostic PhD, MM Kremic Dipl. -Ing. EI

Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

Το έγγραφο αυτό εξετάζει την αιτιολόγηση για την εφαρμογή των διόδων εκπομπής φωτός (LED) στον αστικό φωτισμό. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα LED είναι πολύ καλά για αρχιτεκτονικό φωτισμό και αξίζει να εξεταστούν για χρήση στον ατμοσφαιρικό φωτισμό. Ένα πρόσφατα αναπτυγμένο μεσοπικό σύστημα, το «Internationale de l' Eclairage (CIE)» ασχολείται με την αποτελεσματικότητα , τη συντήρηση και τις οικονομικές πτυχές της χρήσης των LED σε φωτισμό δρόμων και οδών.

Συμπερασματικά, ο μέσος όρος εξοικονόμησης ενέργειας κατά τη χρήση LED , αντί των λαμπτήρων υψηλής πίεσης νατρίου (HPS) ανέρχεται σε 19-26 % για μονής όψης, κλιμακωτά και έναντι τύπους LED, αν και συχνά είναι αμελητέα. Αυτό όπως λένε, έρχεται σε αντίθεση με τους κατασκευαστές που δίνουν στα χαρακτηριστικά των LED εξοικονόμηση έως και 80 %. Όπως χαρακτηριστικά γράφεται, το συνολικό κόστος των LED είναι 1,36 έως 6,44 φορές υψηλότερο από εκείνο των συγκρίσιμων

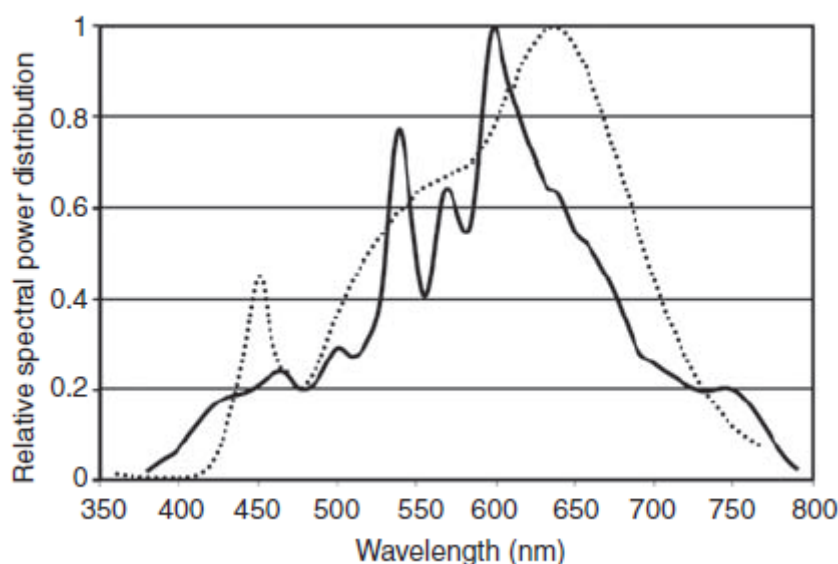
λύσεων φωτισμού με λαμπτήρες HPS. Ως εκ τούτου, σύμφωνα με τους συγγραφείς, οι λαμπτήρες τύπου LED είναι αμφίβολοι για την αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων για τον αστικό φωτισμό.

[36] Subjective impressions under LED and metal halide lighting

A Kostic MArch and L Djokic PhD

Faculty of Architecture, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

Η δημοσίευση αυτή ασχολείται με τη σύγκριση των υποκειμενικών εντυπώσεων που δημιουργούνται από τους λαμπτήρες αλογονούχων μετάλλων και τους λαμπτήρες LED στην χρήση τους για αστικό φωτισμό. Ένα πιλοτικό πρόγραμμα διεξήχθη σε ένα πάρκο στο Βελιγράδι. Πληρούνται όλες οι γενικές απαιτήσεις για την κατάλληλη σύγκριση των υποκειμενικών εντυπώσεων. Η έρευνα διεξήχθη με τη χρήση ερωτηματολογίου που σχετιζόταν με όλες τις πτυχές που οι ερευνητές θεώρησαν, σύμφωνα με την υποκειμενική αξιολόγηση των κατοίκων. Στην παρακάτω εικόνα, που παρατίθεται, φαίνεται η σχετική φασματική κατανομή ισχύος των δύο φωτιστικών συστημάτων οδικού φωτισμού που εξετάζονται.



Εικόνα 2.36.1: Σχετική Φασματική Κατανομή Ισχύος Φωτιστικού Συστήματος Αλογονούχων Μετάλλων (Συνεχής Γραμμή) Και Φωτιστικού Συστήματος LED (Διακεκομμένη Γραμμή) [36]

Το συμπέρασμα της έρευνας των συγγραφέων ήταν ότι οι ερωτηθέντες, τόσο αυτοί που είχαν αλλά και όσοι δεν είχαν προηγούμενη γνώση στον τομέα του φωτισμού, προτίμησαν τη χρήση των λαμπτήρων αλογονούχων μετάλλων. Επίσης, φάνηκε ότι το επίπεδο της φωτεινότητας και το αίσθημα της ασφάλειας και της άνεσης αξιολογήθηκαν ως τα πιο σημαντικά.

[37] Residents' perceptions following retrofitting of residential area outdoor lighting with LEDs

L. Kuhna PhD-student, M. Johanssona PhD, T. Laikea PhD Lighting Technology Manager

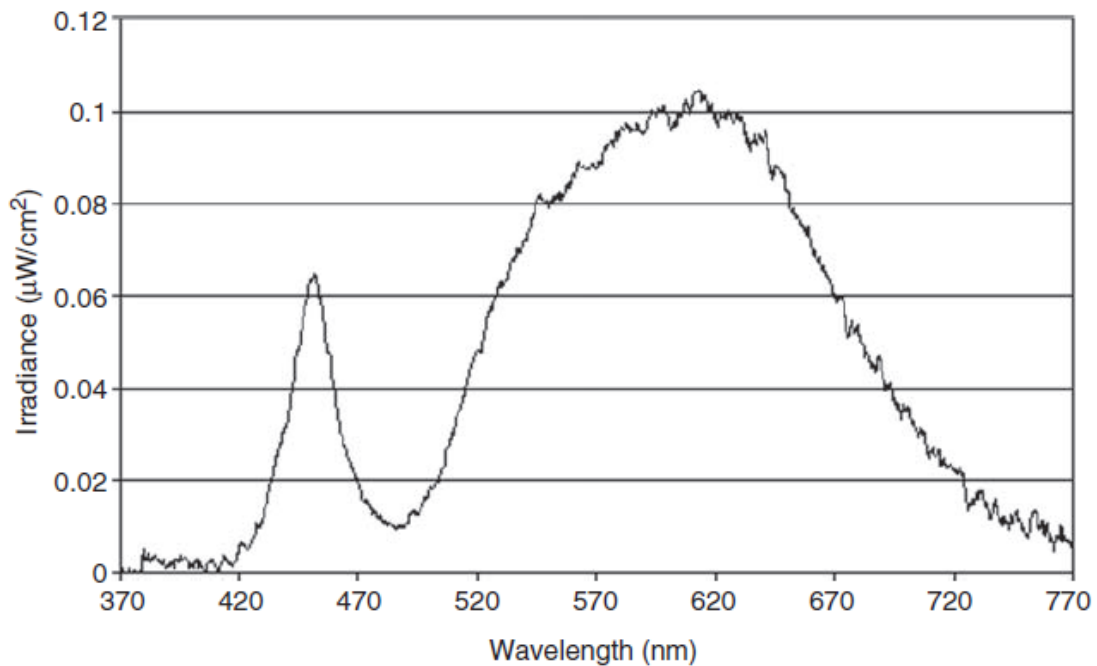
Environmental Psychology, Department of Architecture and Built Environment, Lund

University, Lund, Sweden

T. Gove'nb

Lighting Technology and Research Department, AB Fagerhult

Στην δημοσίευση αυτή, οι συγγραφείς μελετούν και συγκρίνουν τις συμβατικές εγκαταστάσεις φωτισμού σε δυο κατοικημένες περιοχές με την αντικατάσταση τους από νέας τεχνολογίας LED φωτιστικά. Στην μελέτη αυτή έχουν ενεργό ρόλο οι πολίτες καθώς καλούνται να βοηθήσουν στην σύγκριση αυτή με θέμα την ποιότητα του φωτός, την ορατότητα καθώς και την επικινδυνότητα των δρόμων. Στην μια περιοχή χρησιμοποιούνται λαμπτήρες υψηλής πίεσεως νατρίου ενώ στην δεύτερη υψηλής πίεσεως υδραργύρου. Αναφέρεται πως, η χρήση των διόδων εκπομπής φωτός (LED) σε υπαίθριο φωτισμό έχει ως μεγάλο πλεονέκτημα την εξοικονόμηση ενέργειας. Έτσι έγινε υπολογισμός της ενέργειας των λαμπτήρων. Στην παρακάτω εικόνα που παρατίθεται, φαίνεται το διάγραμμα της φασματικής κατανομής ισχύος του φωτιστικού συστήματος LED που χρησιμοποιείται.



Εικόνα 2.37.1: Φασματική Κατανομή Ισχύος Φωτιστικού Συστήματος LED [37]

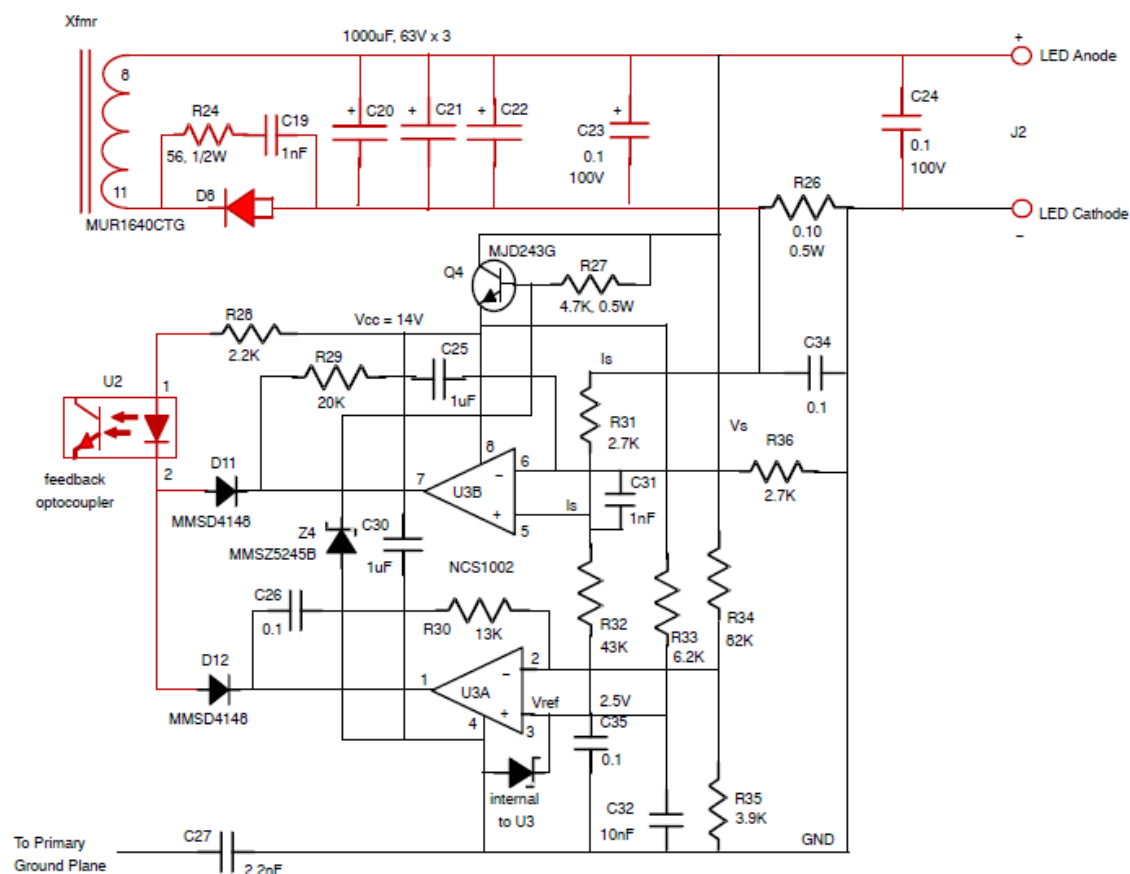
Τελικά, τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως στην πρώτη περιοχή η εγκατάσταση των LED αντικατοπτρίζει πολύ καλύτερα τα φυσικά χρώματα των αντικείμενων στο εξωτερικό περιβάλλον. Η ορατότητα αυξήθηκε σε κάποιο βαθμό ενώ η επικινδυνότητα των δρόμων παρέμεινε σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Κατά τα άλλα, η εγκατάσταση των LED διέφερε ελάχιστα από τα πρωτότυπα φωτιστικά συστήματα. Στην δεύτερη περιοχή, η τεχνολογία φωτισμού LED βελτίωσε, ουσιαστικά, όλα τα στοιχεία της ποιότητας του φωτισμού. Επιπλέον, η αντίληψη των φυσικών χρωμάτων των αντικειμένων και η οπτική τους προσέγγιση αυξήθηκε σε σύγκριση με τον αρχικό φωτισμό. Η επικινδυνότητα και εδώ παρέμεινε σε πολύ χαμηλό επίπεδο. Όπως αναφέρεται, η τοποθέτηση λαμπτήρων LED μείωσε την χρήση ενέργειας κατά 41 % έως και 76 %. Οπότε, μπορεί να είναι μια εφικτή εναλλακτική λύση στον φωτισμό εξωτερικών χώρων.

[38] A Constant Current Adjustable 0.7 A to 1.5 A, Up to 55 Vdc Single Stage Power Factor Corrected LED Power Supply

Frank Cathell

ON Semiconductor

Η παρούσα δημοσίευση περιγράφει ένα τροφοδοτικό, «off-line», απομονωμένο, ενιαίας μετατροπής, με ισχύ έως 90 W. Αυτό φέρει, ενεργή διόρθωση συντελεστή ισχύος (PFC), και προορίζεται για λαμπτήρα LED. Η βασική ιδέα του σχεδιασμού του θα μπορούσε επίσης να καλύψει εφαρμογές με σταθερό ρεύμα όπως φορτιστές συσσωρευτών υψηλής ισχύος. Οι συγκεκριμένες εφαρμογές LED στο εύρος από 40 W έως 125 W είναι, όπως γράφει ο συγγραφέας, κατάλληλες για λαμπτήρες φωτισμού δρόμων. Το κυκλωματικό διάγραμμα της προτεινόμενης τοπολογίας, φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.38.1: Κυκλωματικό Διάγραμμα Προτεινόμενης Τοπολογίας [38]

Συμπερασματικά, αυτή η συμπαγής ενιαία βαθμίδα ισχύος, διορθώνοντας το σταθερό ρεύμα οδήγησης του LED, είναι ιδανική για γενικό και αρχιτεκτονικό φωτισμό. Κάνοντας, όπως λέει ο συγγραφέας, μικρές αλλαγές στο δευτερεύον κύκλωμα ελέγχου, το ρυθμιζόμενο ρεύμα και η τάση μπορούν να προσαρμοστούν για να ανταποκριθεί το τροφοδοτικό στις συγκεκριμένες απαιτήσεις του τελικού προϊόντος. Ο μετασχηματιστής και τα στοιχεία ισχύος έχουν μέγεθος για τη λειτουργία τάσης 305 Vac.

[39] Side-illuminating LED luminaires with accurate projection in high uniformity and high optical utilization factor for large-area field illumination

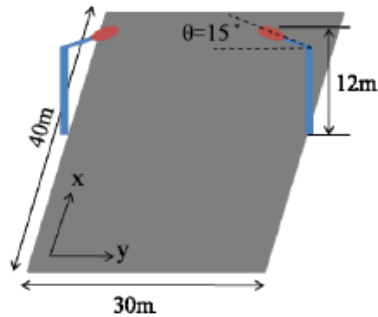
Jhih-You Cai, Ming-Shiou Tasi, Zheng-Yu Tasi and Ching-Cherng Sun

Institute of Lighting and Display, Department of Optics and Photonics,
National Central University, Chung-Li 320, Taiwan

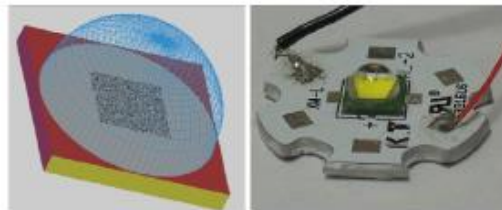
Yi-Chien Lo

Institute of Lighting and Display, Department of Optics and Photonics,
& Optical Sciences Center, National Central University, Chung-Li 320, Taiwan

Στο άρθρο αυτό προτείνεται και αναλύεται πειραματικά ένα νέο μοντέλο τύπου LED το οποίο στέλνει με ακρίβεια το φως σε μεγάλη ορθογώνια περιοχή για την επίτευξη ομοιόμορφου φωτισμού επιτυγχάνοντας υψηλό παράγοντα οπτικής χρησιμοποίησης στο στόχο του. Τα πλάγια φωτιστικά σώματα, για μεγάλη κλίμακα φωτισμού, είναι συνήθως υπό υψηλή γωνία κλίσης, ώστε να διευρυνθεί η περιοχή φωτισμού. Ωστόσο, το μοτίβο κάμπτεται μειώνοντας έτσι την ομοιομορφία και τον παράγοντα οπτικής χρησιμοποίησης στο στόχο. Στην εργασία αυτή, προτείνεται, όπως γράφεται από τους συγγραφείς, μια αποτελεσματική και χρήσιμη μέθοδος με περιστροφικό, συμμετρικό, φακό προβολής, για να ρυθμίζεται η κάμψη, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται ένα ορθογώνιο μοτίβο φωτισμού στο έδαφος. Πολλές πιθανές εφαρμογές (π.χ. αθλητικά γήπεδα) αναλύονται και συζητούνται. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το σχέδιο της περιοχής φωτισμού ενώ στην επόμενη εικόνα παρατίθεται το οπτικό μοντέλο και μία φωτογραφία πραγματικού δείγματος του φωτιστικού σώματος που χρησιμοποιείται.



Εικόνα 2.39.1: Παραλληλόγραμμη Περιοχή Φωτισμού Και Συσκευές Φωτισμού Της [39]



Εικόνα 2.39.2: Οπτικό Μοντέλο Φωτιστικού Σώματος (Αριστερά) Και Φωτογραφία Πραγματικού Δείγματος (Δεξιά) [39]

Εν κατακλείδι, για την επίτευξη ακριβούς σχεδιασμού, δίνεται το μοντέλο LED με βάση τη φιλοσοφία του μέσω-πεδίου και οι «normalized cross correlations (NCC)». Τα πειραματικά αποτελέσματα κρατούνται σε πολύ υψηλά επίπεδα, περίπου στο 99,5 %, σε διάφορες αποστάσεις εντός του τομέα. Επίσης, η οπτική αποτελεσματικότητα ολόκληρου του φωτιστικού είναι 80 % και ο συντελεστής οπτικής χρησιμοποίησης είναι υψηλότερος από 70 %. Ως εκ τούτου, έχει θετική επίδραση στην εξοικονόμηση ενέργειας, επειδή χρησιμοποιείται αποτελεσματικά όλη η οπτική ροή στην έξοδο του LED. Κατά την πειραματική ανάλυση, αξίζει να σημειωθεί πως η κατανομή φωτισμού είναι παρόμοια με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

[40] High-performance LED street lighting using microlens arrays

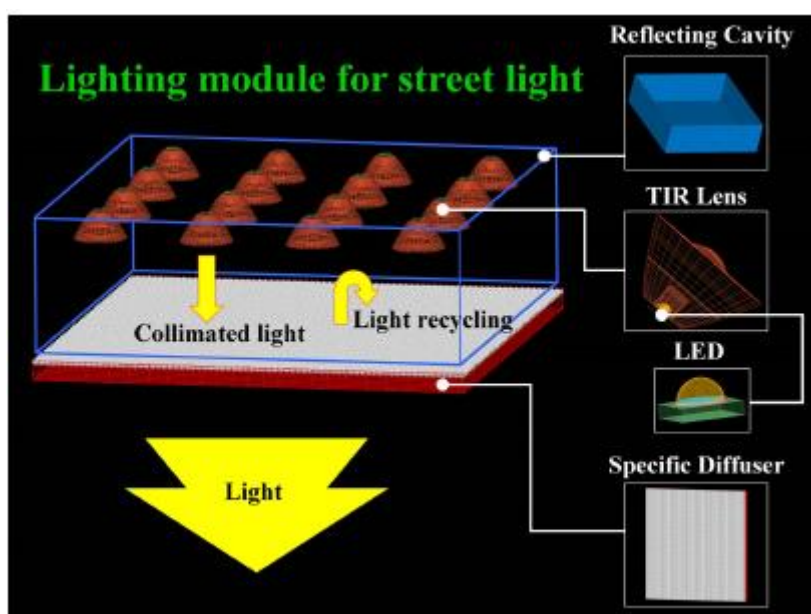
Xuan-Hao Lee and Ching-Cherng Sun

Institute of Lighting and Display Science/Department of Optics and Photonics,
National Central University, Chung-Li, 320, Taiwan

Ivan Moreno

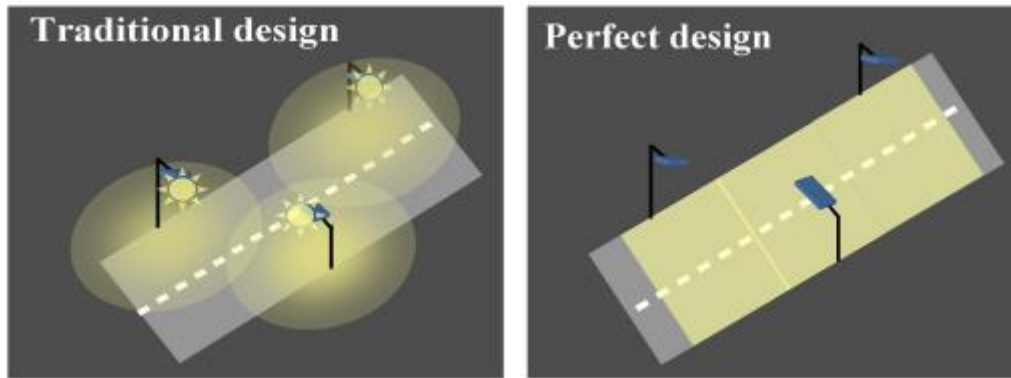
Unidad Academica de Fisica, Universidad Autonoma de Zacatecas, 98060, Zacatecas, Mexico

Η παρούσα δημοσίευση παρουσιάζει έναν αποδοτικό, όπως αναφέρει, λαμπτήρα LED για φωτισμό δρόμων με υψηλή ποιότητα. Το φωτιστικό παρουσιάζει υψηλή οπτική απόδοση, υψηλό οπτικό συντελεστή χρησιμοποίησης, χαμηλή αντανάκλαση, και φωτίζει το δρόμο ομοιόμορφα. Η ιδέα είναι μια συστοιχία LED με φακούς «TIR», η οποία τοποθετείται μέσα σε αντανακλαστικό παράθυρο, το οποίο καλύπτεται από ένα φύλλο μικροφακών. Η ανακλαστική κοιλότητα βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της ανακύκλωσης του φωτός. Κάθε φακός «TIR» εστιάζει το φως LED στους μικροφακούς και το φύλλο τους διανέμει ομοιόμορφα το φως αποκλειστικά στο δρόμο. Το σχηματικό διάγραμμα της εν λόγω εφαρμογής φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.40.1: Σχηματικό Διάγραμμα Προτεινόμενου Λαμπτήρα LED [40]

Στην παρακάτω εικόνα, που δίνεται από τους συγγραφείς, φαίνονται δύο σχήματα. Το πρώτο δείχνει τον παραδοσιακό σχεδιασμό των φωτιστικών συστημάτων στον οδικό φωτισμό. Το δεύτερο δείχνει τον ιδανικό σχεδιασμό των φωτιστικών συστημάτων στον φωτισμό δρόμων.



Εικόνα 2.40.2: Παραδοσιακός Σχεδιασμός Οδικού Φωτισμού (Αριστερά) Και Ιδανικός Σχεδιασμός Οδικού Φωτισμού (Δεξιά) [40]

Εν κατακλείδι, ο λαμπτήρας LED που παρουσιάζεται στη δημοσίευση αυτή, προσφέρει, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πειραμάτων, ορθογώνιο μοτίβο φωτός που μεγιστοποιεί την απόδοση του φωτισμού κατευθύνοντας το φως μόνο όπου είναι απαραίτητο. Το φως κατανέμεται αποτελεσματικά και ομοιογενώς γεγονός που μειώνει την αντανάκλαση, και βελτιώνει τόσο την άνεση στην όραση, όσο και την οπτική ικανότητα των οδηγών των αυτοκινήτων. Εκτιμήθηκε, πειραματικά, από τους μηχανικούς η απόδοση του λαμπτήρα μέσω της μεθόδου ανίχνευσης ακτινών «Monte Carlo» για τους κύριους τύπους ρυθμίσεων (κεντρική, ζιγκ-ζαγκ, και μόνο από την μια πλευρά). Ο λαμπτήρας επιτυγχάνει πολύ υψηλό οπτικό συντελεστή χρησιμοποίησης από 58 % έως 81 %. Επιπλέον, σε όλες τις περιπτώσεις ο λαμπτήρας LED που προτείνεται επιτυγχάνει την αναμενόμενη απόδοση, σύμφωνα με τα διεθνή δεδομένα.

[41] Rectangular illumination using a secondary optics with cylindrical lens for LED street light

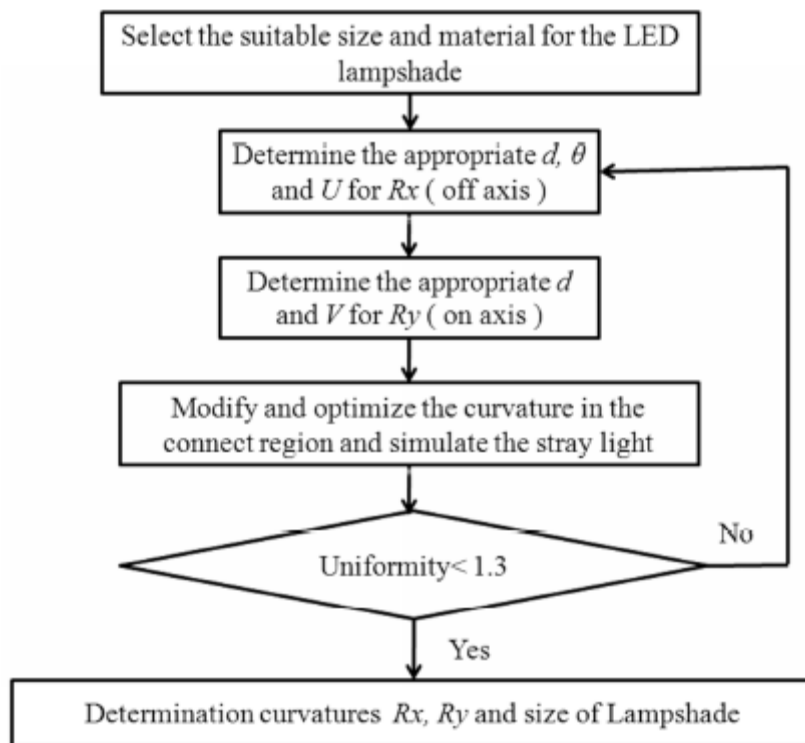
Hsi-Chao Chen

Department of Electronic Engineering, National Yunlin University of Science and Technology, Yunlin 64002, Taiwan

Jun-Yu Lin, and Hsuan-Yi Chiu

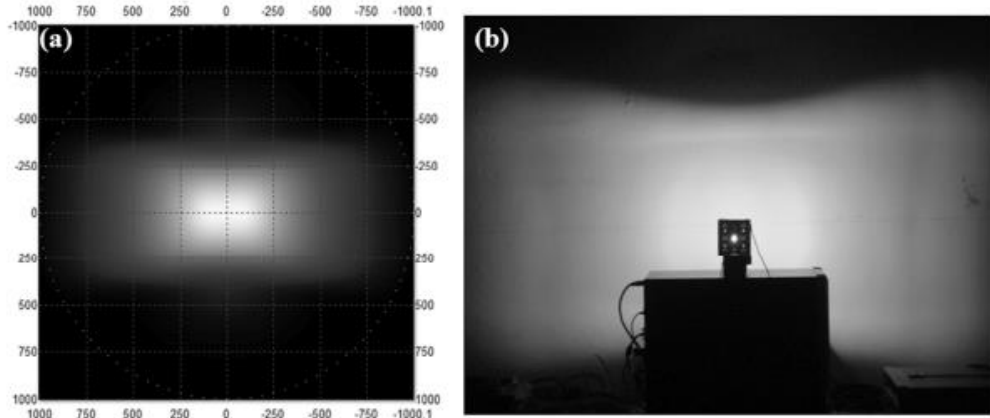
Graduate School of Optoelectronics, National Yunlin University of Science and Technology, Yunlin 640 Taiwan

Στην παρούσα δημοσίευση, αναλύεται ένα μοντέλο λαμπτήρα LED για φωτισμό δρόμων το οποίο έχει ορθογώνια κατανομή με αναλογία απόκλισης γωνίας 7:3 για απόδοση οικονομικού φωτισμού. Ως εκ τούτου, η έρευνα των συγγραφέων, για τροφοδότηση δευτερευόντων οπτικών με δύο κυλινδρικούς φακούς ήταν, όπως γράφουν, διαφορετική από την ελεύθερης μορφής καμπυλότητα για ορθογώνιο φωτισμό. Το διάγραμμα ροής, του σχεδιασμού και της προσομοίωσης, δίνεται στην παρακάτω εικόνα.

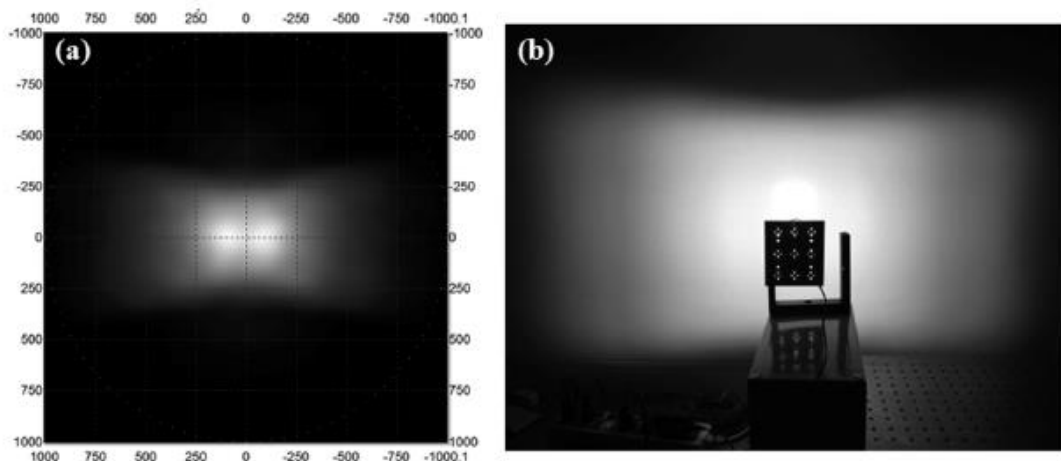


Εικόνα 2.41.1: Διάγραμμα Ροής Σχεδιασμού Και Προσομοίωσης [41]

Η αναλυτική λύση για καμπυλότητες, με διαφορετικής αναλογίας ορθογώνια, λύνει αυτή τη λεπτομέρεια με ανίχνευση του φωτός και με τον εντοπισμό των οριακών συνθηκών του λαμπτήρα. Γίνεται στην πειραματική μελέτη, αλλά και στις υπολογιστικές προσομοιώσεις, σύγκριση της μεθόδου για μονή λυχνίαLED και για συστοιχία με εννέα LED, τα οπτικά αποτελέσματα της οποίας δίνονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 2.41.2: Ορθογώνιος Φωτισμός Μιας Λυχνίας LED Στην Προσομοίωση (Αριστερά) Και Πειραματικά (Δεξιά) [41]



Εικόνα 2.41.3: Ορθογώνιος Φωτισμός Συστοιχίας Εννέα LED Στην Προσομοίωση (Αριστερά) Και Πειραματικά (Δεξιά) [41]

Συμπερασματικά, ύστερα από τις πειραματικές μελέτες, έγινε από τους μηχανικούς μία βέλτιστη προσομοίωση των καμπυλοτήτων που προέκυψαν, για να επιτευχθεί ορθογώνιος φωτισμός σε μοτίβο σχήματος «bat-wing». Ύστερα, βρέθηκε ότι η ομοιότητα μεταξύ των πειραματικών αποτελεσμάτων και της προσομοίωσης θα μπορούσε να φθάσει 98,46 % και 97,30 %, αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας την τεχνική «NCC». Το ποσοστό σφάλματος θα μπορούσε να μειωθεί σε 4,36 % και 4,87 % μέσω του «RMS» για μονή λυχνία LED και για συστοιχία των εννιά LED, αντίστοιχα. Η μέση ομοιομορφία θα μπορούσε να μειωθεί σε 1,28 και 1,16 και για τα δυο. Τέλος, η απόσταση ανοχής στον άξονα «z» ήταν περισσότερο ευαίσθητη

από ότι στον «x» και «y» άξονα. Οι ανοχές των «x», «y» και «z» πρέπει να διατηρούνται κάτω από ± 0.2 mm για να είναι ο σχετικός φωτισμός πάνω από 99 %.

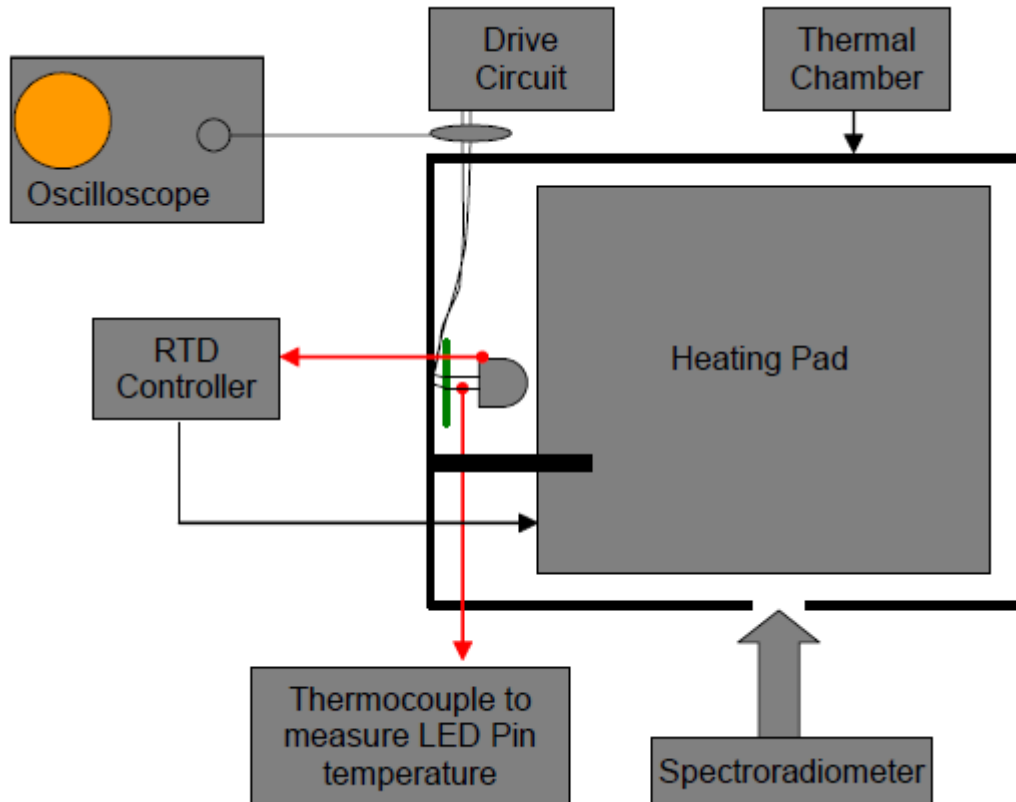
[42] A method For Projecting Useful Life Of LED Lighting Systems

Eugene Hong and Nadarajah Narendran

Lighting Research Center

Rensselaer Polytechnic Institute, Troy , NY12180

Στην εργασία αυτή ερευνήθηκε μια μη επεμβατική μέθοδος για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας διασταύρωσης (junction heat) σε διόδους εκπομπής φωτός (LED) τύπου «AlGaInP». Επειδή η κύρια αιτία για την αποικοδόμηση των LED είναι η θερμοκρασία διασταύρωσης, αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει την διάρκεια ζωής τους. Επί του παρόντος, οι εκτιμήσεις του χρόνου ζωής των LED, στα συστήματα φωτισμού, αναφέρεται από τους κατασκευαστές (100.000 ώρες) με βάση την μέση διάρκεια ζωής μιας μόνο λυχνίας LED μετρώντας υπό συγκεκριμένες συνθήκες εργαστηρίου. Στην πραγματικότητα, τα ποσοστά της υποβάθμισης είναι πολύ διαφορετικά για τα LED σε ένα σύστημα υπό πραγματικές συνθήκες, από ότι για εκείνα σε εργαστηριακό περιβάλλον, καθώς η συσκευασία και οι περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες λειτουργεί το σύστημα μπορεί να επηρεάσει την απόδοσή τους. Οι τρέχουσες πρακτικές για την εκτίμηση του χρόνου ζωής, απαιτούν χρονοβόρες δοκιμές για την πρόβλεψη με ακρίβεια. Ως εκ τούτου, μια ταχεία μέθοδος εκτίμησης είναι απαραίτητη. Με βάση προηγούμενες μελέτες, οι συγγραφείς επέλεξαν να επικεντρωθούν στην μέτρηση της θερμοκρασίας διασταύρωσης και τη σχέση της με την υποβάθμιση των LED. Στην παρακάτω εικόνα δίνεται το σχηματικό διάγραμμα της πειραματικής διαδικασίας.



Εικόνα 2.42.1: Σχηματικό Διάγραμμα Πειραματικής Διαδικασίας[42]

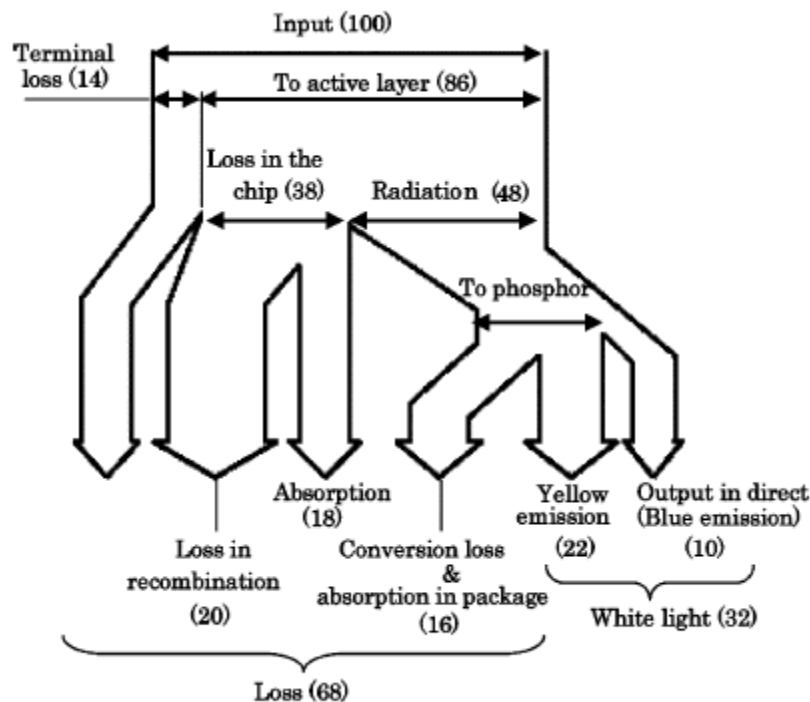
Ο πρωταρχικός στόχος αυτής της μελέτης ήταν να βεβαιωθούν οι συγγραφείς για το ότι η μετατόπιση του μήκους κύματος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί με ακρίβεια η θερμοκρασία διασταύρωσης για LED τύπου «AlGaInP» των 5mm. Η θερμοκρασία αυξήθηκε με την αλλαγή του ρεύματος, διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου γύρω από το LED και με την αλλαγή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου, κρατώντας σταθερό το ρεύμα. Τα πειραματικά αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι, για τα εμπορικού τύπου LED, κορυφαία μήκη κύματος μετατοπίζουν αναλογικά τη θερμοκρασία διασταύρωσης ανεξάρτητα από το πώς αυτή δημιουργήθηκε στη διασταύρωση. Αυτή η γραμμική σχέση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως ένα άμεσο μέτρο για την θερμοκρασία διασταύρωσης. Επειδή, η κύρια αιτία για την αποικοδόμηση των «AlGaInP» LED είναι η θερμότητα διασταύρωσης, ο ρυθμός αποικοδόμησης της φωτεινότητας των λαμπτήρων αυτών μπορεί να προβλεφθεί με τη μέτρηση της φασματικής μετατοπίσεως. Ως εκ τούτου, τα συστήματα LED μπορούν να αξιολογηθούν χωρίς την αποσυναρμολόγησή τους.

[43] Latest Trends in LED Lighting

MAKOTO BESSHO and KEIICHI SHIMIZU

Toshiba Lighting and Technology Co., Ltd., Japan

Το παρών άρθρο αναφέρει τις τελευταίες τάσεις στην τεχνολογία φωτισμού LED. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, μερικά από τα εξαιρετικά χαρακτηριστικά των λαμπτήρων LED είναι η υψηλή τους απόδοση, η μεγάλη διάρκεια ζωής τους, το μικρό τους μέγεθος, το μικρό τους βάρος, η μηδενική περιεκτικότητά τους σε υδράργυρο και οι πολύ χαμηλές εκπομπές σε ακτίνες «IR» και «UV». Στην παρακάτω εικόνα δίνεται ένα διάγραμμα, που απεικονίζει την ενεργειακή ισορροπία, ενός τυπικού ψυχρού LED.



Εικόνα 2.43.1: Ενεργειακή Ισορροπία Ενός Τυπικού Λευκού LED [43]

Συμπερασματικά, μέσα στην έρευνα τους οι συγγραφείς αναφέρουν πως τα LED έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται πολύ στον οδικό φωτισμό. Το προϊόν, που φαίνεται στο άρθρο, παράγει φωτεινότητα 1,0 cd ανά τετραγωνικό μέτρο, όταν τοποθετηθεί σε ύψος 10 m με απόσταση 40 m. Ενώ λοιπόν, καταναλώνει μόνο 122 W, έχει το ίδιο επίπεδο επιδόσεων με τους λαμπτήρες υδραργύρου και με τους λαμπτήρες υψηλής πίεσης νατρίου των 400 W που χρησιμοποιούνται σήμερα για

τον φωτισμό των αυτοκινητόδρομων. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα, νέου τύπου, φωτιστικό σύστημα LED οδικού φωτισμού που δίνεται στην δημοσίευση.



Εικόνα 2.43.2: Φωτιστικό Σύστημα LED Οδικού Φωτισμού (Κλάσης $1.0 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$)

[44] Status of GaN/SiC-based LEDs and their application in solid state lighting

Hua-Shuang Kong, James Ibbetson, and John Edmond

Cree, Inc., Durham, NC, USA

Η δημοσίευση αυτή πραγματεύεται τους τελευταίους σχεδιασμούς της πλακέτας «GaN / SiC». Επίσης δίνονται στοιχεία για την απόδοση εκπομπής του «μπλε» LED, και η απόδοση των εξαρτημάτων των «λευκών» LED. Ακόμα το έγγραφο αυτό περιλαμβάνει μια έρευνα για την τρέχουσα απόδοση και την προβλεπόμενη μελλοντική απόδοση των λαμπτήρων LED. Ο παρακάτω πίνακας δίνει τα προβλεπόμενα επίπεδα απόδοσης φωτισμού των LED, έως το 2015 σε βαθμούς Kelvin.

	6000K	4100K	3500K	2700K
Data Sheet LPW	210	189	169	151
Typical * Thermal Loss	5%	5%	5%	5%
Typical * Optical Loss	5%	5%	5%	5%
Typical * Driver Loss	8%	8%	8%	8%
Achievable * LPW	174	157	140	125
CRI	~75	~80	~82	~83

* Typical with average/good design practices

Εικόνα 2.44.1: Πίνακας Προβλεπόμενης Απόδοσης Φωτισμού Των LED Το 2015 [44]

Εν ολίγοις, κατά τα λεγόμενα των συγγραφέων, η απόδοση και το κόστος των λαμπτήρων LED με πλακέτα «GaN / SiC» έχουν βελτιωθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια. Αυτό έχει δώσει νέα εργαλεία σε μηχανικούς και σχεδιαστές στην ταχέως αναπτυσσόμενη βιομηχανία στερεάς κατάστασης φωτισμού. Κλείνουν λέγοντας πως, ο LED φωτισμός είναι έτοιμος για πολλές από τις σημερινές εφαρμογές και σύντομα θα είναι η πιο αποτελεσματική πηγή φωτός γενικά διαθέσιμη.

[45] Concept of Intelligent Solid-State Street Lighting Technology

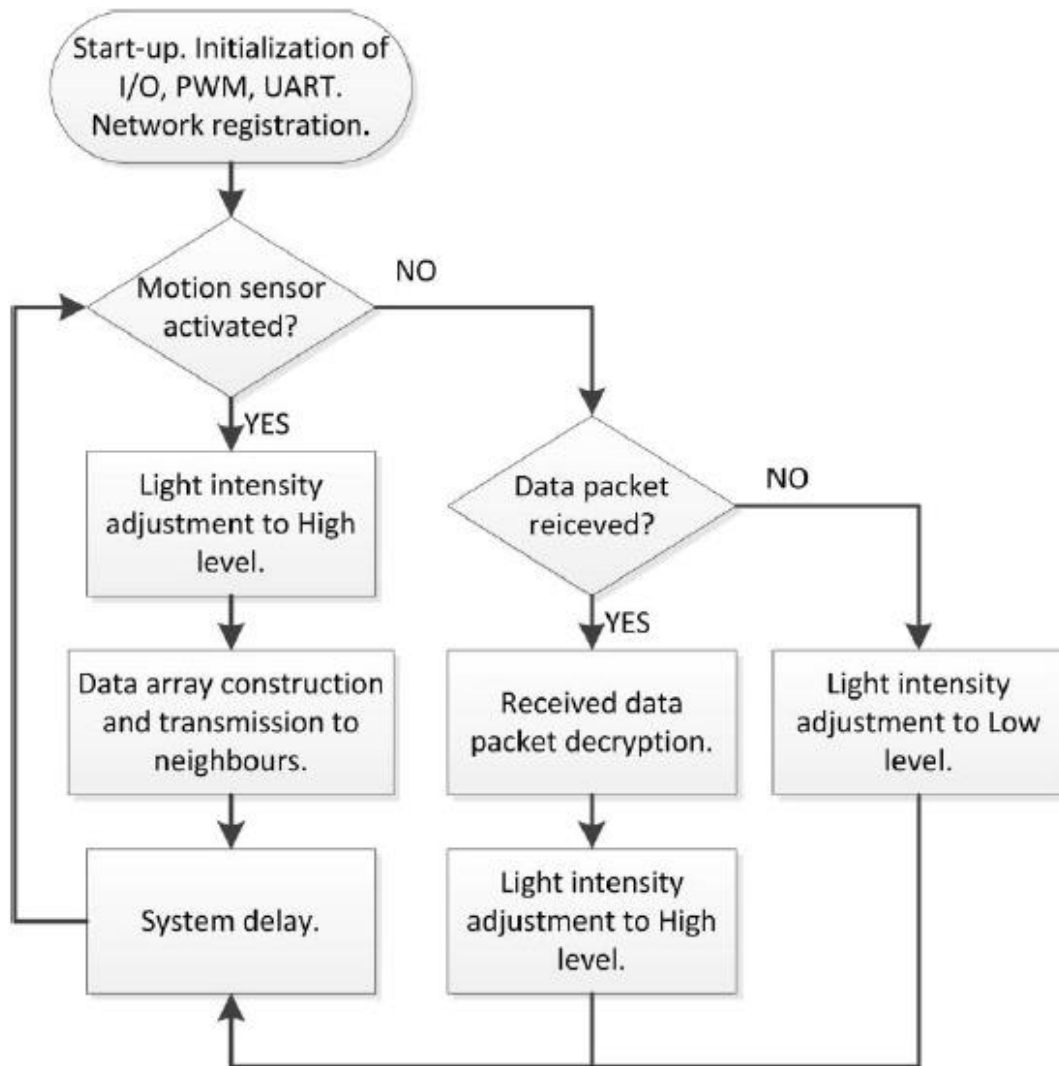
P. Vitta, L. Dabasinskas,

A. Tuzikas, A. Petrulis,

D. Meskauskas, A. Zukauskas

Institute of Applied Research, Vilnius University

Όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται, αρχικά από τους συγγραφείς, ο οδικός φωτισμός καταναλώνει περίπου το 2 % της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι πρέπει να γίνει η εξισορρόπηση μεταξύ της εξοικονόμησης ενέργειας και των κοινωνικών αναγκών για την ασφάλεια της κυκλοφορίας, την πρόληψη του εγκλήματος και την αισθητική άνεση. Στην έρευνα αυτή, παρουσιάζεται από τους συγγραφείς ένα ευφύες πρωτότυπο σύστημα οδικού φωτισμού αποτελούμενο από διόδους εκπομπής φωτός (LED). Το πρωτότυπο αυτό σύστημα είναι εφοδιασμένο με αισθητήρες κίνησης και μικροελεγκτές και δοκιμάστηκε υπό πραγματικές εξωτερικές συνθήκες. Η μέθοδος αυτή που υλοποιείται σε δύο επίπεδα και σε δύο ζώνες βασίστηκε στην ψυχοσωματική έρευνα. Το διάγραμμα ροής του μικροελεγκτή της έρευνας φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, όπως παρατίθεται στην δημοσίευση.



Εικόνα 2.45.1: Διάγραμμα Ροής Μικροελεγκτή [45]

Συμπερασματικά, κατά την πειραματική διαδικασία λοιπόν, οι επιστήμονες εντόπισαν μείωση της αποδοτικότητας υπό συνθήκες «dimming» και σημαντικές ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές σε φάσμα συχνοτήτων δεκάδων και εκατοντάδων MHz. Τα δύο αυτά συμπεράσματα τέθηκαν ως περιοριστικοί παράγοντες για την ρύθμιση του συμβατικού ρεύματος. Τονίστηκε επίσης, από τους συγγραφείς, η ανάγκη περαιτέρω βελτίωσης του συστήματος.

[46] A modified CIE mesopic table and the effectiveness of white light sources

MB Kostic, LS Djokic

Lighting Research and Technology

Η πρακτική εφαρμογή του πρόσφατα ανεπτυγμένου μεσοπικού συστήματος «CIE», προϋποθέτει την ανάπτυξη νέων συσκευών μέτρησης, δίνει νέες προτάσεις, και αναπτύσσει νέο λογισμικό για το σχεδιασμό στον φωτισμό δρόμων. Το παρόν έγγραφο παρουσιάζει έναν διορθωμένο φωτοπικό πίνακα, ο οποίος επιτρέπει στους σχεδιαστές συστημάτων φωτισμού να χρησιμοποιήσουν τις υπάρχουσες διαδικασίες σχεδιασμού και τις μεθόδους μέτρησης. Φαίνεται επίσης, κατά τους συγγραφείς, ότι υπάρχουν πολλοί λόγοι για την πρακτική εφαρμογή του μεσοπικού συστήματος «CIE», αν και μόνο αν η φωτοπική όραση εμπλέκεται στην αναγνώριση των αντικειμένων. Χρησιμοποιώντας, όπως γράφεται, τον διορθωμένο αυτό φωτοπικό πίνακα, γίνεται ανάλυση σχετικά με τις δυνατότητες εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας και το κόστος κατά την εφαρμογή των φωτεινών πηγών λευκού φωτός, το οποίο είναι, οπτικά, το πιο αποτελεσματικό στο μεσοπικό φάσμα.

Συμπερασματικά, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του πίνακα οι επιστήμονες, πραγματοποιούν συγκρίσεις μεταξύ των φωτιστικών συστημάτων «λευκού» φωτός, με βάση την αποτελεσματικότητά τους στον οδικό φωτισμό. Τα αποτελέσματα, αν και βασίζονται σε απλουστευμένη ανάλυση, έδειξαν ότι οι δυνατότητες εξοικονόμησης, από τα φωτιστικά συστήματα LED που χρησιμοποιούνται στον φωτισμό δρόμων, είναι σημαντικά χαμηλότερη από εκείνη που αναφέρουν οι κατασκευαστές τους. Για τον λόγο αυτό λοιπόν, όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν, κατά τον σχεδιασμό συστημάτων οδικού φωτισμού, καλό θα ήταν να προηγηθεί μια τεχνοοικονομική ανάλυση.

[47] High Power Factor Dimmable Lighting System for Electrodeless Fluorescent Lamp

M. F. da Silva, J. de P. Lopes,

N. B. Chagas, A. R. Seidel,

M. A. Dalla Costa and R. N. do Prado,

Member, IEEE, Federal University of Santa Maria

UFMS Group of Intelligence in Lighting – GEDRE

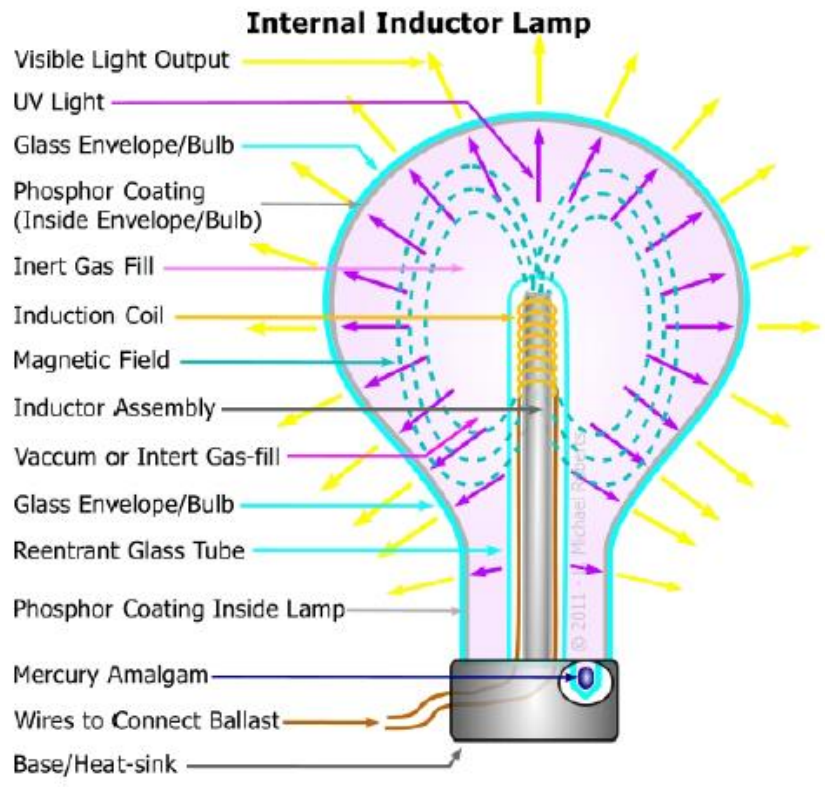
Αυτή η εργασία παρουσιάζει έναν ενιαίο μετροπέα (SEPIC), ο οποίος παρέχει υψηλή διόρθωση στον συντελεστή ισχύος της τροφοδοσίας των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής. Δεδομένου ότι το φορτίο είναι μεταβλητό, χρησιμοποιείται ψηφιακή αντιστάθμιση για την κάλυψη του ελέγχου της τάσης εξόδου, αφού η εξασθένιση, επιτυγχάνεται μεταβάλλοντας την τάση εξόδου μέσω του μετατροπέα (SEPIC). Η πληροφορία αυτή μπορεί να σταλεί, στον μετατροπέα, μέσω ενός ασύρματου συστήματος. Ένας μικροελεγκτής χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του μετατροπέα, δεδομένου ότι παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά που τον καθιστούν υπεύθυνο για την εξασθένιση της τάσης.

[48] How Magnetic Induction Lamps Work

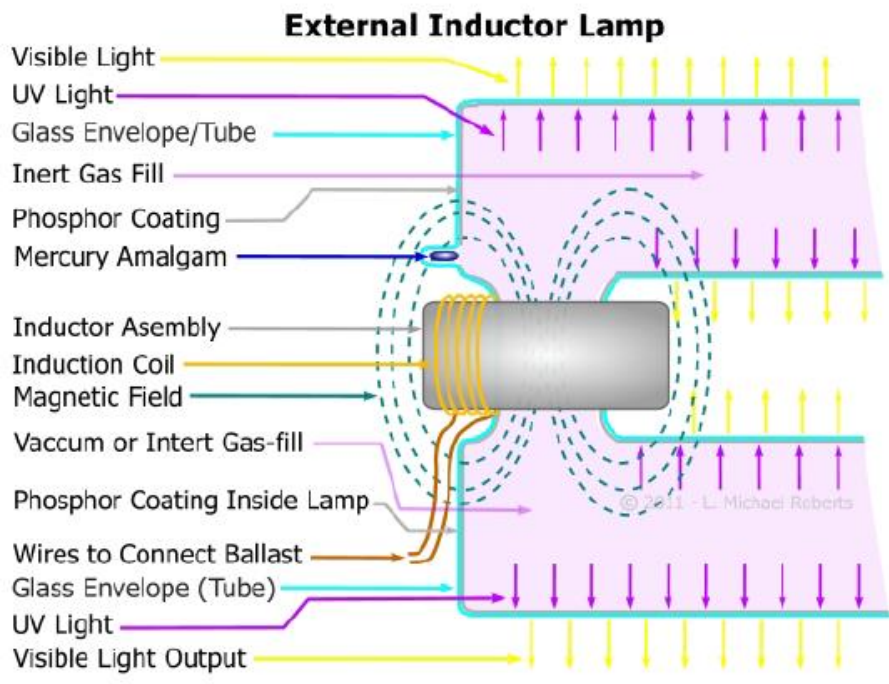
Michael Roberts

Indulux Technologies Inc

Στην δημοσίευση αυτή ο συγγραφέας εξηγεί τον τρόπο λειτουργίας των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής. Δίνεται έμφαση στο σύστημα τροφοδοσίας τους, στην διατήρηση της φωτεινής ροής, στις παρεμβολές των ραδιοσυχνοτήτων και στον χρόνο ζωής τους. Επίσης, μας δίνει τα δύο είδη λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής, δηλαδή τον λαμπτήρα με εσωτερικούς επαγωγούς και αυτόν με εξωτερικούς επαγωγούς. Τα κατασκευαστικά διαγράμματα των δύο αυτών μοντέλων δίνονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 2.48.1: Λαμπτήρας Μαγνητικής Εσωτερικής Επαγωγής [48]



Εικόνα 2.48.2: Λαμπτήρας Μαγνητικής Εξωτερικής Επαγωγής [48]

Συμπερασματικά, δίνονται από τον συγγραφέα τα πλεονεκτήματα των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής. Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, έχουν πάρα πολύ μεγάλο χρόνο ζωής και υψηλή ενεργειακή απόδοση. Επίσης, μεγάλο πλεονέκτημα τους είναι η εξοικονόμηση ενέργειας. Ακόμα, δίνονται μεγάλες εγγυήσεις από τους κατασκευαστές και έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης. Τέλος, έχουν εξαιρετική ποιότητα φωτισμού με μεγάλη διάρκεια, ανάβουν σε ελάχιστο χρονικό διάστημα από την έναρξή τους, έχουν πολύ καλό συντελεστή «S/P» και είναι φιλικά προς το περιβάλλον.

[49] The Science Behind Adattsi Magnetic Induction Lighting

Michael Roberts

Adattsi Sustainable Energy Products And Solutions

Στην δημοσίευση αυτή ο συγγραφέας κάνει αναφορά στην κατασκευή και την λειτουργία των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής. Πρώτα κάνει μια σύντομη αναφορά στην ιστορία των συστημάτων φωτισμού, αναφέροντας περιληπτικά τους λαμπτήρες πυρακτώσεως και τους λαμπτήρες φθορισμού. Ύστερα αναφέρει τις διαφορές των λαμπτήρων με ηλεκτρόδια από τους λαμπτήρες δίχως ηλεκτρόδια τονίζοντας τα σημεία αστοχίας τους. Επίσης, γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στην διατήρηση της φωτεινής ροής των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής και στον τομέα της φωτοπικής, της σκοτοπικής και της μεσοπικής όρασης, ενώ εξηγεί και δίνει τον συντελεστή «S/P» των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής. Ύστερα αναφέρει τον δείκτη «CRI» δηλαδή την θερμοκρασία χρώματος των λαμπτήρων. Το επόμενο κεφάλαιο συγκρίνει τις φασματικές κατανομές των λαμπτήρων, δίνοντας ιδιαίτερο προβάδισμα στους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής. Έπειτα, αναφέρεται στον ψυχολογικό αντίκτυπο του φωτός στον ανθρώπινο οφθαλμό, αναλύοντας τα φαινόμενα «Hum», «Buzz», «Flicker» και «Wagon Wheel». Τέλος, γίνεται αναφορά στην τροφοδοσία των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής, στον συντελεστή ισχύος, στην εξοικονόμηση ενέργειας τους αλλά και στις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Κλείνει λέγοντας για τα πλεονεκτήματα των λαμπτήρων δίχως ηλεκτρόδια.

[53]Lighting In Extreme Temperature Environments: The Highs And The Lows

Marty Cole, Ken Martin,

Michael Walton, Mark Throckmorton,

Members of IEEE

Η εργασία αυτή εξετάζει τις επιδράσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στα φωτιστικά συστήματα. Οι λάμπες και φωτιστικά συστήματα, όπως αναφέρεται, σχεδιάζονται υπό συνθήκες δωματίου, δηλαδή σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 25° C. Οι χαμηλές μα και οι υψηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση ενός φωτιστικού συστήματος. Οι εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες, μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την εκκίνηση των λαμπτήρων και την αποτελεσματικότητά τους, όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται. Σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, τόσο η διάρκεια ζωής της λυχνίας όσο και το σύστημα ελέγχου της επηρεάζονται σημαντικά, σε συνδυασμό με την μείωση της φωτεινής ροής της. Έτσι οι συγγραφείς αναφέρονται, επί του θέματος, στους λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων, στους λαμπτήρες υψηλής πίεσης νατρίου, στους λαμπτήρες φθορισμού, πυρακτώσεως, μαγνητικής επαγωγής και τέλος στα φωτιστικά συστήματα LED. Καθένα από αυτά δοκιμάζεται διαφορετικά, όπως λέγεται, στις ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Υστέρα από πειραματικά αποτελέσματα και διάφορες δοκιμασίες κατά τις οποίες δοκιμάστηκαν τα παραπάνω φωτιστικά συστήματα οι συγγραφείς γράφουν τα συμπεράσματά τους. Τα ανώτατα φυσιολογικά όρια θερμοκρασίας περιβάλλοντος για τους περισσότερους λαμπτήρες κυμαίνονται από 25° C έως και 40° C. Για φωτιστικά συστήματα που απαιτούν συστήματα ελέγχου, ο περιορισμός αυτός βασίζεται στο ίδιο το σύστημα ελέγχου. Η ομαλότερη χαμηλή θερμοκρασία για τα φωτιστικά συστήματα φθορισμού είναι οι 0° C, για τους λαμπτήρες αλογονιδίων μετάλλου είναι οι -35° C, ενώ για όλους τους άλλους οι -40° C. Οι υψηλές περιβαλλοντικές θερμοκρασίες υπάρχουν εποχιακά σε πολλές περιοχές του κόσμου και μπορούν να φτάσουν λίγο πάνω από τους 50° C. Οι χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος σε άλλες περιοχές μπορούν να φθάσουν έως και τους -60° C τον χειμώνα. Με εξαίρεση τους λαμπτήρες φθορισμού, όλες οι άλλες πηγές φωτός

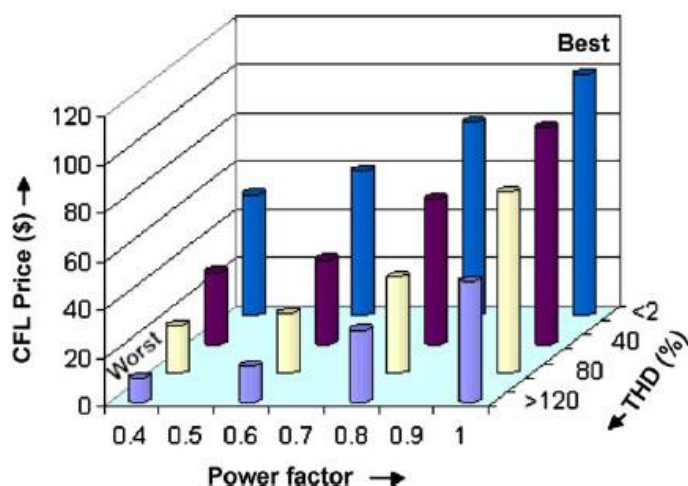
λειτουργούν αποδοτικά σε χαμηλές θερμοκρασίες. Ενδέχεται ωστόσο, όπως χαρακτηριστικά γράφεται, να υπάρχουν προβλήματα με την έναρξη κάποιων φωτιστικών συστημάτων σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά αν ήδη αυτά λειτουργούν, όταν υπόκεινται σε αυτές, τότε δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα. Τα φωτιστικά συστήματα LED βρέθηκαν να έχουν ιδιαίτερο πρόβλημα με τον πάγο. Με την εξαίρεση των λαμπτήρων πυρακτώσεως, όλες οι άλλες πηγές φωτός παρουσιάζουν προβλήματα κατά την λειτουργία τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Τέλος, αναφέρεται πως, για τα φωτιστικά συστήματα που τοποθετούνται σε επικίνδυνες τοποθεσίες, το ανώτερο όριο θερμοκρασίας τους έχει περισσότερο να κάνει με το αν το σύστημα ελέγχου τους αντέχει σε αυτούς τους βαθμούς κελσίου.

[54] Comparative Study Of Energy Saving Light Sources

N. Khan, N. Abas

Η δημοσίευση αυτή, είναι ουσιαστικά μια τεχνοοικονομική ανάλυση των συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού με τα φωτιστικά συστήματα LED, τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, τους λαμπτήρες φθορισμού, τους λαμπτήρες πυρακτώσεως, τα φωτοβολταϊκά συστήματα φωτισμού και τα φωτιστικά συστήματα οπτικών ινών. Όπως αναφέρεται, το λειτουργικό κόστος των φωτιστικών συστημάτων LED βρέθηκε πολύ μικρότερο από όλα τα υπόλοιπα συστήματα φωτισμού. Παρ' όλα αυτά, τα φωτιστικά συστήματα LED, οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού και οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, λέγεται πως, χειροτερεύουν την ποιότητα της ηλεκτρικής ισχύος των δικτύων χαμηλής τάσης λόγω της υψηλής αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος και των χαμηλών τους συντελεστών ισχύος. Οι λαμπτήρες φθορισμού εκπέμπουν υπεριώδη ακτινοβολία και ρυπαίνουν το περιβάλλον με υδράργυρο και φώσφορο, σε περίπτωσης θραύσης τους, ή στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας και τις επιπτώσεις στο περιβάλλον προτιμούνται τα συστήματα φωτισμού LED αν και στο θέμα της ισχύος προτιμότεροι, γράφεται πως είναι οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής. Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, σύμφωνα με τους κατασκευαστές λειτουργούν σε θερμοκρασίες μεταξύ των -30°C έως 50°C ενώ οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού -20°C έως 60°C σύμφωνα με τους κατασκευαστές τους. Το κόστος των λαμπτήρων

με χαμηλό συντελεστή «THD» και υψηλό συντελεστή ισχύος, για τους συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού, τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής και τα φωτιστικά συστήματα LED, μπορεί να είναι πέντε έως δέκα φορές υψηλότερο σε σχέση με αυτούς που έχουν υψηλό συντελεστή «THD» και χαμηλό συντελεστή ισχύος. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα διάγραμμα που συσχετίζει την τιμή των συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού με τον συντελεστή «THD» και τον συντελεστή ισχύος τους.



Εικόνα 2.54.1: Διάγραμμα Διαφοροποίησης Τιμών Σύμφωνα Με Τους Συντελεστές «THD» Και «PF» Στους Συμπαγείς Λαμπτήρες Φθορισμού [54]

Συμπερασματικά, οι συγγραφείς αναφέρουν πως, ένας λαμπτήρας χαρακτηρίζεται από την ισχύ που απαιτείται για να λειτουργήσει, από τον συντελεστή ολικής αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος «THD», τον συντελεστή ισχύος του, την φωτεινή του ροή, την αποτελεσματικότητά του, την αποδοτικότητά του, τον δείκτη «CRI» και την τιμή αγοράς του. Οι συγγραφείς συνιστούν την χρήση φωτιστικών συστημάτων LED ή συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού με χαμηλό συντελεστή ολικής αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος (THD<10%) και υψηλό συντελεστή ισχύος (PF>0.95). Τέλος, αναφέρεται πως, οι λαμπτήρες φθορισμού είναι πολύ αποτελεσματικοί αλλά λιγότερο από τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής και τα φωτιστικά συστήματα LED. Υπάρχει, όπως λένε, επείγουσα ανάγκη να αυξηθεί η ευαισθητοποίηση σχετικά με τα νέα φωτιστικά συστήματα LED.

[55] Environmental Aspects Of Magnetic Induction Lamps

Michael Roberts

Indulux Technologies Inc.

Στο κείμενο αυτό, ο συγγραφέας, αναπτύσσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής. Αρχικά, κάνει αναφορά στα ποσοστά της ενέργειας, παγκοσμίως, που καταναλώνονται για τον φωτισμό σε σύγκριση με τις υπόλοιπες καταναλώσεις ενέργειας. Ύστερα, μας εξηγεί τις βασικές έννοιες της ενεργειακής αποδοτικότητας των φωτιστικών σωμάτων και της οπτικής τους αποτελεσματικότητας. Ο συγγραφέας έχει σαν επόμενο στόχο στην ερευνά του να εξηγήσει τους διάφορους τρόπους τροφοδοσίας των φωτιστικών συστημάτων, εισάγοντας τον όρο «ballast over head». Έπειτα, ξεκινάει η έρευνα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής, τους οποίους συγκρίνει με τους λαμπτήρες αλογόνων μετάλλου. Αρχικά, ασχολείται με το θέμα των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Ύστερα, αναφέρεται στα θερμικά φορτία, στην χρήση του υδραργύρου και στο θέμα της ανακύκλωσης.

Συμπερασματικά, ο συγγραφέας δίνει τα αποτελέσματα της σύγκρισης του με τους συμβατικούς λαμπτήρες φωτισμού. Τα πλεονεκτήματα λοιπόν των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής είναι, η εξοικονόμηση ενέργειας, η αυξημένη τους φωτεινή ροή, οι ελάχιστες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, και το μειωμένο τους κόστος λόγω της άμεσης εκκίνησης τους λόγω του μειωμένου θερμικού τους φορτίου. Επίσης, αναφέρονται σαν πλεονεκτήματα, η μεγάλη διάρκεια ζωής τους, άρα και το ότι χρησιμοποιούνται λιγότερα υλικά για την αντικατάστασή τους, η μειωμένη χρήση υδραργύρου, μειώνοντας έτσι την μόλυνση στο περιβάλλον και τέλος, η δυνατότητα ανακύκλωσης όλων σχεδόν των υλικών τους.

3

Σκοπός Της Εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σύγκριση των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής με τα φωτιστικά συστήματα LED για εφαρμογή τους στον ηλεκτροφωτισμό οδών.

Για το σκοπό αυτό έγινε εκτενής μελέτη, για τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, στις περισσότερες και πιο σημαντικές, μέχρι και σήμερα, δημοσιεύσεις. Για τις διόδους εκπομπής φωτός έγινε μελέτη των πιο πρόσφατων δημοσιεύσεων, στοχευμένα, στην μελέτη τους για οδικό φωτισμό. Περιληπτικά, αναλύθηκε όλο το αντικείμενο της βιβλιογραφίας στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Για την αξιολόγηση των δύο αυτών φωτιστικών συστημάτων πραγματοποιείται, στο επόμενο κεφάλαιο, σύγκριση τους στους κυριότερους τομείς. Τα σημεία της σύγκρισης είναι τα παρακάτω:

Χρόνος Ζωής: Ο χρόνος ζωής των δυο αυτών φωτιστικών συστημάτων είναι υπερβολικά μεγαλύτερος σε σύγκριση με κάθε άλλη πηγή φωτός, σήμερα. Είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας σύγκρισης, καθώς επηρεάζει άμεσα το κόστος συντήρησης και κατά συνέπεια το κόστος φωτισμού το οποίο χαρακτηρίζει το εκάστοτε σύστημα φωτισμού.

Κόστος συντήρησης: Το κόστος συντήρησης των συστημάτων φωτισμού επηρεάζεται προφανώς άμεσα από τον χρόνο ζωής των λαμπτήρων. Όσο πιο σύντομα ένας λαμπτήρας οδικού φωτισμού φθάσει να αποδίδει λιγότερο από το 70% της αρχικής του απόδοσης, τόσο πιο σύντομα θα χρειαστεί να αντικατασταθεί, με υψηλό κόστος αντικατάστασης σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα.

Ενεργειακή Απόδοση: Η έννοια της απόδοσης μιας φωτεινής πηγής είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας αξιολόγησης της, καθώς εκφράζει την ποσότητα των παραγόμενων Lumen ανά καταναλισκόμενο W.

Δείκτης «S/P» (Scotopic/Photopic): Ο δείκτης «S/P» ή αλλιώς η αναλογία της σκοτοπικής/φωτοπικής ακτινοβολίας μιας φωτεινής πηγής, είναι το πηλίκο της

φωτεινής ροής μιας πηγής φωτός ως προς την φωτοπική συνάρτηση ευαισθησίας $V(\lambda)$, δια την φωτεινή ροή ως προς την σκοτοπική συνάρτηση ευαισθησίας $V'(\lambda)$.

Απόδοση μέσω του συντελεστή «VEL»: Οι επιστήμονες δημιούργησαν τον συντελεστή VEL, που προκύπτει από τον συντελεστή «S/P» επί την φωτεινή ροή που παράγεται από ένα φωτιστικό σύστημα, για να συσχετίσουμε την ενεργειακή απόδοση του κάθε λαμπτήρα, με την ευαισθησία που προκαλεί στο ανθρώπινο μάτι.

Φασματική κατανομή: Η φασματική κατανομή της εξόδου, ενός φωτιστικού συστήματος, είναι η μέτρηση της ποσότητας φωτός για κάθε μήκος κύματος την οποία παράγει.

Συντελεστής ισχύος: Όσο χαμηλότερος είναι ο συντελεστής ισχύος τόσο αυξάνονται οι απώλειες στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης όσο χαμηλός είναι ο συντελεστής ισχύος τόσο αυξημένο, είναι το ενεργειακό κόστος για τη λειτουργία ενός φωτιστικού συστήματος.

Συντελεστής THD: Η ολική αρμονική παραμόρφωση της τάσης και του ρεύματος του συστήματος είναι δυνατό να επηρεάσει τις απώλειες ενέργειας των φωτιστικών συστημάτων και επομένως το ενεργειακό κόστος για τον φωτισμό ενός χώρου.

Εξάρτηση από το περιβάλλον: Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας προς εξέταση είναι η εξάρτηση, των δύο εξεταζόμενων λαμπτήρων, από τις ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες. Τα φωτιστικά συστήματα, για χρήση σε οδικό φωτισμό, ανάλογα την εποχή και τον τόπο στον οποίο βρίσκονται, υπόκεινται σε ακραίες θερμοκρασίες, πολύ συχνά, ίσως και συνέχεια. Κάποια φωτιστικά συστήματα εμφανίζουν καλύτερη λειτουργία και απόδοση υπό μεγαλύτερες θερμοκρασίες και άλλα σε χαμηλούς βαθμούς κελσίου.

Κόστος: Το κόστος φωτισμού αποτελεί ένα από τους σημαντικότερους παράγοντες, αν όχι τον σημαντικότερο, για την επιλογή ενός φωτιστικού συστήματος με σκοπό τον οδικό φωτισμό. Η τεχνοοικονομική ανάλυση κρίνεται απαραίτητη κατά την επιλογή αυτή.

Συντελεστής ποιότητας: Ο συντελεστής ποιότητας είναι μια αξιόπιστη εξίσωση, που λαμβάνει υπ' όψιν όλες τις παραμέτρους των φωτιστικών συστημάτων, αξιολογώντας τους με το αποτέλεσμά της.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις: Λόγω της ανάγκης σε παγκόσμιο επίπεδο για την αντιμετώπιση του φαινομένου της παγκόσμιας θέρμανσης και της κλιματικής αλλαγής, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι οποίες συνδέονται με τη χρήση ενός τύπου λαμπτήρα θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν κατά την επιλογή του για φωτισμό οδών.

4

Σύγκριση Λαμπτήρων Μαγνητικής Επαγωγής Με Φωτιστικά Συστήματα LED

4.1 Χρόνος Ζωής

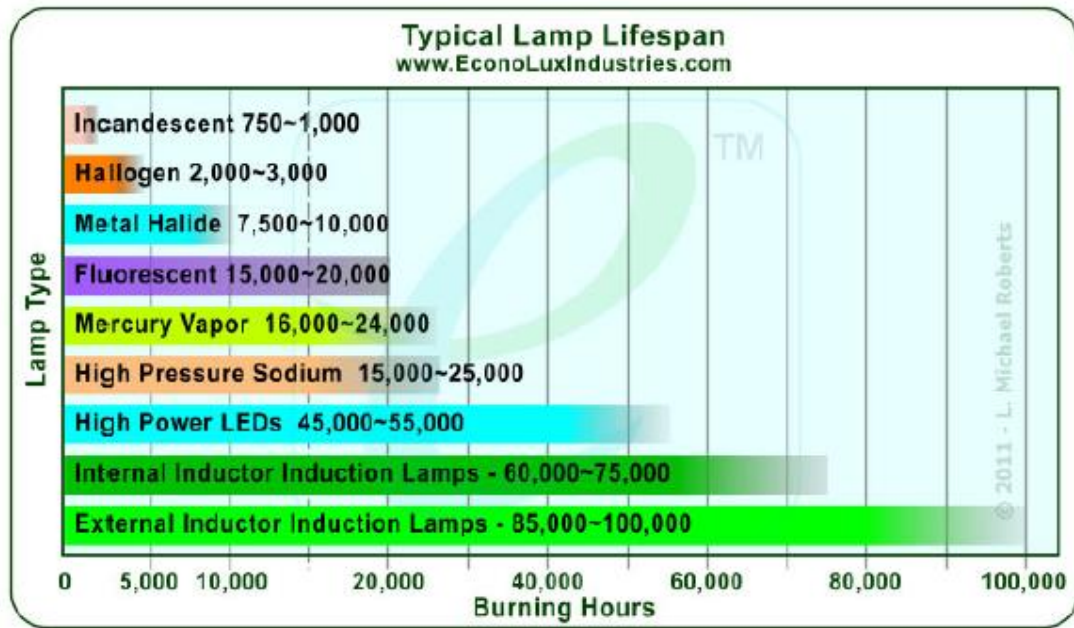
Ένα μείζον θέμα σήμερα για την επιλογή λαμπτήρων φωτισμού εξωτερικών χώρων είναι ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής τους. Φυσικά, οι κατασκευαστές με πειράματα τα οποία πραγματοποιούν δίνουν τις εκτιμήσεις τους στα μοντέλα της αγοράς. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως, η έρευνα αυτή, βασίζεται περισσότερο σε εκτιμήσεις καθ' ότι τα δεδομένα αλλάζουν με την εξέλιξη της τεχνολογίας και ανάλογα με το μοντέλο. Επίσης, προφανώς οι λαμπτήρες εξετάζονται υπό εργαστηριακές συνθήκες δίνοντας αυτά τα αποτελέσματα. Καθώς τα δεδομένα προέκυψαν από πολύ πρόσφατες μελέτες των επιστημόνων, δεν ήταν δυνατόν οι λαμπτήρες να ελεγχθούν σε πραγματικές συνθήκες.

Το μεγάλο πλεονέκτημα, προφανώς, των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής είναι η έλλειψη ηλεκτροδίων εσωτερικά του λαμπτήρα και επίσης ο αεροστεγής θάλαμος - σωλήνας φθορισμού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο λαμπτήρας στο εσωτερικό του να παραμένει σχεδόν αναλλοίωτος και να μην επηρεάζεται από τις εκάστοτε εξωτερικές συνθήκες. Έτσι, κατασκευαστικά και μόνο οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής υπερτερούν των λαμπτήρων LED. Οι λαμπτήρες οδικού φωτισμού, λειτουργούν κάτω από διάφορες συνθήκες, τις περισσότερες φορές αντίξοες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να χρειάζονται αρκετά ανθεκτικά κατασκευαστικά μέρη. Οι κατασκευαστές στις μέρες μας, όπως φάνηκε και από την βιβλιογραφική έρευνα, δίνουν μέγιστο χρόνο ζωής στους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής 100000 ώρες. Αυτό βέβαια είναι, όπως προαναφέρθηκε, πλασματικό, καθώς οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής άρχισαν να εφαρμόζονται πάρα πολύ πρόσφατα ειδικά στον φωτισμό δρόμων και έτσι οι εκτιμήσεις περιορίζονται σε δοκιμές υπό εργαστηριακές συνθήκες. Βέβαια, κατά την άποψη μου, εφόσον οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, κατασκευαστικά, ευνοούν τον μεγάλο χρόνο ζωής, αυτό το νούμερο θα μπορούσε να είναι πραγματικό.

Ο μέγιστος χρόνος ζωής που δίνεται από τους κατασκευαστές για τους λαμπτήρες τύπου LED, στα δεδομένα της βιβλιογραφίας, σε χρήση ηλεκτροφωτισμού οδών είναι 55000 ώρες. Αξίζει να σημειωθεί εδώ πως τα LED, μικρότερης ισχύος, που χρησιμοποιούνται για φωτισμό εσωτερικών χώρων, έχουν κατά τα λεγόμενα των κατασκευαστών πολύ μεγαλύτερο πια χρόνο ζωής. Τα τελευταία δεδομένα τα οποία είδαμε στις βιβλιογραφία [42] λένε πως τα καλύτερα αυτή την στιγμή LED έχουν μέγιστο χρόνο ζωής κι αυτά τις 100000 ώρες. Όπως όμως αναφέρουν και οι ίδιοι οι συγγραφείς της, το νούμερο αυτό ανταποκρίνεται μόνο σε εργαστηριακές και πειραματικές συνθήκες.

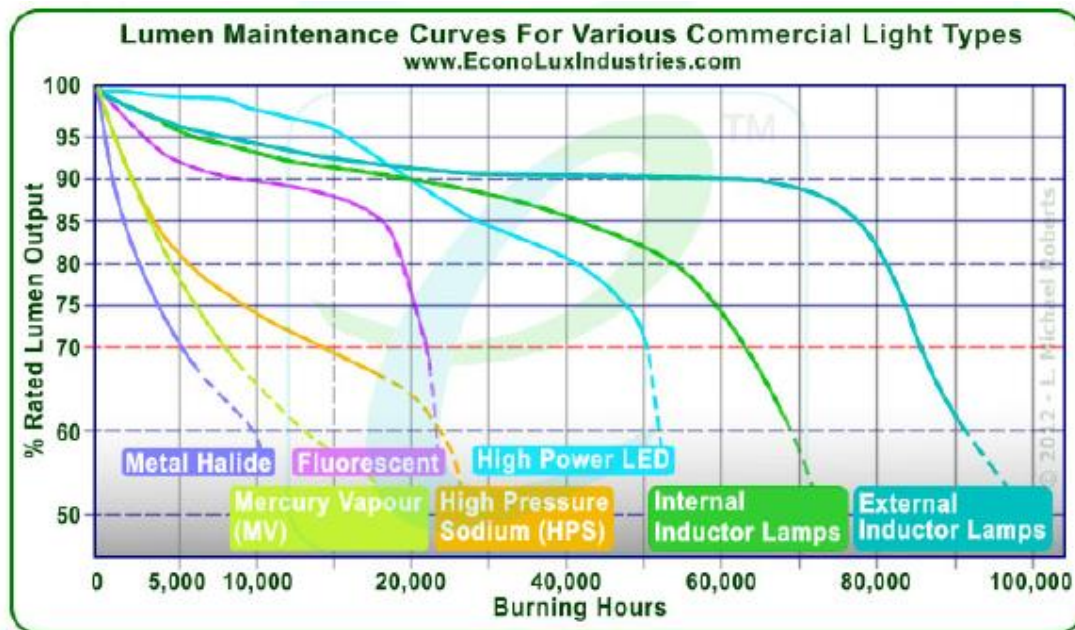
Ένα μεγάλο μειονέκτημα όμως των λαμπτήρων LED είναι, πέρα από το κατασκευαστικό τους κομμάτι που ήδη ανέφερα παραπάνω, η ευαισθησία τους στις υψηλές θερμοκρασίες. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [43], γενικότερα, τα περιφερειακά τους εξαρτήματα υποβαθμίζονται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, και η διάρκεια ζωής τους μειώνεται εκθετικά. Τα LED που υπόκεινται σε δύσκολες συνθήκες θερμοκρασίας, αυτά δηλαδή που χρησιμοποιούνται για οδικό φωτισμό, σφραγίζονται με κεραμική συσκευασία, η οποία είναι κατασκευασμένη από ανθεκτική ρητίνη σιλικόνης με ενσωματωμένη ψήκτρα. Στόχος των μηχανικών είναι να επιτευχθεί μέγιστος χρόνος ζωής. Η θερμοκρασία λειτουργίας των LED πρέπει να διατηρείται κάτω από περίπου 100° C κατά τα λεγόμενα της βιβλιογραφίας [43].

Παρακάτω, παρατίθεται εικόνα, με πηγή την βιβλιογραφία [1], που δίνει διαγραμματικά τον εκτιμώμενο χρόνο ζωής όλων γενικά των διαθέσιμων τύπων λαμπτήρων έως και το 2012 που συγγράφθηκε η έρευνα. Τα δεδομένα μέχρι σήμερα ελάχιστα έχουν αλλάξει. Η μόνη διαφορά που παρατηρήθηκε είναι ότι τα σημερινά LED μικρής ισχύος, έχουν πολύ μεγαλύτερο, πια, χρόνο ζωής.



Εικόνα 4.1.1: Τυπικός Χρόνος Ζωής Λαμπτήρων

Το ενδιαφέρον εδώ είναι πως ο συγγραφέας δίνει σαν εκτιμώμενο χρόνο ζωής στην πραγματικότητα τον ωφέλιμο χρόνο ζωής των λαμπτήρων. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται, οι λαμπτήρες πρέπει σύμφωνα με τους ειδικούς να αντικαθίστανται όταν η έξοδο τους σε Lumen είναι κάτω του 70 % από την αρχική, αφού εκτός του ότι εξαιρούνται πια από τους διεθνείς κανονισμούς φωτισμού, η διαφορά τους είναι ορατή και με γυμνό μάτι. Ένας τρόπος μέτρησης του ωφέλιμου χρόνου ζωής είναι ο πίνακας καμπύλων με το όνομα «Lumen Maintenance» δηλαδή η διατήρηση της φωτεινής ροής τους, οι οποίες δείχνουν πόσο καλά λειτουργούν οι λαμπτήρες με το πέρασμα του χρόνου. Παρακάτω δίνεται ένα πολύ ενδιαφέρον διάγραμμα από την βιβλιογραφία [47] το οποίο δείχνει τις καμπύλες «Lumen Maintenance» για όλους τους διαθέσιμους τύπους λαμπτήρων, σήμερα.



Εικόνα 4.1.2: Καμπύλες Διατήρησης Φωτεινής Ροής Για Διάφορους Τύπους Λαμπτήρων [47]

Η κόκκινη διακεκομμένη γραμμή στο διάγραμμα είναι το όριο που προαναφέρθηκε, του 70 %. Είναι φανερό πως κάτω από αυτό το όριο η φωτεινή απόδοση των λαμπτήρων μειώνεται εκθετικά. Φαίνεται ξεκάθαρα λοιπόν και στους δυο πίνακες πως οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής έχουν έως και 40% παραπάνω ωφέλιμο χρόνο ζωής από τους λαμπτήρες LED για οδικό φωτισμό.

Είναι προφανές επίσης, πως και στους δυο πίνακες, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής εξωτερικού επαγωγέα, δηλαδή μεγαλύτερης ισχύος, αποδίδουν καλύτερα από τους μικρότερης ισχύος, με εσωτερικό δηλαδή επαγωγέα. Αυτό οφείλεται στο ότι τα επαγωγικά πηνία των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής μεγάλης ισχύος λειτουργούν σε πολύ υψηλότερες συχνότητες που σημαίνει πολύ μεγαλύτερη απόδοση στον λαμπτήρα. Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής με εσωτερικό επαγωγέα χρησιμοποιούνται μόνο σε εσωτερικούς χώρους οπότε δεν ανήκουν στο αντικείμενο της έρευνάς μας.

Σημαντικό επίσης είναι, όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, πως οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής παρουσιάζουν απόδοση φωτεινής ροής η οποία παραμένει στο 60 % της απόδοσής τους αρχικά, μετά από 90.000 ώρες ενώ οι λαμπτήρες LED παρουσιάζουν σημαντική πτώση της απόδοσής της φωτεινής ροής

τους μετά τις 50.000 ώρες. Σίγουρα εδώ παίζει μεγάλο ρόλο το κατασκευαστικό τους κομμάτι και η μεγάλη τους διαφορά, που γράφτηκε αρχικά, ειδικά στον οδικό φωτισμό.

4.2 Κόστος Συντήρησης

Το κόστος συντήρησης των συστημάτων φωτισμού επηρεάζεται προφανώς άμεσα από τον χρόνο ζωής των λαμπτήρων που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 4.1. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [1], όσο πιο σύντομα ένας λαμπτήρας οδικού φωτισμού φθάσει να αποδίδει λιγότερο από το 70 % της αρχικής του απόδοσης, τόσο πιο σύντομα θα χρειαστεί να αντικατασταθεί, με υψηλό κόστος αντικατάστασης σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα. Ιδιαίτερως στον οδικό φωτισμό απαιτείται η χρήση βοηθητικού εξοπλισμού και προσωπικού, για την αντικατάσταση ενός λαμπτήρα.

Ένα πολύ σημαντικό δεδομένο είναι πως για την αντικατάσταση των λαμπτήρων LED δεν είναι δυνατή η αντικατάσταση μεμονωμένων λυχνιών. Η τεχνολογία σήμερα μας περιορίζει δίνοντας μας το ισχυρότερο LED στα 25 W και για τη δημιουργία ενός συστήματος φωτισμού LED ισχύος 200 W, που χρησιμοποιούνται για οδικό φωτισμό, χρειάζεται συστοιχία λυχνιών LED. Έτσι, σε περίπτωση που χρειαστεί αντικατάσταση ένα στοιχείο LED ή και περισσότερα η μόνη λύση είναι η αλλαγή όλου του συστήματος οδικού φωτισμού, που φυσικά όπως προανέφερα έχει μεγάλο αντίκτυπο στον χρόνο ζωής του φωτιστικού. Κατά την άποψη μου, είναι εύκολο να χαλάσει μια ή και περισσότερες λυχνίες LED όταν αυτές χρησιμοποιούνται στον φωτισμό δρόμων. Ο κύριος και προφανής λόγος είναι οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο κύκλωμα των LED, οι οποίες φυσικά επηρεάζονται από τις εξωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας. Βέβαια, αξίζει να σημειωθεί πως, σήμερα υπάρχουν τοπολογίες, όπως αυτή της παράλληλης σειράς, που μειώνουν αυτό το φαινόμενο, δίνοντας την δυνατότητα της συνέχειας του λαμπτήρα LED με μειωμένη προφανώς φωτεινότητα.

Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, σύμφωνα με τις βιβλιογραφίες [1], [19], [20], αντίθετα, διαθέτουν σωλήνες κατασκευασμένους από γυαλί με επιστρώσεις, το οποίο ενώνεται με βίδες στους επαγωγούς. Στο σύστημα τους συνδέεται και μια ψύκτρα για να κρατά τον λαμπτήρα στη σωστή θερμοκρασία σύμφωνα με τον

κατασκευαστή. Κάποιες φορές οι ίδιοι οι επαγωγοί έχουν τον ρόλο αυτό, σε λαμπτήρες όμως μικρής ισχύος. Έτσι, σε περίπτωση που ο λαμπτήρας φθάσει το όριο ζωής του, απλά αντικαθίσταται, αφήνοντας την υπόλοιπη εγκατάσταση ανέπαφη. Φυσικά και σε αυτή την περίπτωση χρειάζεται το κατάλληλο προσωπικό και ο απαραίτητος εξοπλισμός.

Συμπερασματικά, προφανώς, οι λαμπτήρες LED έχουν πολύ μεγαλύτερο κόστος συντήρησης από τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, πράγμα που, στις μεγάλες εγκαταστάσεις οδικού φωτισμού, μειώνει αισθητά και τον χρόνο ζωής τους.

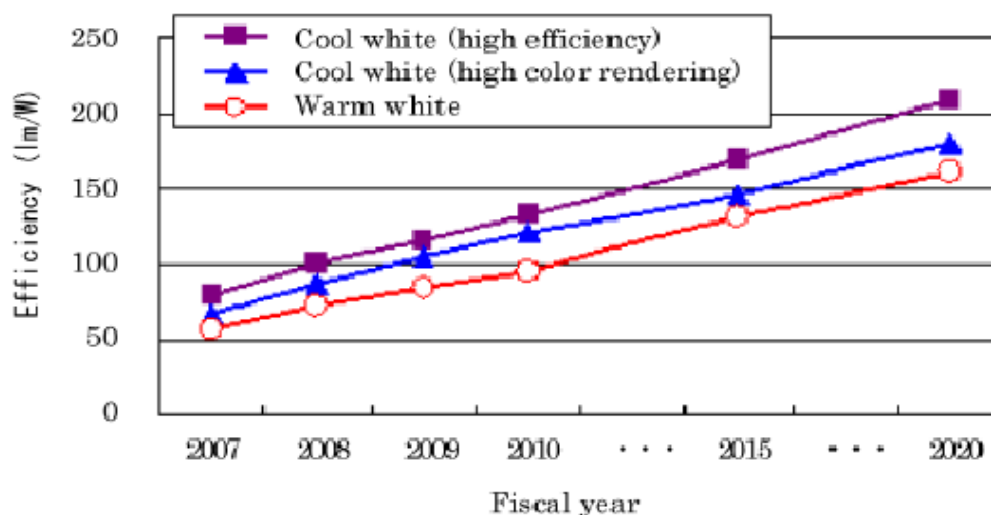
4.3 Ενεργειακή Απόδοση

Μια ακόμη διαφορά των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής σε σύγκριση με τους λαμπτήρες LED για φωτισμό δρόμων είναι η ενεργειακή τους απόδοση. Ως ενεργειακή απόδοση ή αλλιώς απόδοση μετατροπής, ονομάζουμε την ποσότητα του φωτός που εκπέμπει ένας λαμπτήρας προς ένα δεδομένο ποσό ενέργειας. Η μονάδα μέτρησης της απόδοσης είναι τα Lumen/Watt ή σύντομα τα lm/W.

Όπως αναφέρεται και στην βιβλιογραφία [1], [19], [47], η ενεργειακή απόδοση των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής στις μέρες μας κυμαίνεται από 65 lm/W, με εσωτερικό επαγωγέα, σε χαμηλές τιμές ισχύος, μέχρι και πάνω από 90 lm/W για φωτισμό εξωτερικών χώρων, φυσικά με εξωτερικό επαγωγέα. Συγκεκριμένα, στο μοντέλο που παρουσιάστηκε στην βιβλιογραφία [16], το οποίο ήταν ένα καινοτόμο μοντέλο κατάλληλο για οδικό φωτισμό, η ενεργειακή του απόδοση, κυμάνθηκε από 83 lm/W έως 85 lm/W σε συχνότητα μεγαλύτερη των 300 kHz στα 150 W ισχύος. Στο συγκεκριμένο λοιπόν κείμενο, φαίνεται ξεκάθαρα και αναφέρεται από τους συγγραφείς, πως η ενεργειακή απόδοση των λαμπτήρων φθορισμού, δίχως ηλεκτρόδια, αυξάνεται όσο αυξάνεται η συχνότητα οδήγησης κυρίως λόγω της μείωσης των απωλειών ισχύος του πηνίου του πυρήνα.

Όσον αφορά τους λαμπτήρες LED, τα τελευταία δεδομένα που βρέθηκαν, κυρίως στις βιβλιογραφίες [1], [23], [43], [44], δείχνουν ξεκάθαρα πως η απόδοση τους εκτείνεται σε πολύ μεγάλο εύρος τιμών, ανάλογα φυσικά με τον εκάστοτε τύπο και την αρχιτεκτονική του. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται στην βιβλιογραφία [43], θεωρητικά, το όριο ενεργειακής απόδοσης για πηγές λευκού φωτός με την απουσία

απωλειών είναι τα 300 lm/W. Ο παρακάτω πίνακας δημοσιεύθηκε από τον Ιαπωνικό Οργανισμό LED (JLEDS) το 2008 προβλέποντας την αύξηση της απόδοσης των δύο τύπων ψυχρού «λευκού» LED και του θερμού «λευκού» LED μέχρι και το 2020.



Εικόνα 4.3.1: Πρόβλεψη Ενεργειακής Αποδοτικότητας Λαμπτήρων LED (JLEDS) [43]

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε μια σύγκριση, με θέμα την απόδοση, που έγινε στην βιβλιογραφία [23], των λαμπτήρων LED σε σχέση με τους συμβατικούς λαμπτήρες οδικού φωτισμού για το έτος 2010.

Light Source	Lumens per Watt (Range depending on Wattage)
Candle	1.4
Oil Lamp	0.3
Incandescent	10-18
Halogen	15-20
Compact Fluorescent Lamp (including Ballast) 5 – 26 W	35-60
Linear Fluorescent Lamp (including Ballast) 40 W – Full size and U-tube	80-100
Metal Halide Lamp	50-90
Cool White LED □ 5000 K	80-160*
Warm White LED 3300 K (Inc. Driver)	25-110*

* As of April, 2010.

Εικόνα 4.3.2: Σύγκριση Ενεργειακής Αποδοτικότητας λαμπτήρων LED Με Συμβατικές Πηγές Φωτός [23]

Από το 2010, η απόδοση ξεπερνά ήδη το 100 lm/W, και αναμένεται να φθάσει τα 160 lm/W, πράγμα που κάνει τον παραπάνω πίνακα αρκετά αξιόπιστο. Μικροσκοπικές λυχνίες LED με απόδοση που φτάνει και ξεπερνά τα 140 lm/W είναι ήδη διαθέσιμες στην αγορά αν και οι τιμές τους είναι αρκετά υψηλές, συμπεριλαμβάνοντας στο κόστος την κεραμική τους συσκευασία. Έτσι, η πρόβλεψη έχει γίνει ήδη πραγματικότητα. Όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία [44], ενώ η απόδοση των LED τα τελευταία χρόνια ανεβαίνει, το κόστος τους μειώνεται αισθητά. Πρόσφατα, το λεγόμενο «MK-R-LED» που εκπέμπει λευκό φως με πάνω από 200 lm/W σε λειτουργία ισχύος 1 W είναι σε μεγάλο όγκο παραγωγής, όπως γράφεται στην πολύ πρόσφατη βιβλιογραφία [44]. Στο εργαστήριο, η ενεργειακή απόδοση, σε θερμοκρασία δωματίου (25° C), έφτασε τα 276 lm/W τον Φεβρουάριο του 2013.

Προφανώς, είναι πάρα πολύ δύσκολο να επιτύχουμε υψηλή ενεργειακή απόδοση στους λαμπτήρες LED, προς το παρόν, σε πραγματικές συνθήκες και ειδικά σε συνθήκες οδικών φωτισμών, λόγω των τρομερά υψηλών θερμοκρασιών που, όπως αναφέρεται και στην βιβλιογραφία [22], αναπτύσσονται στο εσωτερικό των λαμπτήρων LED. Οπότε πρακτικά, για ένα μοντέλο LED ισχύος 200 W, που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για οδικό φωτισμό, αποδίδει σε πραγματικές, εξωτερικές συνθήκες περίπου 80 lm/W.

Στον παρακάτω πίνακα παραθέτω το εύρος των ενεργειακών αποδόσεων των δύο εξεταζόμενων τύπων λαμπτήρων οδικού φωτισμού, σύμφωνα με δικά μου συμπεράσματα από όλη την βιβλιογραφική μελέτη.

Λαμπτήρας	Ενεργειακή Απόδοση
LED(πραγματικές συνθήκες)	17-85 lm/W
LED(με βάση τους κατασκευαστές)	40-200 lm/W
Μαγνητικής Επαγωγής (εξωτερικού επαγωγέα)	75-90 lm/W

Πίνακας 4.3.1:Πίνακας Ενεργειακής Απόδοσης Εξεταζόμενων Λαμπτήρων

Συμπερασματικά λοιπόν, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής εμφανίζουν σαφώς καλύτερη ενεργειακή απόδοση από τους λαμπτήρες LED για οδικό φωτισμό. Όπως φάνηκε και στην έρευνα που διεκπεραιώθηκε στην βιβλιογραφία [1], όπου

συγκρίνονται, σε πραγματικές συνθήκες, ένας λαμπτήρας μαγνητικής επαγωγής των 200 W και ένας λυχνιών LED όμοιας ισχύος 200 W, η ενεργειακή απόδοση του λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής είναι 82,5 lm/W ενώ της συστοιχίας LED 35 lm/W έως 70 lm/W. Ο επαγωγικός λαμπτήρας φθορισμού παράγει φωτεινή ροή των 16500 Lumens ενώ ο λαμπτήρας LED από 7000 Lumen έως 14000 Lumen, βασιζόμενος στην απόδοση των στοιχείων του. Ο επαγωγικός λαμπτήρας δίχως ηλεκτρόδια, παράγει 15,1 % έως και 57,5 % παραπάνω φως σε σχέση με των λαμπτήρα LED για το ίδιο ποσό ισχύος, λόγω φυσικά των βασικών κατασκευαστικών διαφορών τους που ήδη έχουν αναφερθεί. Εδώ φαίνεται καθαρά πόσο μεγάλο ρόλο παίζει η θερμοκρασία σε περιβαλλοντικές συνθήκες για τους λαμπτήρες LED. Αυτές οι μετρήσεις βέβαια δεν έχουν λάβει υπ' όψιν τον ρυθμιστικό παράγοντα «S/P», για τον οποίο θα γίνει αναφορά σε παρακάτω κεφάλαιο. Βέβαια, ο παράγοντας «S/P» θα τους διαφοροποιήσει ακόμα περισσότερο σε σχέση με την ενεργειακή τους απόδοση. Επίσης, όπως φαίνεται από τις τελευταίες δημοσιεύσεις, οι κατασκευαστές φωτιστικών συστημάτων LED, για οδικό φωτισμό, τα τελευταία χρόνια έχουν κάνει μεγάλη προσπάθεια να εξομαλύνουν τις παραπάνω διαφορές με μεγάλη επιτυχία. Όμως, οι ενεργειακές αποδόσεις των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής είναι ακόμα, έστω και ελάχιστα, υψηλότερες.

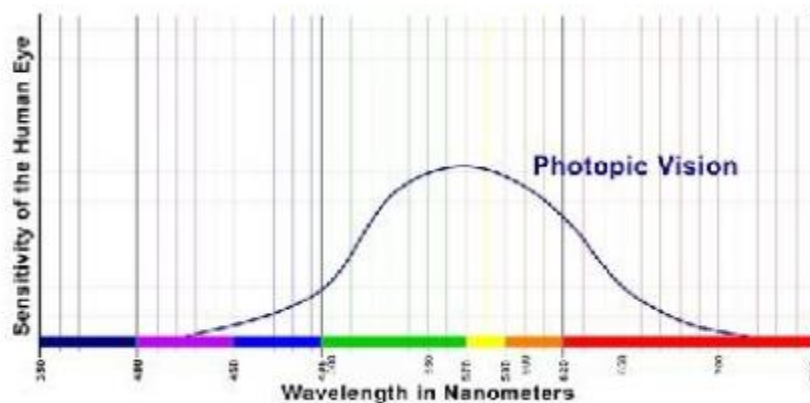
4.4 Δείκτης «S/P» (Scotopic/Photopic)

Ο δείκτης «S/P» ή αλλιώς η αναλογία της σκοτοπικής/φωτοπικής ακτινοβολίας μιας φωτεινής πηγής, είναι το πηλίκο της φωτεινής ροής μιας πηγής φωτός ως προς την φωτοπική συνάρτηση ευαισθησίας $V(\lambda)$, δια την φωτεινή ροή ως προς την σκοτοπική συνάρτηση ευαισθησίας $V'(\lambda)$. Παρακάτω φαίνεται, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [51], ο μαθηματικός τύπος υπολογισμού του δείκτη «S/P».

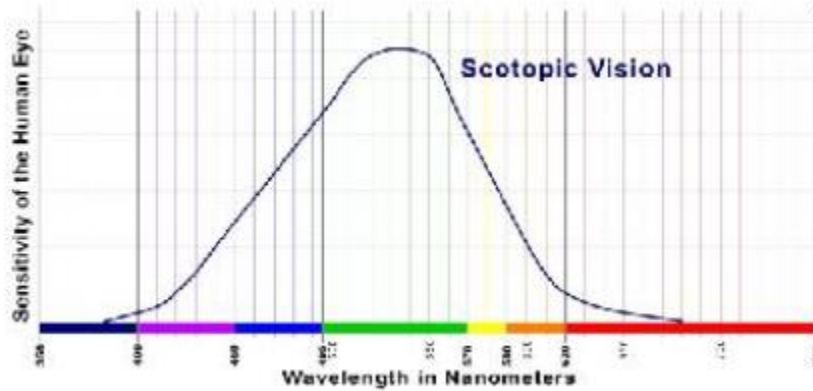
$$\frac{S}{P} = \frac{\Phi_s}{\Phi_p} = \frac{K'_m \int_0^\infty P_{e,\lambda} V'(\lambda) d\lambda}{K_m \int_0^\infty P_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda}$$

Με $K_m=683 \text{ lm/w}$, $K'_m=1699 \text{ lm/W}$ και $P_{e,\lambda}$ η ισχύς σε W που εκπέμπεται από ένα σύστημα φωτισμού σε ορισμένο μήκος κύματος λ .

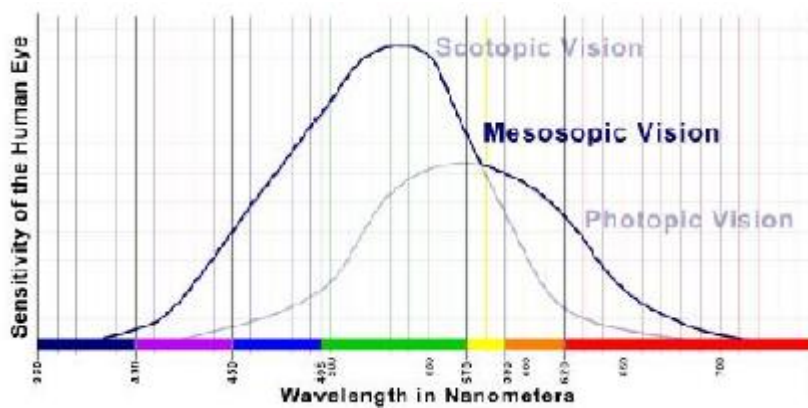
Οι πηγές που έχουν το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας τους σε πολύ χαμηλά μήκη κύματος έχουν μεγαλύτερο συντελεστή «S/P». Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [46], η φωτοπική φωτεινή απόδοση λειτουργίας $V(\lambda)$ αντιπροσωπεύει την απόκριση των κωνικών αισθητήρων (κωνίων), που βρίσκονται επί του άξονα του οφθαλμού, σε υψηλά επίπεδα φωτός. Η σκοτοπική λειτουργία $V'(\lambda)$ δείχνει την απόκριση των ραβδοειδών αισθητήρων (ραβδία) εκτός του άξονα του οφθαλμού σε χαμηλά επίπεδα φωτός. Η ζώνη που βρίσκεται μεταξύ των φωτοπικών και σκοτοπικών περιοχών ονομάζεται μεσοπική. Μέσω του μεσοπικού εύρους, η απόκριση του ματιού εξαρτάται από το επίπεδο της φωτεινότητας. Με τη μείωση του επιπέδου φωτεινότητας, η ευαισθησία του οφθαλμού στο μπλε φως αυξάνεται, ενώ μειώνεται η ευαισθησία του στον κίτρινο και κόκκινο φωτισμό. Γι' αυτόν τον λόγο λοιπόν, κάτω από μεσοπικές συνθήκες οι φωτοπικοί λαμπτήρες, όπως δηλώνονται επισήμως από τους κατασκευαστές λαμπτήρων, που προσδιορίζονται μέσω της λειτουργίας $V(\lambda)$, δεν συσχετίζονται σωστά με την παραγόμενη οπτική αίσθηση. Παρακάτω, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [49], παρατίθενται οι καμπύλες (CIE) για την φωτοπική, την σκοτοπική και τέλος των συνδυασμό των δυο αυτών καμπυλών δίνοντας την καμπύλη της μεσοπικής όρασης σε σχέση, φυσικά, με την ευαισθησία του οφθαλμού.



Εικόνα 4.4.1: Πίνακας Φωτοπικής Όρασης(CIE) [49]



Εικόνα 4.4.2: Πίνακας Σκοτοπικής Όρασης (CIE) [49]

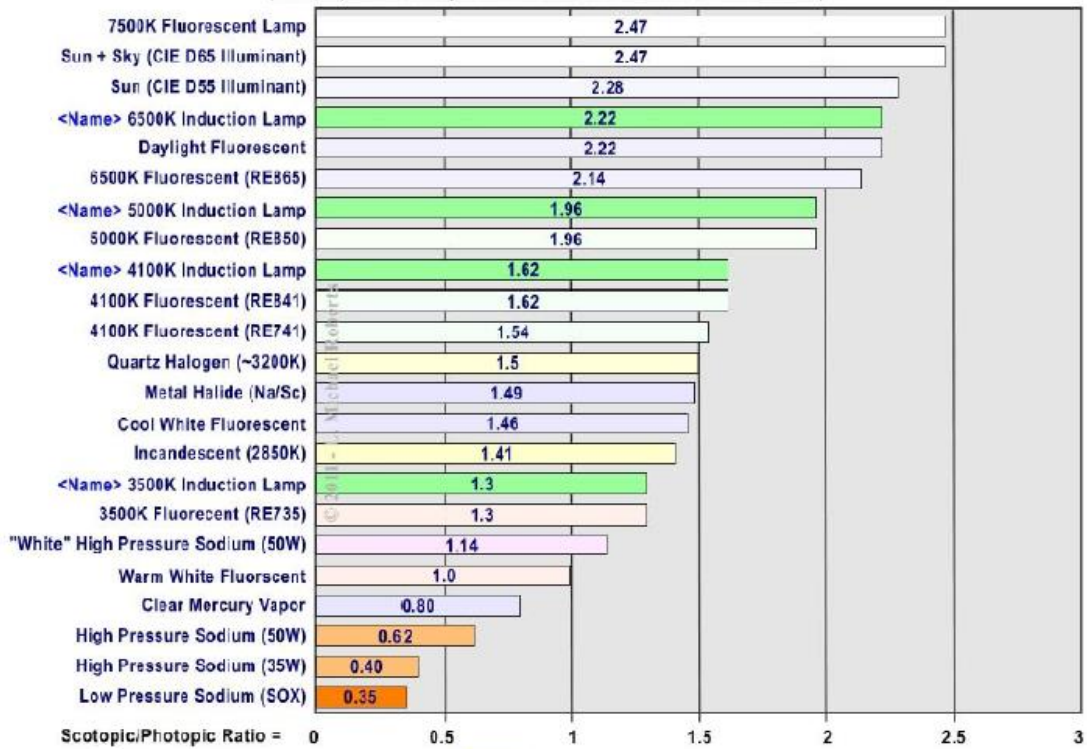


Εικόνα 4.4.3: Πίνακας Μεσοπικής Όρασης (CIE) [49]

Ο δείκτης «S/P» συνδέεται άμεσα με την θερμοκρασία χρώματος ενός λαμπτήρα. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία χρώματος που παράγει ένα φωτιστικό σώμα, τόσο αυξάνεται και ο δείκτης «S/P» του, όπως βλέπουμε και από τα διαγράμματα παραπάνω. Επίσης, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία χρώματος, τόσο πιο αριστερά μετατοπίζεται το φάσμα εκπομπής του, φθάνοντας πιο κοντά στην σκοτοπική όραση. Οι πηγές φωτός που δίνουν υψηλές θερμοκρασίες χρώματος, παράγουν και περισσότερο χρώμα σε ιώδεις ακτινοβολίες έχοντας ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη διέγερση του ματιού. Ο δείκτης «S/P» λοιπόν, χρησιμοποιείται σαν πολλαπλασιαστής για τον προσδιορισμό της ποσότητας του φωτός που παράγει ένας λαμπτήρας, η οποία θεωρείται ωφέλιμη για την όραση σύμφωνα με την βιβλιογραφία [49]. Παρακάτω παρατίθενται δύο συγκριτικοί πίνακες, δίνοντας τους δείκτες «S/P» για διάφορους τύπους λαμπτήρων [49].

Scotopic/Photopic Ratios for Induction Lamps and Various Light Sources

(From data provided courtesy of Dr. Francis Rubenstein and Manufacturers data sheets)



Πίνακας 4.4.4: Πίνακας Σύγκρισης Δεικτών «S/P» Λαμπτήρων [49]

Low pressure sodium	0.25
High pressure sodium (HPS) 250 W clear	0.63
HPS 400 W clear	0.66
HPS 400 W coated	0.66
Mercury vapor (MV) 175 W coated	1.08
MV 400 W clear	1.33
Incandescent	1.36
Halogen headlamp	1.43
Fluorescent Cool White	1.48
Metal halide (MH) 400 W coated	1.49
MH 175 W clear	1.51
MH 400 W clear	1.57
MH headlamp	1.61
Fluorescent 5000 K	1.97
White LED ¹ 4300 K	2.04
Fluorescent 6500 K	2.19

Πίνακας 4.4.5: Πίνακας Δεικτών «S/P» (CIE) [50]

Όπως φαίνεται και από τους πίνακες, οι λαμπτήρες με τον υψηλότερο δείκτη «S/P» είναι οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής και τα συστήματα LED υψηλής ισχύος οι οποίοι χρησιμοποιούνται για οδικό φωτισμό, τα συστήματα LED και οι λαμπτήρες

φθορισμού. Όσον αφορά τους λαμπτήρες LED, λόγω της μεγάλης φασματικής κατανομή της ακτινοβολίας τους σύμφωνα με την κατασκευή τους κάθε φορά, ο δείκτης «S/P» παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές. Στους λαμπτήρες LED μεγάλης ισχύος, με μεγάλη ενεργειακή απόδοση, που χρησιμοποιούνται για οδικό φωτισμό, ο δείκτης «S/P» κυμαίνεται από 2 έως και 2.25. Οι τιμές αυτές είναι πολύ κοντά όπως φαίνεται και στον πίνακα της βιβλιογραφίας [49] με τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής εξωτερικού επαγωγέα, μεγάλης ισχύος για εφαρμογές οδικού φωτισμού. Το ίδιο βλέπουμε επίσης και στην βιβλιογραφία [1] όπου ο συγγραφέας κάνει σύγκριση σε ένα σύστημα φωτισμού LED υψηλής ισχύος (200 W) και έναν επίσης υψηλής ισχύος (150 W) λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής για οδικό φωτισμό, όπου ο συντελεστής «S/P» είναι ακριβώς ο ίδιος (2.25). Η διαφορά των δύο εξεταζόμενων φωτιστικών συστημάτων εδώ, έγκειται κυρίως στο κόστος αγοράς τους. Οι λαμπτήρες LED με μεγάλο συντελεστή «S/P» έχουν εμφανώς πολύ μεγάλο κόστος αγοράς. Το κόστος αυτό είναι αρκετά μεγαλύτερο από τα φωτιστικά συστήματα μαγνητικής επαγωγής για οδικό φωτισμό με παρόμοιους συντελεστές «S/P».

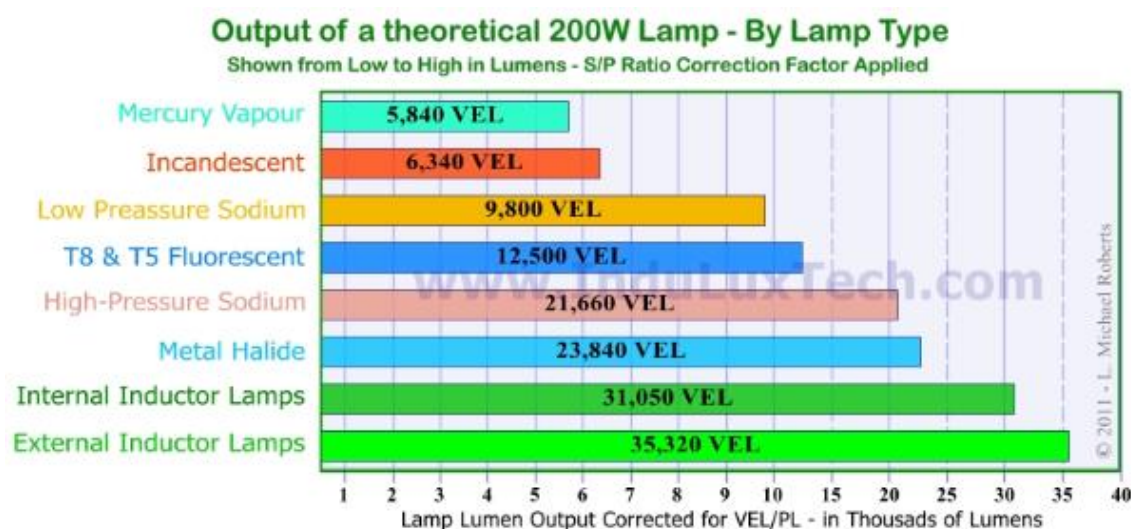
4.5 Απόδοση Μέσω Του Συντελεστή VEL (Visually Effective

Lumens)

Σε παραπάνω κεφάλαιο είδαμε την ενεργειακή απόδοση των λαμπτήρων, την οποία μετράμε σε lm/W. Αυτή όμως δίνεται από τους ειδικούς για κάθε φωτεινή πηγή σύμφωνα με εργαστηριακές μετρήσεις οι οποίες, προφανώς, δεν αντιπροσωπεύουν σωστά την ενεργειακή απόδοση στον τρόπο με τον οποίο την αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος. Έτσι οι επιστήμονες δημιούργησαν τον συντελεστή VEL (Visually Effective Lumens), ή αλλιώς PL (Pupil Lumens), που προκύπτει από τον συντελεστή «S/P» επί την φωτεινή ροή που παράγεται από ένα φωτιστικό σύστημα, την οποία μετράμε σε Lumens. Λόγο αυτού του φαινομένου, κάποιες φωτεινές πηγές φαίνονται λαμπρότερες στον ανθρώπινο οφθαλμό δίνοντας επίσης καλύτερη ποιότητα φωτισμού, κι ας έχουν εργαστηριακά την ίδια ενεργειακή απόδοση ή πολλές φορές ακόμα και χειρότερη. Επίσης, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [49], αυτό συμβαίνει διότι στις εργαστηριακές μετρήσεις, για την εξαγωγή στοιχείων ως

προς την απόδοση των φωτιστικών σωμάτων, δεν λαμβάνονται υπ' όψιν σοβαρές παράμετροι όπως ο συντελεστής «S/P», που είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο και γενικά οι παράμετροι ως προς την ευαισθησία του οφθαλμού. Έτσι, χρησιμοποιούμε λοιπόν τον συντελεστή VEL για να συσχετίσουμε την ενεργειακή απόδοση του κάθε λαμπτήρα, με την ευαισθησία που προκαλεί στο ανθρώπινο μάτι.

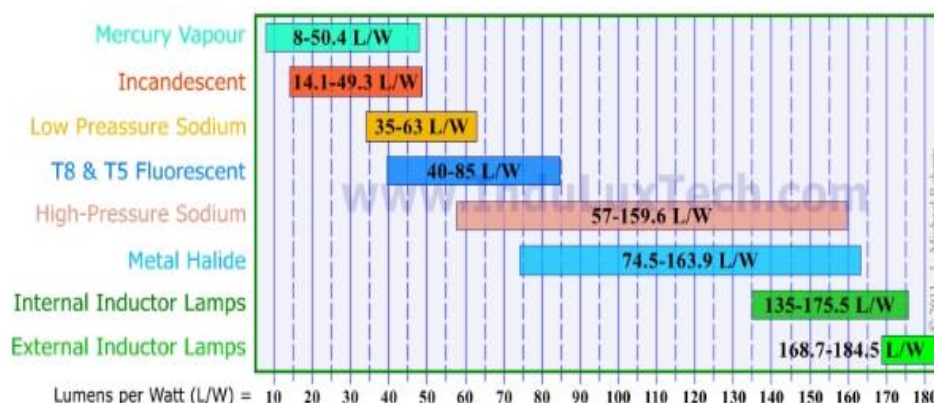
Ιδανικά λοιπόν, για να έχει μια πηγή υψηλό δείκτη VEL, πρέπει ο φωτισμός που παράγει να έχει φασματική κατανομή που είναι κοντά σ' αυτή του φωτός του ηλίου. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [49], το φωτιστικό σύστημα το οποίο παράγει φως με φασματική κατανομή κοντά σ' αυτή του ηλίου είναι ο λαμπτήρας πλάσματος. Αμέσως μετά είναι οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής και τα φωτιστικά συστήματα LED. Ο παρακάτω πίνακας που παρατίθεται, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [49], δίνει τις αποδόσεις σε VEL διαφόρων λαμπτήρων οδικού και μη φωτισμού, στα 200 Watt ισχύος.



Πίνακας 4.5.1: Απόδοση Λαμπτήρων Φωτισμού σε VEL [49]

Συνεπώς, σύμφωνα με τις βιβλιογραφίες [1], [16], [43], [44], [46], [49], [50], μπορούμε να δούμε την ενεργειακή απόδοση των εξεταζόμενων φωτιστικών σωμάτων LED σε σύγκριση με τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, δίχως ηλεκτρόδια, σε πραγματικές πλέον συνθήκες, λαμβάνοντας υπ' όψιν τον συντελεστή «S/P» και εν συνεχεία τον δείκτη VEL. Ένας συγκριτικός πίνακας για την

απόδοση διάφορων λαμπτήρων, λαμβάνοντας υπ' όψιν τους παραπάνω δείκτες εξετάστηκε από την βιβλιογραφία [49] και παρατίθεται παρακάτω.



Πίνακας 4.5.2: Προσαρμοσμένη Απόδοση Λαμπτήρων Φωτισμού [49]

Από δικά μου συμπεράσματα, συγκρίνοντας όλες τις σχετικές δημοσιεύσεις, που δίνονται στο κεφάλαιο 2, παραθέτω τον παρακάτω πίνακα. Ο πίνακας αυτός δίνει την σύγκριση μεταξύ των φωτιστικών συστημάτων LED με τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, υψηλής ισχύος, κατάλληλους για οδικό φωτισμό, σύμφωνα με τους δείκτες επίδρασης της μεσοπικής όρασης.

Λαμπτήρας	Ενεργειακή Απόδοση
LED(πραγματικές συνθήκες)	37,4 - 173,8 Lm/W
LED(με βάση τους κατασκευαστές)	88-330 Lm/W
Μαγνητικής Επαγωγής (εξωτερικού επαγωγέα)	168,7-184,5 Lm/W

Πίνακας 4.5.3: Σύγκριση Απόδοσης λαμπτήρων LED, Μαγνητικής Επαγωγής Προσαρμοσμένοι Στη Μεσοπική Όραση

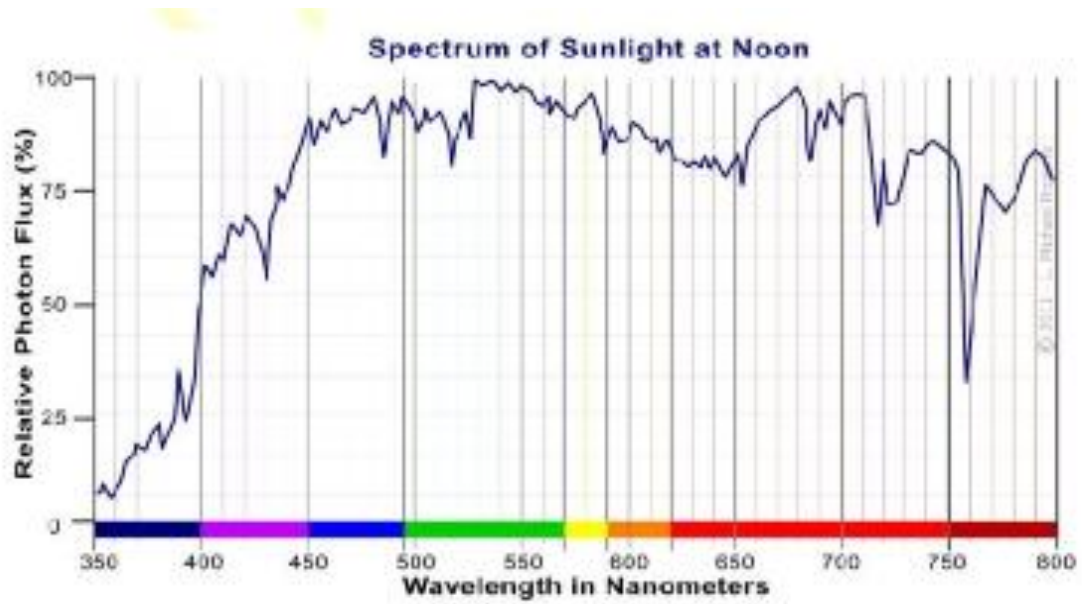
Προφανώς, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής και τα φωτιστικά συστήματα LED παρουσιάζουν την καλύτερη ενεργειακή απόδοση, στον οδικό φωτισμό, μετά την επίδραση της μεσοπικής όρασης και των συντελεστών που προαναφέρθηκαν. Αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς στα προηγούμενα κεφάλαια είδαμε πως, οι δύο αυτοί τύποι λαμπτήρων υπερτερούν και στην τυπική εργαστηριακή απόδοση του κεφαλαίου 4.3, αλλά έχουν και μεγαλύτερους, συγκριτικά, δείκτες «S/P» και VEL. Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής όμως, αν και τα δεδομένα τους είναι πολύ κοντά στους λαμπτήρες LED, για εγκαταστάσεις υψηλής ισχύος, είναι προτιμότεροι. Αυτό

προκύπτει επειδή, όπως προαναφέρθηκε, οι λαμπτήρες LED παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερο κόστος αγοράς και συντήρησης για τόσο μεγάλες ενεργειακές αποδόσεις. Βέβαια, τα δεδομένα αυτά αλλάζουν ραγδαία με το πέρασ του χρόνου και με την μεγάλη ανταγωνιστικότητα στις μέρες μας. Λόγω ζήτησης, δεν αποκλείεται σύντομα να είναι και οι δύο στα ίδια επίπεδα κόστους.

4.6 Φασματικές Κατανομές Εξόδου

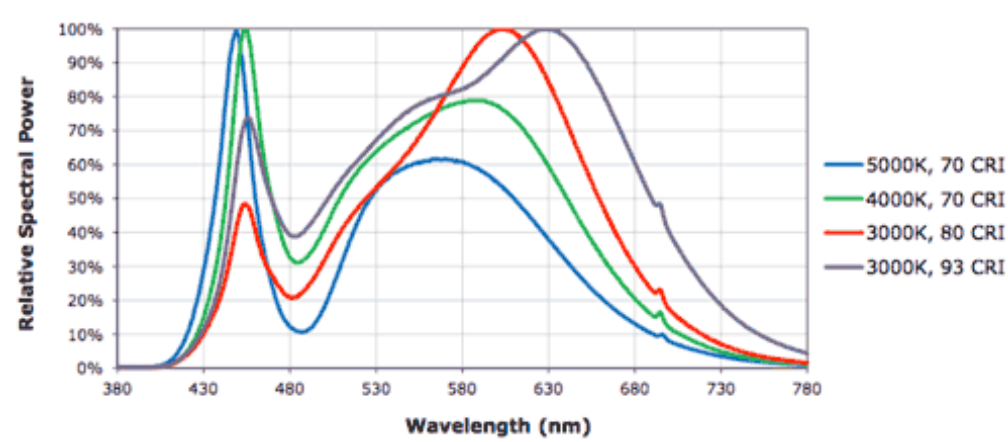
Ως φασματική κατανομή στην έξοδο μιας πηγής φωτός ορίζουμε την μέτρηση της ποσότητας φωτός για κάθε μήκος κύματος (χρώμα) που παράγεται από αυτήν, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [49]. Η φασματική κατανομή μετράται με ένα όργανο το οποίο ονομάζεται σπεκτρομέτρο (spectrometer). Το όργανο αυτό μετράει την ποσότητα εξόδου σε κάθε μήκος κύματος και τα δεδομένα του σχεδιάζονται σε ένα διάγραμμα με δεδομένα την ένταση του φωτός σε σχέση με το μήκος κύματος. Ως μέτρο σύγκρισης για την φασματική κατανομή εξόδου των λαμπτήρων έχουμε την φασματική κατανομή του φωτός του ηλίου η οποία προφανώς δεν είναι ίδια όλες τις ώρες της ημέρας. Το ηλιακό φως κατά την διάρκεια της ημέρας, που προέρχεται από τον Ήλιο, παρουσιάζει χρωματική θερμοκρασία 20000° K με καθαρό και γαλανό ουρανό. Αυτή φθάνει έως και τους 4000° K όταν ο Ήλιος δύει. Πολύ μεγάλο, λοιπόν, ρόλο στην φασματική κατανομή του ηλιακού φωτός παίζει η γωνία του ήλιου την δεδομένη χρονική περίοδο αλλά και την ώρα της ημέρας, η ατμοσφαιρική ρύπανση αλλά και οι καιρικές συνθήκες.

Το παρακάτω διάγραμμα, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [49], είναι μία τυπική φασματική κατανομή του ηλιακού φωτός, με αίθριο καιρό, το μεσημέρι.



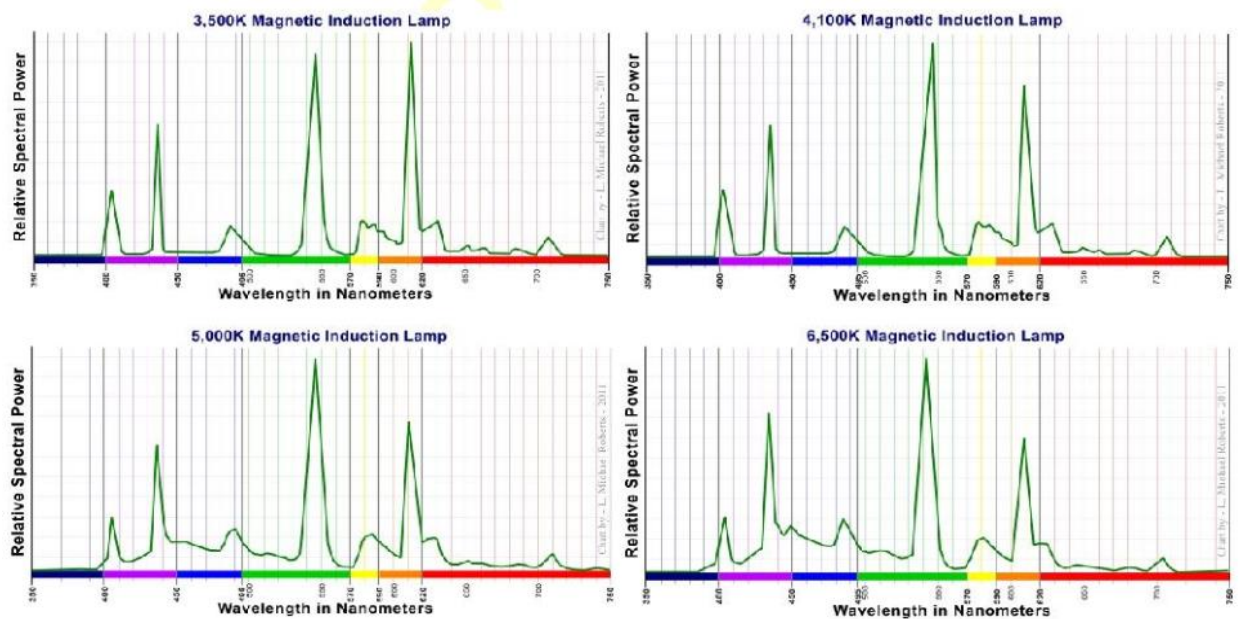
Εικόνα 4.6.1 : Φασματικό Διάγραμμα Ηλιακού Φωτός Υπό Συνθήκες [49]

Στην παρακάτω εικόνα, η οποία βρίσκεται στην βιβλιογραφία [52], φαίνεται το φασματικό διάγραμμα λαμπτήρων LED από 3000° K, μέχρι και 5000° K.



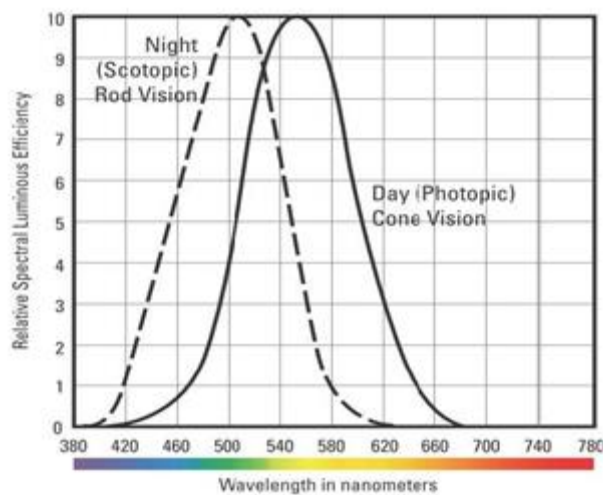
Εικόνα 4.6.2 : Φασματικά Διαγράμματα Διαφόρων Τύπων LED[52]

Τα παρακάτω φασματικά διαγράμματα, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [49], είναι τα διαγράμματα λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής για 3500° K, 4100° K, 5000° K και 6500° K.



Εικόνα 4.6.3 : Φασματικά Διαγράμματα Διαφόρων Τύπων Λαμπτήρων Μαγνητικής Επαγωγής

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε τις δύο καμπύλες ευαισθησίας του ανθρώπινου οφθαλμού.



Εικόνα 4.6.4 : Καμπύλες Ευαισθησίας Ανθρώπινου Οφθαλμού

Στα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε τις καμπύλες των φασματικών κατανομών εξόδου των δύο εξεταζόμενων λαμπτήρων λειτουργώντας υπό διαφορετικές χρωματικές θερμοκρασίες. Όπως φαίνεται, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής παρουσιάζουν ελαφρώς καλύτερες φασματικές κατανομές εξόδου από αυτές των

λαμπτήρων LED. Οι καμπύλες των λαμπτήρων δίχως ηλεκτρόδια έχουν τις ακμές τους μετατοπισμένες αριστερότερα, όπως φαίνεται στα διαγράμματα, με αποτέλεσμα όπως είπαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο να έχουν ελάχιστα μεγαλύτερους δείκτες «S/P». Αξίζει να σημειωθεί βέβαια πως, οι διαφορές τους είναι αρκετά μικρές. Ως ωφέλιμες καμπύλες, για την σύγκριση των δύο τύπων λαμπτήρων ώστε να είναι κατάλληλοι για οδικό φωτισμό, όρισα αυτές των 3000° K και των 4000° K για το διάγραμμα των λαμπτήρων LED και των 3500° K και 4100° K για τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [50], ο φωτισμός των πόλεων, δεν επιλέγεται μόνο από τα κριτήρια που εξετάζουμε, αλλά και βάση κάποιων κριτηρίων υγείας. Οι λαμπτήρες και τα φωτιστικά συστήματα που χρησιμοποιούμε θα πρέπει να βρίσκονται στην περιοχή των 3000° K έως και τους 4500° K. Πρέπει λοιπόν να επιλέγουμε πηγές φωτός που εκπέμπουν φωτισμό σε θερμές αποχρώσεις του λευκού φωτός, με μεγάλη επιρροή στην έκκριση μελατονίνης.

4.7 Συντελεστής Ισχύος

Ως συντελεστή ισχύος στα ηλεκτρικά συστήματα ορίζουμε κλάσμα της ενεργού ισχύος προς την φαινόμενη. Η παρακάτω σχέση μας δίνει τον συντελεστή ισχύος PF.

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{V_1 \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi_1)}{V_1 \cdot I} = \frac{I_1}{I} \cdot \cos(\varphi_1)$$

Ο όρος « φ_1 » είναι η γωνία που ορίζει την διαφορά φάσης της τάσης του ρεύματος και της θεμελιώδους συνιστώσας του. Στην περίπτωση που δεν έχουμε αρμονικές συνιστώσες ανώτερης τάξης, τις οποίες θα μελετήσουμε παρακάτω, μόνο το φορτίο, που καθορίζεται από την « φ_1 », επηρεάζει τον συντελεστή ενώ ο πρώτος όρος ισούται με την μονάδα. Κατά τα γνωστά, ιδανικά, ο συντελεστής ισχύος κάθε συσκευής πρέπει να τείνει στην μονάδα. Αυτό, στην τεχνολογία φωτισμού, το επιτυγχάνει μόνο ο λαμπτήρας πυρακτώσεως καθώς δεν περιλαμβάνει καθόλου παθητικά στοιχεία, άρα δεν έχει καθόλου απώλειες με αποτέλεσμα η φαινόμενη ισχύς του να είναι ίση με την ενεργό. Τα φωτιστικά συστήματα, πέρα από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως που αποτελούν εξαίρεση, αποτελούνται από παθητικά στοιχεία όπως πυκνωτές και πηνία, κυρίως στην τροφοδοσία τους, με αποτέλεσμα

λόγω των στοιχείων αυτών να έχουν απώλειες, άρα η φαινόμενη ισχύς τους είναι μεγαλύτερη της ενεργού. Γι' αυτό ευθύνονται επίσης, σύμφωνα με τις βιβλιογραφίες [49], [50], οι ποσότητες ενέργειας οι οποίες αποθηκεύονται στο φορτίο και επιστρέφουν στην πηγή καθώς και τα μη γραμμικά φορτία, τα οποία διαταράσσουν την κυματομορφή του ρεύματος. Το κλάσμα λοιπόν του συντελεστή, έχει μεγαλύτερο παρονομαστή απ' τον αριθμητή του, με αποτέλεσμα, προφανώς, ο συντελεστής ισχύος να είναι κάτω της μονάδας [49]. Λόγω του χαμηλότερου της μονάδας συντελεστή ισχύος, αυξάνονται οι απώλειες στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, κι έτσι αυξάνεται το ενεργειακό κόστος για τη λειτουργία του φωτιστικού συστήματος, αφού απαιτείται μεγαλύτερη φαινόμενη ισχύς από το δίκτυο για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών. Δηλαδή πρέπει το φωτιστικό σύστημα, ουσιαστικά, να καλύψει τις απώλειες σε ενεργή ισχύ. Όσον αφορά τα συστήματα φωτισμού που εξετάζουμε, ιδιαίτερα για οδικό φωτισμό, παρουσιάζουν και τα δύο πολύ υψηλούς συντελεστές ισχύος.

Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, παρουσιάζουν, όπως αναφέρεται και στις βιβλιογραφίες [1], [4], [16], [49], συντελεστές ισχύος που κυμαίνονται από 90 % έως και 98 %, σύμφωνα πάντα και με τους κατασκευαστές τους, στις νεότερες εκδόσεις τους. Οι απώλειες οι οποίες ουσιαστικά κατεβάζουν τον συντελεστή ισχύος, πέρα από τις απώλειες στην τροφοδοσία τους λόγω των παθητικών στοιχείων που προαναφέρθηκαν, είναι πρώτον οι στατικές απώλειες στον πυρήνα τους, με τις οποίες σχετίζονται τα φαινόμενα υστέρησης. Δεύτερον είναι οι δυναμικές, πάλι στον πυρήνα, οι οποίες σχετίζονται με τα παρασιτικά φαινόμενα, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [8]. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν οι συγγραφείς, σύμφωνα με τα πειραματικά τους αποτελέσματα, όσο αυξάνεται η τάση, με σταθερή ισχύ, αυξάνονται γραμμικά και οι συνολικές απώλειες, δηλαδή το άθροισμα των δυναμικών με τις στατικές, άρα μειώνεται ο συντελεστής ισχύος. Βέβαια, στα συστήματα οδικού φωτισμού, οι λαμπτήρες βρίσκονται υπό υψηλές ισχύς και τάσεις. Σύμφωνα με τις βιβλιογραφίες [4], [16], στους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, η υψηλή ισχύς σε συνδυασμό με την υψηλή τάση, μειώνουν τις απώλειες φθάνοντας στα 4 W με το πολύ 6 W και έτσι δίνουν συντελεστές ισχύος έως και 95 %. Συγκεκριμένα, στην βιβλιογραφία [16], ο λαμπτήρας που εξετάζεται

είναι στα 250 W ισχύος και οδηγείται από τάση 1 MHz και φυσικά είναι κατάλληλος για οδικό φωτισμό. Οι επαγωγοί του συγκεκριμένου συστήματος δοκιμάστηκαν να έχουν περισσότερα τυλίγματα δίνοντας έτσι λιγότερες απώλειες με τον συντελεστή ισχύος να φθάνει πάνω από 95 %. Βλέπουμε λοιπόν, ότι εύκολα ο συντελεστής ισχύος των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής φθάνει σε πάρα πολύ υψηλά επίπεδα.

Όσον αφορά τις διόδους εκπομπής φωτός LED σε εφαρμογές οδικού φωτισμού, τα δεδομένα που λαμβάνουμε από τις βιβλιογραφίες [1], [29], [30], [51], παρουσιάζουν γενικά χαμηλότερους συντελεστές ισχύος από τους λαμπτήρες δίχως ηλεκτρόδια. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω τις τροφοδοσίας τους (ballast), η οποία πολλές φορές περιλαμβάνει μετασχηματιστές «πυρήνα – πηνίου». Έτσι, κατά τα λεγόμενα όλης της μελέτης της βιβλιογραφίας, μειώνεται αισθητά η απόδοση του συστήματος λόγω αυξημένων απωλειών που προκύπτουν προφανώς από τα παθητικά τους στοιχεία. Νέες τάσεις στην τεχνολογία συστημάτων LED για οδικό φωτισμό, με τοπολογίες που προτείνουν, δίνουν, αλλάζοντας την δομή του συστήματος, πολύ αυξημένους συντελεστές ισχύος οι οποίοι φθάνουν από 91,5 %, κατά την βιβλιογραφία [29], μέχρι και 97,6 %, όπως φαίνεται στην βιβλιογραφία [51]. Επίσης, ένα σοβαρό πρόβλημα των λαμπτήρων LED, το οποίο έχει αναφερθεί προηγουμένως πολλάκις, είναι η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας τους που φυσικά συνεπάγεται μεγάλες απώλειες.

Παρακάτω παραθέτω έναν συγκριτικό πίνακα, από τα δεδομένα που συνέλλεξα και σύμφωνα ποια με την δική μου άποψη, συγκρίνοντάς τα. Ο πίνακας αυτός δίνει το εύρος των συντελεστών ισχύος των προς σύγκριση λαμπτήρων.

Λαμπτήρες	Συντελεστές Ισχύος
LED	43 % - 97,5%
Μαγνητικής Επαγωγής	90 % - 98 %

Πίνακας 4.7.1: Σύγκριση Συντελεστών Ισχύος Λαμπτήρων LED & Λαμπτήρων Μαγνητικής επαγωγής

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα, μικρή διαφορά παρουσιάζουν στις μέρες μας κατά την σύγκρισή τους, ως προς τους συντελεστές ισχύος τους, οι δίοδοι εκπομπής φωτός με τους λαμπτήρες δίχως ηλεκτρόδια σε εφαρμογές τους για οδικό

φωτισμό. Προφανώς βέβαια, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής έχουν ελαφρά αυξημένο, λόγω των προαναφερθέντων. Γίνεται όμως, όπως φάνηκε και από την βιβλιογραφία, μια σοβαρή προσπάθεια και με τα σημερινά δεδομένα άκρως επιτυχημένη, προκειμένου να αυξηθεί ο συντελεστής ισχύος των φωτιστικών συστημάτων LED. Οι επιστήμονες στοχεύουν κυρίως στα παθητικά τους στοιχεία και ποιο συγκεκριμένα στην τροφοδοσία τους. Επίσης γίνεται μεγάλη προσπάθεια από τους κατασκευαστές για την μείωση της θερμοκρασίας που αναπτύσσουν οι δίοδοι εκπομπής φωτός. Τα αποτελέσματα μας δίνουν σήμερα την εξίσωση, σχεδόν, των συντελεστών ισχύος των λαμπτήρων LED με τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, στις ποιο προηγμένες και προφανώς με το μεγαλύτερο κόστος κατασκευές τους. Χαρακτηριστικό εδώ είναι, όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα πως ακόμα και ο φθηνότερος λαμπτήρας δίχως ηλεκτρόδια έχει συντελεστή ισχύος άνω του 90 % με τους λαμπτήρες LED να φθάνουν το όριο αυτό μέσω των πιο προηγμένων συστημάτων τους.

4.8 Συντελεστής Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης Τάσης & Ρεύματος (THD)

Ένας πολύ σημαντικός όρος, που πρέπει να λαμβάνουμε υπ' όψιν μας προκειμένου να αξιολογήσουμε μια πηγή φωτός, είναι ο συντελεστής ολικής αρμονικής παραμόρφωσης της τάσης και αντίστοιχα του ρεύματος, του συστήματος που αναφέρεται αλλιώς και ως «THD». Τα παθητικά στοιχεία των ηλεκτρονικών συσκευών και συγκεκριμένα στο θέμα μας, τα επιμέρους κομμάτια των φωτιστικών συστημάτων, όπως η τροφοδοσία τους, παρουσιάζουν κατά την λειτουργία τους ανώτερες αρμονικές. Έτσι, τα καλώδια των στοιχείων αυτών, λόγω τις άεργου ισχύος που καταναλώνουν, υπερφορτίζονται και ανεβάζουν θερμοκρασία μειώνοντας τον συντελεστή ισχύος. Έτσι, ο συντελεστής ολικής αρμονικής παραμόρφωσης μας δίνει ουσιαστικά το πόσο παραμορφώνονται, η τάση και το ρεύμα, που δίνονται από την τροφοδοσία στο δίκτυο. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής ολικής αρμονικής παραμόρφωσης, τόσο μειώνεται ο συντελεστής ισχύος. Επίσης προκαλεί διαταραχές στα υπόλοιπα ηλεκτρονικά συστήματα και παρεμβάλλεται στο δίκτυο ηλεκτρισμού. Παρακάτω, φαίνεται η εξίσωση του

συντελεστή ισχύος σε σχέση με τον συντελεστή ολικής αρμονικής παραμόρφωσης «THD» .

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1+THD^2}} \cdot \cos(\phi_1)$$

Η παρακάτω εξίσωση μας δίνει την σχέση του συντελεστή αρμονικής παραμόρφωσης «THD». Ο αριθμητής εδώ δίνει, χωρίς τον υπολογισμό της θεμελιώδους συνιστώσας, την ενεργό τιμή του σήματος. Ο παρονομαστής αναφέρεται στην ενεργό τιμή της θεμελιώδους συνιστώσας ενώ η «F₀» είναι η «dc» συνιστώσα.

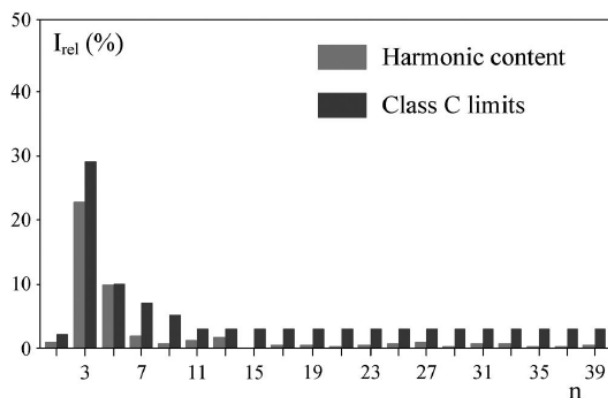
$$THD = \frac{\sqrt{F^2 - F_1^2}}{F_1} = \frac{\sqrt{F_0^2 + \sum_{n=2}^{\infty} F_n^2}}{F_1}$$

Τα όρια του συντελεστή THD της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος πρέπει να είναι μικρότερα του 32 % ενώ του συντελεστή THD για την ολική αρμονική παραμόρφωση της τάσης πρέπει να είναι μικρότερα του 5%. Σε περίπτωση που ο συντελεστής THD ξεπεράσει τα παραπάνω όρια αυξάνονται οι απώλειες, άρα αυξάνεται και το ενεργειακό κόστος του φωτισμού. Προσθέτοντας διάφορα συστήματα στοιχείων στο κύκλωμα, κυρίως στην τροφοδοσία, των φωτιστικών συστημάτων, γίνεται να βελτιώσουμε τον συντελεστή THD, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [51].

Οι τροφοδοσίες των συστημάτων φωτισμού με μετασχηματιστές τύπου «πυρήνα-πηνίου» καταναλώνουν από 10 % έως και 20 % παραπάνω ενέργεια από την ονομαστική των λαμπτήρων, ενώ οι ηλεκτρονικού τύπου τροφοδοσίες καταναλώνουν από 4 % έως το πολύ 9 % παραπάνω ενέργεια σε σχέση με την ονομαστική.

Οι λαμπτήρες LED, σύμφωνα με τις βιβλιογραφίες [30], [51], έχουν αρκετά πιο αυξημένο συντελεστή THD, με την καλύτερη περίπτωση τους, για φωτιστικό σύστημα LED οδικού φωτισμού, να φτάνει το 22 %. Αυτό βέβαια επιτεύχθηκε με την προτεινόμενη τοπολογία της βιβλιογραφίας [30], όπου δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην τροφοδοσία του φωτιστικού. Ο πίνακας παρακάτω δίνεται από την

βιβλιογραφία [30] και επαναλαμβάνεται σχεδόν απόλυτα ίδιος στην βιβλιογραφία [51]. Αυτό σημαίνει πως είναι αρκετά αξιόπιστος για να δούμε, σύμφωνα βέβαια με τα πειραματικά αποτελέσματα, το διάγραμμα της βέλτιστης, μέχρι τώρα, ολικής αρμονική παραμόρφωσης του ρεύματος εισόδου υπό ονομαστική τάση εισόδου και σε πλήρη ισχύ.



Εικόνα 4.8.1: Διάγραμμα Συντελεστή Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης Ρεύματος Εισόδου Λαμπτήρα LED, Ονομαστικής Τάσης Σε Πλήρη Ισχύ [30]

Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, οι οποίοι χρησιμοποιούν ηλεκτρονικές τροφοδοσίες, καταναλώνουν από 2 % έως και 5 % παραπάνω ενέργεια σε σχέση με την ονομαστική τους. Αυτό τους καθιστά ίσως τους ανώτατους στον τομέα αυτό με ελάχιστες όπως φαίνεται απώλειες.

Συμπερασματικά, στον συγκεκριμένο τομέα, όπως ξεκάθαρα φαίνεται από τα παραπάνω τα φωτιστικά συστήματα LED, σε εφαρμογές οδικού φωτισμού, υστερούν αρκετά στον τομέα της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος και της τάσης που εξετάσαμε στο κεφάλαιο αυτό. Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής είναι πολύ ανώτεροι στον τομέα αυτό. Γίνονται σημαντικές προσπάθειες, στις μέρες μας, όπως φάνηκε και από τις προτεινόμενες τοπολογίες που είδαμε στις βιβλιογραφίες [30] και [51], να μειωθεί αρκετά το ποσοστό του συντελεστή THD στα φωτιστικά συστήματα LED. Ακόμα όμως δεν υπάρχει θέμα σύγκρισης στο ζήτημα αυτό των φωτιστικών συστημάτων LED με τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής.

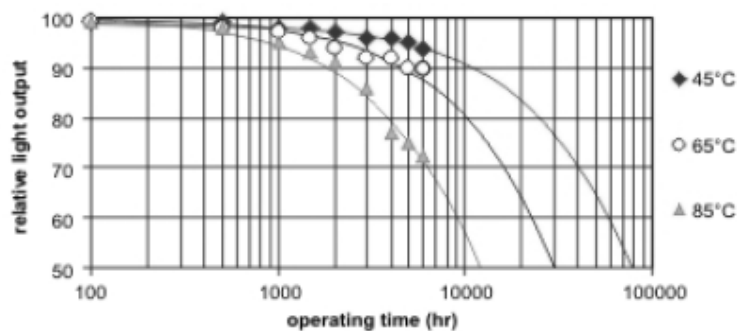
4.9 Εξάρτηση Λαμπτήρων Από Περιβαλλοντικές Συνθήκες

Όλα τα είδη συστημάτων φωτισμού, όπως φάνηκε και από την βιβλιογραφική έρευνα του κεφαλαίου 2, σχεδιάζονται πειραματικά υπό συνθήκες θερμοκρασίας δωματίου, δηλαδή περίπου στους 25° C. Σε εξωτερικές συνθήκες, προφανώς, οι πειραματικές θερμοκρασίες συναντώνται σπάνια και όπως είναι φυσικό, το εύρος των τιμών της θερμοκρασίας που μπορεί να λειτουργήσει σωστά και αποδοτικά μια πηγή φωτός είναι μια πολύ σημαντική πληροφορία για την επιλογή της. Τα φωτιστικά συστήματα για χρήση σε οδικό φωτισμό, σίγουρα, ανάλογα την εποχή και τον τόπο στον οποίο βρίσκονται, υπόκεινται σε ακραίες θερμοκρασίες πολύ συχνά, ίσως και συνέχεια. Κάποια φωτιστικά συστήματα εμφανίζουν καλύτερη λειτουργία και απόδοση υπό μεγαλύτερες θερμοκρασίες και άλλα σε χαμηλούς βαθμούς κελσίου. Μεγάλη εξάρτηση από την θερμοκρασία παρουσιάζει η τροφοδοσία των φωτιστικών συστημάτων, στην οποία μπορεί να δημιουργηθεί σοβαρότατο πρόβλημα από υψηλές θερμοκρασίες. Έτσι μπορεί ο λαμπτήρας να λειτουργεί κανονικά χρησιμοποιώντας ειδικές συσκευασίες με ψήκτρες με σκοπό την απαγωγή της επιπλέον θερμότητας, όσο αυτό είναι δυνατόν.

Σύμφωνα με τις βιβλιογραφίες [10], [15], [19], [53], όσον αφορά τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής λόγω του σχεδιασμού τους και της τοποθέτησης του πηνίου στο κύκλωμά τους, εμφανίζουν εξαιρετικά καλές αντοχές σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες. Έτσι, σε υψηλές περιβαλλοντικές θερμοκρασίες έως και 50° C λειτουργούν χωρίς κανένα πρόβλημα μιας και αυτό είναι το ανώτατο όριο λειτουργίας των γεννητριών υψηλών συχνοτήτων στο σύστημά τους. Σε θερμοκρασίες πάνω από 50° C, ο λαμπτήρας λειτουργεί, έχοντας όμως αρκετά μειωμένο χρόνο ζωής, με το πρόβλημα προφανώς να γίνεται αντιληπτό κυρίως στο σύστημα τροφοδοσίας του. Όσον αφορά τις χαμηλές θερμοκρασιακές συνθήκες του περιβάλλοντος, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής λειτουργούν χωρίς να παρουσιάζουν κανένα πρόβλημα με όρια από τους κατασκευαστές από -35° C έως -50° C. Οι λαμπτήρες δίχως ηλεκτρόδια, σε εξωτερικές θερμοκρασίες μέχρι και τους -40° C αποδίδουν το 85 % της φωτεινής ροής τους.

Τα φωτιστικά συστήματα LED όπως προαναφέρθηκε, ανεβάζουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες στο κύκλωμά τους. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [53], σε αντίθεση με τους συμβατικούς λαμπτήρες και τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, τα LED παράγουν πολύ λίγη υπέρυθη ακτινοβολία «IR», εκτός φυσικά αν έχουν σχεδιαστεί για το σκοπό αυτό. Ως γνωστόν, το 85 % της ενέργειας που καταναλώνεται από τους συμβατικούς λαμπτήρες μετατρέπεται σε υπέρυθη ακτινοβολία «IR» που είναι και η πηγή της παραγωγής της υψηλής θερμότητάς τους. Αντίθετα οι διόδους εκπομπής φωτός, αν και φαίνεται να μην εμφανίζουν παραγωγή θερμότητας, η σχεδίαση τους είναι τέτοια που το 60 % με 90 % της κατανάλωσης της ενέργειάς τους χάνεται ως θερμότητα μέσα στο ίδιο τους το τσιπ. Δεδομένου ότι η περιοχή που παράγει φως είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με το υπόλοιπο φωτιστικό σύστημα LED και λόγω του χαμηλού επιπέδου ισχύος, τα LED αισθάνονται δροσερά στην αφή και στην πραγματικότητα εξωτερικεύουν πολύ λίγη θερμότητα. Προφανώς λοιπόν, οι υψηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος είναι ένα σημαντικό εμπόδιο για τις διόδους εκπομπής φωτός σύμφωνα με τις βιβλιογραφίες [22], [25], [31], [32], [42], [53]. Όπως φαίνεται λοιπόν, τα φωτιστικά συστήματα LED λειτουργούν πολύ πιο αποτελεσματικά σε χαμηλές θερμοκρασίες εξωτερικού χώρου, έχοντας περισσότερα lm/W, από ότι σε θερμοκρασίες δωματίου. Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες καταβάλλεται μεγάλη προσπάθεια να διατηρηθεί το τσιπ κάτω από την θερμοκρασία διασταύρωση, η οποία είναι βέβαια δύσκολο να μετρηθεί και εκτιμάται μέσω της θερμοκρασίας της συσκευασίας και της θερμοκρασίας του μόλυβδου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, να μειώνεται αισθητά η εκπομπή φωτός, καθώς φυσικά και ο χρόνος ζωής των διόδων εκπομπής φωτός. Στην πραγματικότητα, η θερμότητα που παράγεται στη βάση του τσιπ πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά για να διατηρηθεί η φωτεινή ροή. Τα τσιπ των LED είναι συνήθως σχεδιασμένα για να λειτουργούν σε θερμοκρασία διασταύρωσης των 25° C και κάθε αύξηση αυτής προκαλεί σημαντική μείωση της ωφέλιμης διάρκειας ζωής τους. Οι σχεδιαστές έχουν ως στόχο να βελτιστοποιήσουν τη θερμική τους διαχείριση για να έχουν την δυνατότητα να διασκορπίσουν τη θερμότητα που παράγουν. Φυσικά, αυτό τον σκοπό έχουν οι ψήκτρες. Έτσι, οι λαμπτήρες LED λειτουργούν με άριστη απόδοση σε συνθήκες περιβάλλοντος έως και στους 40° C. Υψηλότερες θερμοκρασίες θα οδηγήσουν σε κρίσιμη αποτυχία σε πολύ σύντομο

χρονικό διάστημα. Κάτι πολύ σημαντικό, που αναφέρεται στην βιβλιογραφία[32], είναι ότι το μέγεθος της ψήκτρας των φωτιστικών αυτών συστημάτων, καθορίζει, προφανώς εν μέρει, και το κόστος τους. Επίσης, στην βιβλιογραφία [32], τα αποτελέσματα των πειραμάτων, κατά τα οποία δυο είδη λαμπτήρων οδικού φωτισμού LED δοκιμάστηκαν σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες από -5° C έως και 50° C, έδειξαν πως η απόδοση της απαγωγής της θερμότητας σε φωτιστικά συστήματα συστοιχίας LED πολλών λυχνιών σε σειρά, είναι ανώτερη από αυτά που αποτελούνται από μία μεγαλύτερης ισχύος λυχνία. Το παρακάτω διάγραμμα, που δίνεται στην βιβλιογραφία [53], μας δίνει την σχέση της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας με την σχετική φωτεινή έξοδο και τον ωφέλιμο χρόνο ζωής των φωτιστικών συστημάτων LED.



Εικόνα 4.9.1: Σχέση Θερμοκρασίας Με Την Φωτεινή Ροή & Τον Χρόνο Ζωής Των LED [53]

Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκριτικός πίνακας, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [53], που δίνει τις αποδεκτές θερμοκρασίες αντοχής, διαφόρων τύπων λαμπτήρων οδικού φωτισμού.

Light Source	Acceptable Ambient Temperature		
	Low Ambient Starting	Low Ambient Operating①	High Ambient
Incandescent	No apparent limit	No apparent limit	Limited by fixture③
LED	-50°C	-50°C	30 – 40°C
Fluorescent T-5	-0 to -20°C②	-20°C ③	40 – 65°C④
Fluorescent T-8	-0 to -20°C②	-20°C ③	40 – 65°C④
Induction	-40°C	-40°C	40 – 65°C④
Metal Halide - Probe Start	-30°C	No apparent limit⑤	40 – 65°C
Metal Halide - Pulse Start	-35°C	No apparent limit⑤	40 – 65°C
High Pressure Sodium	-40°C	No apparent limit⑤	40 – 65°C

Εικόνα 4.9.2: Πίνακας Σύγκρισης Λαμπτήρων Οδικού Φωτισμού Σύμφωνα Με Της Θερμοκρασιακές Τους Αντοχές [53]

Όσον αφορά τις συνθήκες βροχής, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, καθώς και τα φωτιστικά συστήματα LED αντιμετωπίζουν, άψογα, κάθε αντιξοότητα μέσω των προηγμένων τύπων των συσκευασιών που τα περιβάλλουν. Σε συνθήκες χιονιού και ιδιαίτερα σε συνθήκες πάγου, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής λόγω της μεγάλης θερμότητας που αναπτύσσουν στο σημείο που εγχύεται η φωτεινή τους ροή, μέσω της υπέρυθρης ακτινοβολίας, δεν παρουσιάζουν κανένα απολύτως πρόβλημα καθώς λιώνουν τον πάγο. Αντίθετα, τα φωτιστικά συστήματα LED, παρουσιάζουν πρόβλημα όταν είναι εκτεθειμένα σε χιονόνερο, χιόνι, ή περισσότερο, στον πάγο. Δεδομένου ότι τα LED, όπως είδαμε προηγουμένως, παράγουν πολύ λίγη θερμότητα, στο σημείο που εκτίθεται στο περιβάλλον δηλαδή το σημείο που προβάλλει το φως, καθώς δεν παράγεται υπέρυθρη ακτινοβολία, συχνά δεν έχουν την ικανότητα να λιώσουν οποιαδήποτε συσσώρευση πάγου. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [53], στην οποία αναφέρεται ένα πείραμα, που εκπονήθηκε από Αμερικάνους επιστήμονες, οι λαμπτήρες LED που εκτέθηκαν υπό διάφορες ακραίες συνθήκες πάγου. Ακόμα και στους -5°C , όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται, ο πάγος έμεινε άθικτος στην επιφάνεια του λαμπτήρα.

Συμπερασματικά λοιπόν, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, όπως φάνηκε από τα παραπάνω, υπερτερούν σ' αυτόν τον τομέα, των φωτιστικών συστημάτων διόδων εκπομπής φωτός σε εφαρμογές οδικού φωτισμού, όπου αυτά εκτίθενται σε ακραίες συνθήκες. Αξίζει να σημειωθεί βέβαια, πως τα φωτιστικά συστήματα LED σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, αποδίδουν άριστα, καλύτερα από ότι σε θερμοκρασία δωματίου (25°C). Σε πολύ εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες είναι πολύ πιο αποδοτικά από τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής. Υπό αυτές τις συνθήκες, όμως, σχεδόν πάντοτε επικρατούν και συνθήκες χιονιού, ή ακόμα περισσότερο, συνθήκες πάγου, στο περιβάλλον. Αυτό σημαίνει πως ενώ οι λαμπτήρες LED, όταν εφαρμόζονται σε μέρη που επικρατούν εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες, έχουν άριστη απόδοση, καλύτερη των λαμπτήρων δίχως ηλεκτρόδια, η φωτεινή ροή που εκπέμπουν μειώνεται αισθητά λόγω του πάγου που την εμποδίζει. Σε περιοχές όπου επικρατούν αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, όπως οι περισσότερες περιοχές της Ελλάδας κατά τους θερινούς μήνες, χωρίς καμία αμφιβολία, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής είναι αρκετά καλύτεροι, λόγω του υψηλότερου σημείου

αντοχής τους (πάνω από 50° C). Τα φωτιστικά συστήματα LED, όπως αναφέρθηκε, περιορίζουν την υψηλή τους απόδοση, σε θερμοκρασίες μέχρι 40° C, έχοντας όμως υψηλή εσωτερική θερμοκρασία, εγκυμονώντας πολλούς κινδύνους. Αξίζει να σημειωθεί ότι καταβάλλεται μεγάλη προσπάθεια από τους κατασκευαστές, με πολύ καλά αποτελέσματα προκειμένου να αυξήσουν κατά πολύ τις αντοχές και των δυο ειδών, λαμπτήρων, σε εφαρμογές οδικού φωτισμού. Αυτό επιτυγχάνεται, κυρίως μέσω των υλικών των συσκευασιών που τα περιβάλλουν και των ψυκτών τους. Ένα ακόμα μειονέκτημά τους που αξίζει να αναφερθεί εδώ, είναι πως τα φωτιστικά συστήματα LED έχουν αρκετά μεγαλύτερες διαστάσεις από αυτά των επαγωγικών λαμπτήρων φθορισμού, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [1]. Αυτό συμβαίνει διότι στον ηλεκτροφωτισμό οδών, τα φωτιστικά συστήματα LED χρειάζονται μεγάλου μεγέθους ψύκτρες, για να ανταπεξέλθουν στις πιθανές, υψηλές θερμοκρασίες.

4.10 Κόστος

Καθώς αυξάνεται το κόστος της ενέργειας, οι κυβερνήσεις και οι δήμοι ψάχνουν τρόπους για να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας στις δημόσιες υποδομές. Ο οδικός φωτισμός είναι σε λειτουργία οπουδήποτε 7 έως και 12 ώρες την ημέρα, αν και βέβαια υπάρχουν εποχιακές διακυμάνσεις, ανάλογα με τις νυχτερινές ώρες στην εκάστοτε περιοχή. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για τον φωτισμό δρόμων έως και 10 % μπορεί να προσφέρει τεράστια εξοικονόμηση κόστους σε ολόκληρη την κλίμακα μιας πόλης, αλλά στις μέρες μας, ίσως μιας ολόκληρης χώρας. Ένα από τα πιο σοβαρά λοιπόν, προς εξέταση των ειδικών, θέματα για τον φωτισμό δρόμων και γενικά για τον φωτισμό μεγάλης κλίμακας είναι το κόστος. Το κόστος προκύπτει, συνυπολογίζοντας διάφορους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το κάθε ένα φωτιστικό σώμα. Τους περισσότερους από αυτούς τους παράγοντες, τους είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια. Περιληπτικά, το κόστος εξαρτάται, από τον συντελεστή ολικής παραμόρφωσης του ρεύματος του φωτιστικού σώματος «THD», την αναλογία της σκοτοπικής/φωτοπικής ακτινοβολίας «S/P» και τον συντελεστή «VEL», την ισχύ του λαμπτήρα σε Watt, την χρωματική απόδοση του εκάστοτε λαμπτήρα, τις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται το εκάστοτε φωτιστικό σύστημα και πόσο αυτές το επηρεάζουν, τον συντελεστή ισχύος του κάθε λαμπτήρα, την ενεργειακή του απόδοση και την απόδοση φωτεινής ροής σε

Lumen και τέλος, την διάρκεια ζωής τους. Προφανώς λοιπόν, η ανάλυση του κόστους αλλάζει ανάλογα με τις εκάστοτε μεταβλητές που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Παρακάτω παραθέτω έναν πολύ ενδιαφέρον πίνακα, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [54]. Ο πίνακας αυτός δημιουργήθηκε βέβαια αρκετά χρόνια πριν (2010), όμως, όπως φάνηκε από την έρευνα μου, είναι ενδεικτικός μέχρι και σήμερα. Για τον πίνακα αυτό θεωρήθηκε πως οι λαμπτήρες λειτουργούν σε ιδανικές συνθήκες και οι επιστήμονες έλαβαν υπ' όψιν τους μόνο τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά, χωρίς τους συντελεστές. Τα φωτιστικά αυτά, προφανώς δεν είναι κατάλληλα για τον οδικό φωτισμό, όμως, αυτός ο πίνακας είναι ένα πολύ αρχικό παράδειγμα για την κατανόηση του κεφαλαίου αυτού καθώς μας δίνει την ανάλυση του κόστους των λαμπτήρων για 23 χρόνια λειτουργίας τους. Στην βιβλιογραφία [54], παρατίθεται πρώτα ένας πίνακας δίνοντας την ενεργειακή απόδοση και την απόδοση φωτεινής ροής για κάθε σύστημα φωτισμού ο οποίος είναι η βάση του πίνακα που προανέφερα.

Comparison of normal bulbs compared to other lighting lamps.

Lamps (types)	Power (W)	Operating frequency	Efficiency (%)	Efficacy (lm/W)	Formula (W × lm/W)	Output (Lumens)
Bulb	100	50/60 Hz	1.9–2.6	17 (12–20)	100 × 17	1700
Tube	18	50/60 Hz	9–15	94 (70–100)	18 × 94	1692
CFL	23	30–100 kHz	8–11	74 (50–80)	23 × 74	1702
LED ^a	15	DC	20–22	113 (80–150)	15 × 113	1700
EEFL	21	2.5–3 MHz	9–14	81 (80–82)	26 × 65	1701
Ideal source	7	CW	35–37	242	7 × 242	1700
Theoretical limit	2.5	CW	100	683	2.5 × 683	1700

Εικόνα 4.10.1: Πίνακας Ενεργειακής Απόδοσης Και Φωτεινής Ροής Λαμπτήρων [54]

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω και βάση της βιβλιογραφίας [54], παραθέτω παρακάτω τον πίνακα, έχοντας αλλάξει τις τιμές που δίνονται σε δολάρια, σύμφωνα με το ισχύον ποσοστό συναλλάγματος, σε ευρώ.

	Φωτιστικό Σύστημα LED	Λαμπτήρας μαγνητικής επαγωγής
Ισχύς λαμπτήρα για παραγωγή 1700 lm	15	21
Διάρκεια ζωής λαμπτήρα (σε kWhr)	50	100

Καταναλισκόμενες kWh για 100 kWh	1.500	2.100
Κόστος Ενέργειας (€) στις 100 kWh	66,08	92,51
Κόστος μονάδας λαμπτήρα (€)	36,71	44,05
Αλλαγές λαμπτήρων στις 100.000 ώρες λειτουργίας	2	1
Συνολικό κόστος λαμπτήρων και για τα 23 έτη (€)	73.42	44,05
Συνολικό Κόστος (€)	139.50	136.56
Μέσο Κόστος φωτισμού (€/h)	0,1395	0,13656

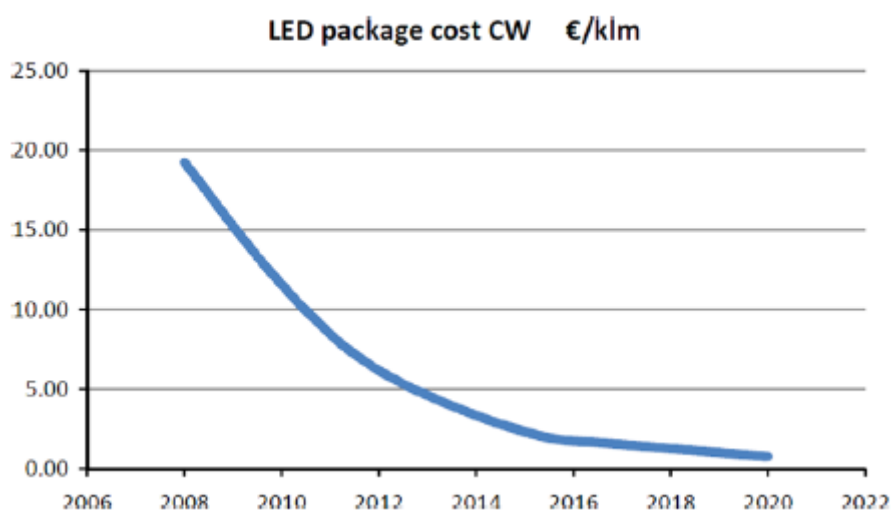
Πίνακας 4.10.1: Σύγκριση Κόστους Φωτιστικών Συστημάτων Σε Χρονική Περίοδο 23 Ετών [54]

Όπως λοιπόν βλέπουμε, πιο οικονομικοί φαίνονται να είναι, στον παραπάνω πίνακα, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής με μικρή όμως διαφορά από τα φωτιστικά συστήματα LED. Σύμφωνα, βέβαια, με τα σημερινά δεδομένα, το κόστος των συστημάτων LED έχει μειωθεί πάρα πολύ, κάνοντας τις διαφορές αυτές ακόμα μικρότερες. Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής υπερτερούν βέβαια ακόμα, καθώς κι αυτοί έχουν εξελιχθεί πολύ σημαντικά και επίσης, σύμφωνα με όλους τους παράγοντες που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια και θα δούμε παρακάτω.

Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, στο πέρας του χρόνου είναι αρκετά οικονομικότεροι σε σχέση με τα συστήματα φωτισμού LED κι ας κοστίζουν περισσότερο στην αγορά τους. Όμως το μεγάλο κόστος έχει σαν αποτέλεσμα να μην είναι τόσο διαδεδομένοι, όσο είναι τα φωτιστικά συστήματα LED, ειδικά στον οδικό φωτισμό, που οι τιμές, λόγω της μεγάλης ισχύος των λαμπτήρων, ανεβαίνουν

αισθητά. Έτσι, συναντάμε εγκαταστάσεις λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής κυρίως σε ανεπτυγμένες χώρες, καθώς το αρχικό κόστος είναι πολύ σημαντικός παράγοντας. Δεν υπάρχει η οικονομική δυνατότητα μαζικής αγοράς των λαμπτήρων σε χώρες που βρίσκονται σε ασθενή οικονομική κατάσταση.

Αξίζει να σημειωθεί, πως το κόστος αγοράς των φωτιστικών συστημάτων LED είναι και αυτό πολύ υψηλό. Γίνονται προσπάθειες από τους κατασκευαστές να μειωθεί το κόστος αγοράς με ιδιαίτερα αποτελέσματα, αν και υπάρχουν σοβαρότατες απαιτήσεις λόγω του ότι τα συστήματα αυτά εκτίθενται σε περιβαλλοντικές συνθήκες και χρειάζονται προηγμένες συσκευασίες. Ειδικά για τα φωτιστικά συστήματα LED, ένα μεγάλο, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, πρόβλημα είναι οι υψηλές θερμοκρασίες. Τα συστήματα LED λοιπόν, χρησιμοποιούν, όπως αναφέραμε ψήκτρες για να μειώσουν την εσωτερική θερμοκρασία τους που εξαρτάται από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Οι ψήκτρες αυτές είναι ιδιαίτερα ηλεκτρονικά συστήματα που ανεβάζουν αισθητά το κόστος κατασκευής και κατά συνέπεια το κόστος αγοράς των LED. Ένα ενδιαφέρον διάγραμμα, βρέθηκε στην βιβλιογραφία [22], το οποίο παρουσιάζει την εξέλιξη της μείωσης του κόστους των LED με την πάροδο των τελευταίων ετών.



Εικόνα 4.10.2: Διάγραμμα Εξέλιξης Κόστους Αγοράς Τα Τελευταία Χρόνια [22]

Παρακάτω παρατίθεται ένας πολύ ενδιαφέρον συγκριτικός πίνακας, που δόθηκε στην βιβλιογραφία [1], ο οποίος περιέχει τους παράγοντες που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου και από τους οποίους εξαρτάται το κόστος των φωτιστικών

συστημάτων. Στον πίνακα αυτόν συγκρίνονται, ένα φωτιστικό σύστημα LED των 200 Watt με έναν λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής των 150 Watt, οι οποίοι θεωρούνται κατάλληλοι για οδικό φωτισμό. Η τελευταία σειρά του πίνακα μας δίνει το κόστος ενέργειας στις 100 ώρες λειτουργίας των φωτιστικών συστημάτων λαμβάνοντας ως δεδομένο πως η μια κιλοβατώρα kWh είχε κόστος 0,07 €, την δεδομένη στιγμή που γράφτηκε η βιβλιογραφία. Προφανώς, ο πίνακας αυτός δέχθηκε επεξεργασία καθώς τα νούμερα της τελευταίας σειράς του που ήταν σε δολάρια άλλαξαν σε ευρώ, με σκοπό να γίνουν πιο κατανοητά. Η υποσημείωση, που φαίνεται ακριβώς από κάτω του, μας λέει πως η διαφορά 10 % με 15 % στα επίπεδα του φωτός είναι σχεδόν αόρατη στον ανθρώπινο οφθαλμό. Επίσης γράφεται πως, ο συντελεστής VEL καθώς και όλες οι τιμές του πίνακα που δίνονται σε ποσοστά επί τις εκατό, έχουν υποστεί στρογγυλοποίηση.

Comparison of Light Output, Electrical Energy and Power Costs - 200W/150W		
Light Type:	200W LED Fixture	150W Induction Lamp
Nominal wattage (Watts):	200 W	150 W
Total actual wattage (Ballast/Power Supply included) ^[3] :	213 W	153 W
Ballast/Power Supply overhead (Watts):	13 W	3 W
Conversion efficiency (Lumens/Watt):	52.5 L/W	82 L/W
Light output (Lumens):	10,500 L	12,300 L
Colour Temperature (Kelvin):	6,500K	6,500K
S/P Ratio (from chart):	2.25	2.25
Output corrected for VEL (VEL):	23,625 VEL*	27,675 VEL*
Light output increase/decrease (%):	0% (Base)	+15%*
Energy savings (Watts / %):	0W / 0% (Base)	60W / 28%
Energy cost for 100 hours operation (at \$0.10/kWh \$):	€ 1,57	€ 1,12

* Note: A difference of +/- 10 to 15% in light levels is barely perceptible to the human eye - VEL and % figures rounded up/down to nearest whole number.

Εικόνα 4.10.3: Σύγκριση Λαμπτήρα Μαγνητικής Επαγωγής 150 W Με Φωτιστικό Σύστημα LED 200 W [1]

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, καθώς και σύμφωνα με την βιβλιογραφία [1], ο λαμπτήρας μαγνητικής επαγωγής παράγει 15 % περισσότερη φωτεινή ροή από το φωτιστικό σύστημα LED, όμως καταναλώνει και 28 % λιγότερη ενέργεια με

αποτέλεσμα να δίνει όφελος 0,4 € στις 100 ώρες λειτουργίας των λαμπτήρων. Βέβαια, τα δεδομένα της παραπάνω έρευνας είναι ιδανικά, καθώς δόθηκαν υπό εργαστηριακές συνθήκες. Όποτε μας δίνουν μόνο μια σκοπιά του θέματος που μας απασχολεί. Σύμφωνα βέβαια με τα λεγόμενα μας παραπάνω, μόνο σε συνθήκες πολύ χαμηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος τα φωτιστικά συστήματα LED αποδίδουν καλύτερα από τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής. Όμως υπό αυτές τις συνθήκες μειώνεται σίγουρα, λόγω πάγου, η φωτεινή τους ροή, ένα θέμα μείζουσας σημασίας για τον οδικό φωτισμό.

Στην παρακάτω εικόνα, που παρατίθεται από την βιβλιογραφία [1], φαίνεται η σύγκριση του κόστους, περιέχοντας όλες τις ενδιαφέρουσες παραμέτρους, ενός λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής ισχύος 100 W με ένα φωτιστικό σύστημα LED ισχύος 100 W κι αυτό. Το συγκεκριμένο παράδειγμα, μας δίνει τιμές που λήφθηκαν υπό πραγματικές συνθήκες περιβάλλοντος και όχι πειραματικές. Οι μηχανικοί του πειράματος, χρησιμοποίησαν, για να φτιάξουν αυτό τον πίνακα, τα δεδομένα των κατασκευαστών και εκτέλεσαν νέους υπολογισμούς, για τον καθορισμό των συνιστωσών που δίνουν ως αποτέλεσμα το Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας ή αλλιώς «TCO». Τα δυο αυτά συστήματα φωτισμού χρησιμοποιούνται για τον φωτισμό πάρκινγκ καθώς και άλλων εξωτερικών απομακρυσμένων χώρων, οπότε είναι ένα καλό παράδειγμα, πολύ κοντά στο αντικείμενο της μελέτης μας. Πρέπει να τονίσω εδώ πως επεξεργάστηκα τον πίνακα αυτό αλλάζοντας τις τιμές των δύο τελευταίων στηλών του, που δίνονταν σε δολάρια, μετατρέποντας τις τιμές σε ευρώ σύμφωνα με το παρόν ποσοστό συναλλάγματος.

Conversion Efficiency Comparison - LED and Induction Lighting Fixtures ^[3]		
Lighting Fixture Type:	100W LED	100W Induction
Model Number:	XGB49	GTF-GCL-100
Nominal wattage (Watts):	100 W	100 W
Ballast/Power Supply overhead (Watts):	18 W	3 W
Total actual wattage (Ballast/Power Supply included):	118 W	103 W
Conversion efficiency (Lumens/Watt - lamp only):	71.4 L/W	78 L/W
Light output (Manufacturers specifications in Lumens):	7,140 L	7,800 L
Fixture Efficiency (Ballast/Power Supply included - Lumens/Watt):	55 L/W	75.7 L/W
Actual Fixture Output (Lumens adjusted for Fixture Efficiency):	6,490 L	7,797 L
Colour Rendering Index (CRI):	75	82
Colour Temperature (Kelvin):	6,500K	6,500K
S/P Ratio (from chart):	2.25	2.25
Fixture Output corrected for VEL (VEL):	14,602 VEL*	17,543 VEL*
Light output increase/decrease (%):	0% (Base)	+17%*
Energy savings (Watts / %):	0W / 0% (Base)	15W / 12.7%
Energy cost for 100 hours operation (at \$0.10/kWh \$):	€ 0.87	€ 0.76
Energy Cost per Year (24/7 operation at \$0.10/kWh \$):	€ 75,9	€ 66,25

* Note: A difference of +/- 10 to 15% in light levels is barely perceptible to the human eye - VEL and % figures rounded up/down to nearest whole number.

Εικόνα 4.10.4: Σύγκριση Κόστους Λαμπτήρα Μαγνητικής Επαγωγής 100 W Με Φωτιστικό Σύστημα LED 100 W [1]

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα της βιβλιογραφίας [1], το φωτιστικό σύστημα μαγνητικής επαγωγής παράγει 17 % παραπάνω φωτεινή ροή χρησιμοποιώντας 12,7 % λιγότερη ηλεκτρική ισχύ σε σχέση με το φωτιστικό σύστημα LED. Επίσης, έχει μεγαλύτερο συντελεστή «CRI» δίνοντας πολύ καλύτερη αίσθηση του φωτός στον ανθρώπινο οφθαλμό και ακριβέστερη χρωματική απόδοση. Στο συγκεκριμένο, λοιπόν, παράδειγμα φαίνεται ξεκάθαρα πως και στο θέμα του κόστους, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής είναι σαφώς ανώτεροι των φωτιστικών LED, έχοντας μικρότερο κόστος με καλύτερες αποδόσεις. Η υποσημείωση του πίνακα, γραμμένη ακριβώς από κάτω του, μας λέει, ξανά, πως η διαφορά 10 % με 15 % στα επίπεδα του φωτός είναι σχεδόν αόρατη στον

ανθρώπινο οφθαλμό και επίσης πως, ο συντελεστής VEL καθώς και όλες οι τιμές του πίνακα που δίνονται σε ποσοστά επί τις εκατό , έχουν υποστεί στρογγυλοποίηση.

Ο λαμπτήρας μαγνητικής επαγωγής, στην παραπάνω σύγκριση, ήταν υπεραρκετός λόγω του ότι παράγει 17 % παραπάνω φως από το φωτιστικό σύστημα LED. Με αφορμή τον λόγο αυτόν και αφού η παραπάνω παραγόμενη φωτεινή ροή του λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής είναι περίσσεια, στον φωτισμό του δεδομένου εξωτερικού χώρου, γίνεται η παρακάτω ενδιαφέρουσα σύγκριση. Στην σύγκριση αυτή, της βιβλιογραφίας [1], έχουμε ένα φωτιστικό σύστημα LED, το ίδιο με πριν, ισχύος 100 W και έναν λαμπτήρα δίχως ηλεκτρόδια στα 80 W. Η σύγκριση αυτή φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Όπως πριν, έτσι κι εδώ, τα χρηματικά ποσά που δίνονται έχουν αλλάξει με κατάλληλη επεξεργασία στην ίδια την εικόνα. Τα δολάρια λοιπόν του παρατιθέμενου πίνακα άλλαξαν σε ευρώ σύμφωνα με το ισχύον συνάλλαγμα. Επίσης, ισχύει η ίδια υποσημείωση και σ' αυτόν τον πίνακα.

Conversion Efficiency Comparison - LED and Induction Lighting Fixtures^[3]		
Lighting Fixture Type:	100W LED	80W Induction
Model Number:	XGB49	GTF-GCL-80
Nominal wattage (Watts):	100 W	80 W
Ballast/Power Supply overhead (Watts):	18 W	2 W
Total actual wattage (Ballast/Power Supply included):	118 W	82 W
Conversion efficiency (Lumens/Watt - lamp only):	71.4 L/W	77.5 L/W
Light output (Manufacturers specifications in Lumens):	7,140 L	8,250 L
Fixture Efficiency (Ballast/Power Supply included - Lumens/Watt):	55 L/W	75.6 L/W
Actual Fixture Output (Lumens adjusted for Fixture Efficiency):	6,490 L	6,199 L
Colour Rendering Index (CRI):	75	82
Colour Temperature (Kelvin):	6,500K	6,500K
S/P Ratio (from chart):	2.25	2.25
Fixture Output corrected for VEL (VEL):	14,602 VEL*	13,948 VEL*
Light output increase/decrease (%):	0% (Base)	- 4.5%*
Energy savings (Watts / %):	0W / 0% (Base)	36W / 30.5%
Energy cost for 100 hours operation (at \$0.10/kWh \$):	€ 0,87	€ 0,60
Energy Cost per Year (24/7 Operation at \$0.10/kWh \$):	€ 76,18	€ 52,94

* Note: A difference of +/- 10 to 15% in light levels is barely perceptible to the human eye - VEL and % figures rounded up/down to nearest whole number.

Εικόνα 4.10.5: Σύγκριση Κόστους Λαμπτήρα Μαγνητικής Επαγωγής 80W Με Φωτιστικό Σύστημα LED 100 W [1]

Συνυπολογίζοντας τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα της βιβλιογραφίας [1], ξέρουμε, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, πως η αύξηση ή μείωση στα επίπεδα του φωτός της τάξεως του 10 % με 15 % είναι σχεδόν αόρατη στον ανθρώπινο οφθαλμό. Ο λαμπτήρας μαγνητικής επαγωγής των 80 W παράγει φωτεινή ροή μόνο 4,5 % λιγότερη από τον λαμπτήρα της προηγούμενης σύγκρισης των 100 W, η οποία, προφανώς, δεν είναι ορατή στον άνθρωπο. Έτσι, τοποθετώντας αυτόν τον λαμπτήρα αντί του λαμπτήρα της παραπάνω σύγκρισης, έχουμε το ίδιο αποτέλεσμα, ουσιαστικά, σε φωτεινή ροή εξοικονομώντας, ταυτόχρονα, 35 % ενεργειακό κόστος.

Στις αρχές του κεφαλαίου 4, αναφερθήκαμε στον χρόνο ζωής και το κόστος συντήρησης των λαμπτήρων που εξετάζουμε. Ο παρακάτω πίνακας, σύμφωνα με τις βιβλιογραφίες [1], [22], συγκρίνει δύο μοντέλα λαμπτήρων ως προς το κόστος συντήρησής τους. Ο πρώτος είναι ένας λαμπτήρας μαγνητικής επαγωγής ισχύος 100 W (GTF-GCL-100) ο οποίος συγκρίνεται με φωτιστικό σύστημα LED επίσης των 100 W(XGB49) που εφαρμόζονται σε ηλεκτροφωτισμό οδών. Στην εικόνα αυτή άλλαξαν τα χρηματικά ποσά από δολάρια σε ευρώ, με κατάλληλη επεξεργασία, σύμφωνα με το ισχύον συνάλλαγμα την ώρα της συγγραφής της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Maintenance Comparison - LED and Induction Lighting Fixtures ^[3]		
Lighting Fixture Type:	100W LED	100W Induction
Model Number:	XGB49	GTF-GCL-100
Nominal Wattage (Watts):	100 W	100 W
Manufacturers rated lamp life (Hours):	55,000 Hrs	95,000 Hrs
Lamp life before replacement (at 70% Lumen Depreciation - Hours):	50,000 Hrs	85,000 Hrs
Maintenance analysis period (years);	8 Years (70,080 Hrs of 24/7 operation)	
Number of lamp changes required during analysis period:	1	0
Cost of LED replacement "lamp" (fixture):	€ 704,41	N/A
Cost of replacement Induction Lamp and Ballast:	N/A	€ 125,25
Cost of re-lamping fixture (Electrician at \$60/Hour):	€ 22,11	€ 0,00
Total Maintenance Costs over 8 years (Lamp and Labour)#:	€ 729,52	€ 0,00
Notes:		
* Prices shown are in US Dollars (USD) - taxes not included. Prices current at time of writing but have been falling slowly.		
# Total maintenance costs do not include annual cleaning of the fixtures which can be done by means of drive-by power washing.		

Εικόνα 4.10.6: Σύγκριση Κόστους Συντήρησης Λαμπτήρα Μαγνητικής Επαγωγής 100W(GTF-GCL-100)Με Φωτιστικό Σύστημα LED 100 W (XGB49) [1]

Όπως φαίνεται, στον παραπάνω πίνακα έγινε εκτενής ανάλυση του κόστους συντήρησης των δύο αυτών φωτιστικών συστημάτων σε διάρκεια 8 ετών ή αλλιώς στις 70080 ωρών, συνεχόμενης, λειτουργίας τους. Κατά την διάρκεια αυτή χρειάστηκε να γίνει αλλαγή, μία φορά, ενός ολόκληρου συστήματος LED ενώ ο λαμπτήρας μαγνητικής επαγωγής συνέχισε να λειτουργεί μέχρι και το τέλος της έρευνας. Ο λαμπτήρας δίχως ηλεκτρόδια υπέστη αλλαγή του συστήματος τροφοδοσίας του μια φορά. Προφανώς το κόστος συντήρησης του συστήματος LED υπερβαίνει κατά πολύ αυτό του λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις τιμές που δίνονται δεν περιλαμβάνεται ο φόρος προστιθέμενης αξίας. Επίσης, στο κόστος συντήρησης δεν συμπεριλαμβάνεται το κόστος του ετήσιου καθαρισμού των λαμπτήρων. Τέλος, όπως ήδη έχει αναφερθεί, τα τελευταία χρόνια το κόστος συντήρησης των φωτιστικών συστημάτων LED, έχει μειωθεί αισθητά. Όμως οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, έχουν και σ αυτόν τον τομέα το προβάδισμα για όλους τους λόγους που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4.2.

Το πιο σημαντικό στοιχείο του κεφαλαίου αυτού είναι το συνολικό κόστος φωτισμού ή αλλιώς «Total Cost Of Ownership (TCO)», όπως αναφέρθηκε νωρίτερα.

Το συνολικό κόστος φωτισμού συνυπολογίζει το κόστος της αρχικής τιμής και το κόστος εγκατάστασης του συστήματος φωτισμού, το κόστος της ενέργειας που καταναλώνει αλλά και το κόστος συντήρησης του. Στον παρακάτω πίνακα, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [1], υπολογίζουμε το συνολικό κόστος φωτισμού, με βάση τις προηγούμενες συγκρίσεις, για τα τρία προαναφερθέντα συστήματα φωτισμού. Η έρευνα διεξάγεται σε περίοδο 8 ετών συνεχής λειτουργίας των συστημάτων, με το τότε κόστος να είναι στα 0,07 €/kWh.

Σύγκριση Συνολικού Κόστους (TCO)			
Σύστημα Φωτισμού	Φωτιστικό Σύστημα LED 100W (XGB49)	Λαμπτήρας Μαγνητικής επαγωγής 100W (GTF-GCL-100)	Λαμπτήρας μαγνητικής επαγωγής 80W (GTF-GCL-80)
Ισχύς (Watt)	100 W	100 W	80 W
Διάρκεια ζωής (ώρες)	55.000 ώρες	95.000 ώρες	95.000 ώρες
Διάρκεια Έρευνας Συνολικού Κόστους	8 έτη (70080 ώρες, 24/7)		
Απόδοση			
Απόδοση Φωτιστικού Συστήματος (Lm / W)	55 Lm/W	75,7 Lm/W	75,6 Lm/W
Φωτεινή Ροή (Lumen)	6.490 Lumen	7.797 Lumen	6.199 Lumen
Colour Rendering Index	75	82	82
Scotopic/Photopic («S/P»)	2,25	2,25	2,25
VEL	14.602 VEL	17.543 VEL	13.948 VEL
Αύξηση/ Μείωση Παραγόμενης	0% (βάση)	17%	-4,5%

Φωτεινής Ροής			
Ενεργειακό Κόστος & Κατανάλωση Ενέργειας			
Συνολική Κατανάλωση Ισχύος (Watts)	118 W	103 W	82 W
Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh)	0,118 kWh	0,103 kWh	0,082 kWh
Κατανάλωση Ενέργειας (70.080 h Σε Συνεχόμενη Λειτουργία)	8.269,44 kWh	7.218,24 kWh	5.746,56kWh
Ενεργειακό Κόστος 8 ετών (0,07 € / kWh)	€ 609,45	€ 531,97	€ 423,51
Εξοικονόμηση Ενέργειας (%)	0% (βάση)	12,7 %	30,5 %
Συνολικό Κόστος (TCO)			
Αρχικό Κόστος	€ 707,41	€ 206,32	€ 189,41
Κόστος Εγκατάστασης	€ 22,11	€ 22,11	€ 22,11
Κόστος Συντήρησης	€ 707,41	€ 0	€ 0
Ενεργειακό Κόστος	€ 609,45	€ 531,97	€ 423,51
Συνολικό Κόστος Φωτισμού	€ 2044,18	€ 760,40	€ 635,03

Πίνακας 4.10.2: Εύρεση Συνολικού Κόστος Φωτιστικού Συστήματος LED 100 W Σε Σύγκριση Με Δυο Λαμπτήρες Μαγνητικής Επαγωγής Των 100 W & 80 W

Συμπερασματικά, στις μέρες μας, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής είναι το φωτιστικό σύστημα με το μικρότερο συνολικό κόστος στον οδικό φωτισμό. Το αρχικό κόστος για τον εξοπλισμό έχει μειωθεί αρκετά, και για τα δυο συστήματα φωτισμού, στις μέρες μας, δεδομένου ότι οι έρευνες που αναφέρθηκαν παραπάνω, εκτελέστηκαν πάνω από δυο χρόνια πριν. Τα φωτιστικά συστήματα LED, θέλοντας

να ανταγωνιστούν αυτά των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής, έχουν μειώσει αρκετά τις τιμές του, ανεβάζοντας ταυτόχρονα τις επιδόσεις τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, οι διαφορές τους, στις τιμές, να είναι πια πολύ μικρές. Ο μεγάλος τομέας ανταγωνισμού των δύο συστημάτων είναι ο οδικός φωτισμός. Όσον αφορά το κόστος αγοράς, όπως αναφέρεται και στην βιβλιογραφία [1], για να κατασκευαστεί ένα φωτιστικό σύστημα LED μεγάλης ισχύος, έχει μεγάλο κόστος. Αυτό συμβαίνει καθώς, όπως κάθε ημιαγωγός πρέπει πρώτα να κατασκευαστεί και ύστερα να υποβληθεί σε δοκιμασίες. Λόγω των πολλών μεταβλητών κατασκευής υπάρχει μεγάλο ποσοστό απόρριψης που δίνει πίσω αρκετά υλικά τα οποία δεν μπορούν να ανακυκλωθούν. Αντίθετα, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, στην κατασκευή τους είναι αρκετά πιο οικονομικοί, χρησιμοποιώντας κυρίως γυαλί σαν πρώτη ύλη και απλά υλικά για την ηλεκτρονική τροφοδοσία τους. Αυτός είναι κυρίως ο λόγος που οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής είναι φθηνότεροι στην αγορά τους, έστω και ελάχιστα πια, στις μέρες μας. Επίσης, οι λαμπτήρες δίχως ηλεκτρόδια, όπως είδαμε προηγουμένως, έχουν καλύτερο συντελεστή μεσοπικής απόδοσης και έχουν σχεδόν καθόλου εξάρτηση από το περιβάλλον. Το πιο σημαντικό όμως, όπως φάνηκε και στο κεφάλαιο 4.2, είναι το κόστος συντήρησης. Εν κατακλείδι, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, γενικά και ιδιαίτερα στον οδικό φωτισμό, είναι οικονομικότεροι από τους λαμπτήρες LED, ακόμα και σήμερα.

4.11 Συντελεστής Ποιότητας

Ένας ακόμα αρκετά πολύτιμος συντελεστής, που παρατέθηκε στην έρευνα της βιβλιογραφίας [54], είναι ο συντελεστής ποιότητας «Q» των λαμπτήρων με βάση όλους τους συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν στην πρότερη μελέτη της βιβλιογραφίας. Η εξίσωση που μας δίνει τον συντελεστή ποιότητας, φαίνεται παρακάτω.

$$Q(\%) = \frac{A_a + B_a + C_a + D_a + E_a + F_a + G_a + H_a + I_a + J_a + K_a + L_a + M_a}{A_m + B_m + C_m + D_m + E_m + F_m + G_m + H_m + I_m + J_m + K_m + L_m + M_m} \times 100$$

Ο Δείκτης «a» αναφέρεται στις πραγματικές τιμές (actual) ενώ ο δείκτης «m» αναφέρεται σε πιθανές μέγιστες τιμές (maximum). Οι παράμετροι ποιότητας των φωτιστικών συστημάτων, εξομαλύνθηκαν από τις καλύτερες δυνατές παραμέτρους

για την απόδοση των κλασματικών βαρών που φαίνονται στην παραπάνω εξίσωση. Παρακάτω δίνετε η εξήγηση της κάθε παραμέτρου της εξίσωση που προηγήθηκε.

- A_{actual} = Συντελεστής τιμής του κάθε λαμπτήρα
- B_{actual} = Συντελεστής κόστους λαμπτήρα
- C_{actual} = Συντελεστής CRI λαμπτήρα
- D_{actual} = Συντελεστής αποδοτικότητας λαμπτήρα
- E_{actual} = Συντελεστής αποτελεσματικότητας λαμπτήρα
- F_{actual} = Συντελεστής διάρκειας ζωής λαμπτήρα
- G_{actual} = Συντελεστής λαμπρότητας λαμπτήρα
- H_{actual} = Συντελεστής υγείας λαμπτήρα
- I_{actual} = Συντελεστής ισχύος λαμπτήρα
- J_{actual} = Συντελεστής ολικής αρμονικής παραμόρφωσης λαμπτήρα THD
- K_{actual} = Συντελεστής εξοικονόμησης λαμπτήρα
- M_{actual} = Συντελεστής επίδρασης του λαμπτήρα στο περιβάλλον (Green Factor)

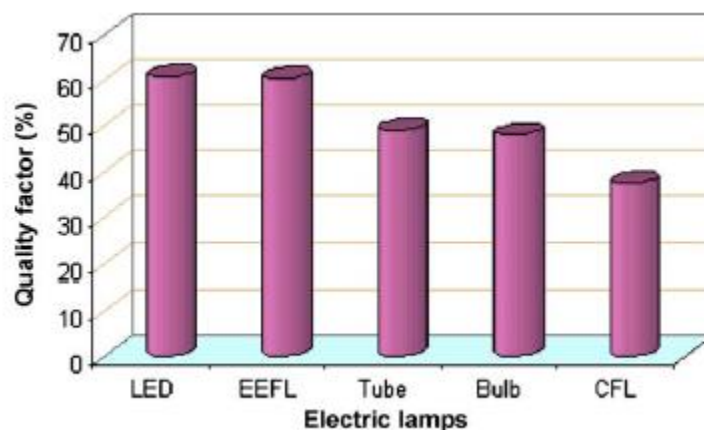
Σύμφωνα με τους παραπάνω συντελεστές, παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας που δίνει τις τιμές των παραμέτρων αυτών για κάθε τύπο φωτιστικού συστήματος σύμφωνα με την βιβλιογραφία [54]. Στην προτελευταία σειρά του πίνακα δίνεται ο αθροιστικός παράγοντας «Σ» ο οποίος, προφανώς, είναι το άθροισμα όλων των παραπάνω συντελεστών. Η τελευταία σειρά του, είναι ο υπολογισμός της εξίσωσης για τον κάθε λαμπτήρα, που μας δίνει το ποσοστό του συντελεστή ποιότητας «Q (%)»

Quality factors of light lamps.

Parameters	LED	EEFL	Tube	Bulb	CFL
Price factor (+A _a)	+0.01	+0.00	+0.07	+1.00	+0.14
Bill factor (+B _a)	+1.00	+0.55	+0.77	+0.14	+0.58
CRI factor (+C _a)	+0.75	+0.81	+0.65	+0.90	+0.65
Efficiency (+D _a)	+1.00	+0.64	+0.64	+0.09	+0.45
Efficacy (+E _a)	+1.00	+0.72	+0.83	+0.15	+0.66
Long life (+F _a)	+0.50	+1.00	+0.20	+0.01	+0.10
Glare factor (+G _a)	+0.00	+1.00	+0.00	+0.00	+0.00
Health factor (+H _a)	+0.80	+0.50	+0.50	+0.90	+0.50
Power factor (+I _a)	+0.60	+0.98	+0.60	+1.00	+0.60
THD factor (+J _a)	+0.20	+1.00	+0.20	+1.00	+0.20
Spare factor (+K _a)	+0.30	+0.50	+1.00	+0.00	+0.10
Pollution factor (+L _a)	+0.90	+0.40	+0.30	+0.90	+0.40
Green factor (M _m)	+1.00	+0.75	+0.64	+0.15	+0.49
Σ (Factors sums)	7.91	7.85	6.37	6.24	4.87
Quality: \bar{Q} (%)	60.84	60.38	49	48	37.46

Εικόνα 4.11.1: Πίνακας Συντελεστή Ποιότητας Λαμπτήρων, Υπολογιζόμενος Από Τις Παραμέτρους Τους

Η παρακάτω εικόνα, της βιβλιογραφίας [54], μας δίνει τον συντελεστή ποιότητας του κάθε λαμπτήρα μέσω ενός ραβδοειδούς διαγράμματος σύμφωνα με τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα.



Εικόνα 4.11.2: Διάγραμμα Συντελεστή Ποιότητας Λαμπτήρων[54]

Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [54], οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής και τα φωτιστικά συστήματα LED έχουν πολύ καλύτερο συντελεστή ποιότητας από όλα τα υπόλοιπα συστήματα φωτισμού. Μάλιστα, οι συγγραφείς αυτής της βιβλιογραφίας, δίνουν μικρό προβάδισμα, στον

τομέα αυτό, στα φωτιστικά συστήματα των διόδων εκπομπής φωτός. Αξίζει να σημειωθεί πως η έρευνα της βιβλιογραφίας [54], διεξήχθη το έτος 2011. Τα δεδομένα σήμερα έχουν αλλάξει, καθώς, όπως είδαμε παραπάνω στο κεφάλαιο 4, όπου αναλύσαμε όλες τις παραμέτρους της εξίσωσης του συντελεστή ποιότητας, υπάρχει σαφές προβάδισμα των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής έναντι των φωτιστικών LED. Έτσι, λοιπόν μπορούμε να θεωρήσουμε τα αποτελέσματα αυτά ως μη ακριβή. Σίγουρα, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής έχουν προβάδισμα και στον συντελεστή ποιότητας, αφού, έχει σαφώς καλύτερες παραμέτρους στις μέρες μας, αν και με ελάχιστη διαφορά.

4.12 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

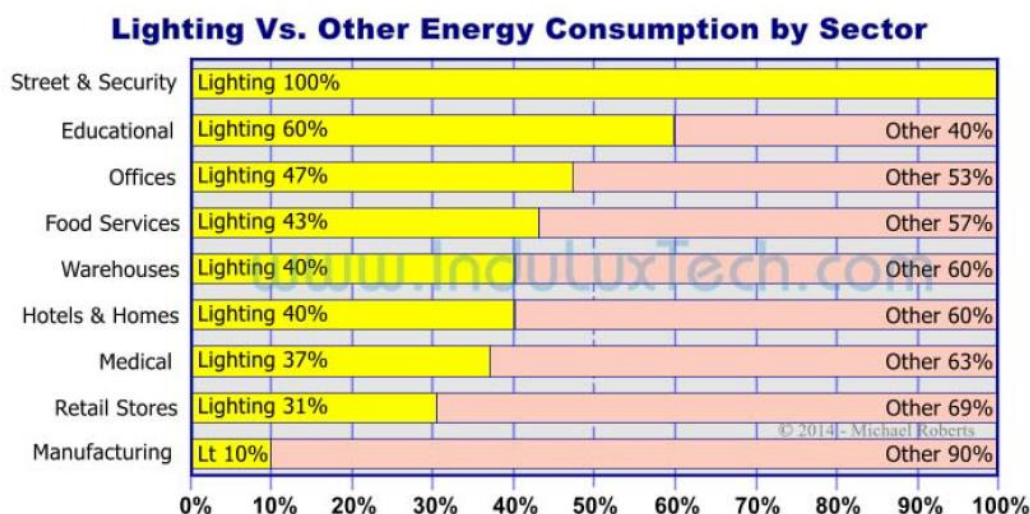
Σε μια εποχή όπου υπάρχει μεγάλη ανησυχία για τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο περιβάλλον, έχουμε πια σαν στόχο ως ανθρωπότητα να μειώσουμε, όσο αυτό είναι δυνατό, τις δραστηριότητες που το επιβαρύνουν. Έτσι, προσπαθούμε, πλέον, όσο εξελίσσουμε την τεχνολογία να την κάνουμε όλο και πιο φιλική προς το περιβάλλον, με γνώμονα την μείωση του φαινομένου της παγκόσμιας θέρμανσης και της αλλαγής του κλίματος του πλανήτη. Ιδιαίτερα στον τομέα του οδικού φωτισμού, μιας και τα φωτιστικά συστήματα διαρρέονται από υψηλές τάσεις, καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, και είναι σε άμεση επαφή με την ατμόσφαιρα, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι ένας πολύ σημαντικός τομέας. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για τον φωτισμό από 40 % έως και 75 %, με τα νέα συστήματα φωτισμού που εξετάζουμε, θα μπορούσε να επιφέρει τεράστια εξοικονόμηση τόσο στο κόστος της ενέργειας, όσο και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Μπορούμε να ταξινομήσουμε, ανάλογα με την κατανάλωση ενέργειας, τα φωτιστικά μας συστήματα που συγκρίνουμε, σύμφωνα με τις επιπτώσεις στο περιβάλλον που μπορεί να επιφέρουν. Οι τρεις, σημαντικότεροι, τομείς που εξετάζουμε είναι η μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, η χρήση του υδραργύρου και η ανακύκλωση των πρώτων υλών από τα οποία κατασκευάζονται.

Σύμφωνα με τις βιβλιογραφίες [1], [23], [43], [55], [56] και όλα τα δεδομένα που έχουμε από όσα γράφτηκαν στην διπλωματική αυτή εργασία, αναλύονται

παρακάτω οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης των συστημάτων οδικού φωτισμού, στα τρία υποκεφάλαια που μόλις αναφέρθηκαν.

4.12.1 Μείωση εκπομπών CO₂

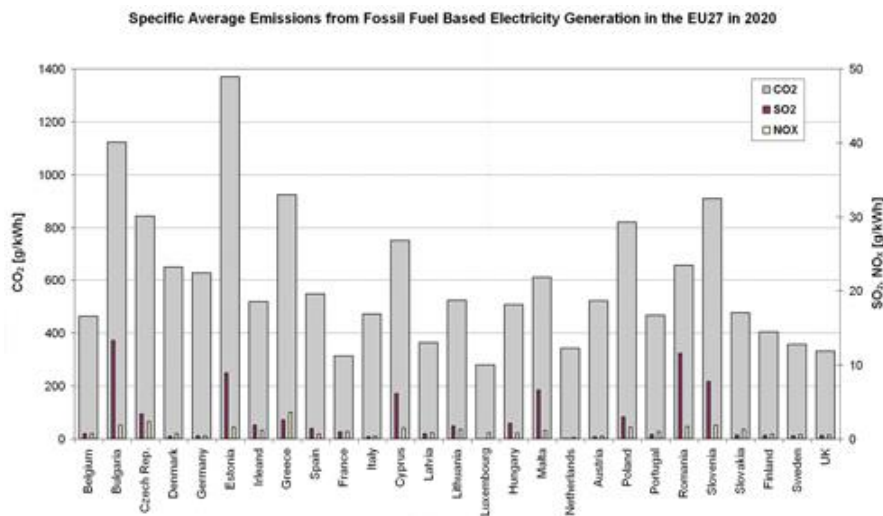
Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [55], το σύνολο της ενέργειας που χρησιμοποιείται από τα φωτιστικά σώματα, παγκοσμίως, αποτελεί το 13 % με 15 % της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται. Στην Ευρώπη και την Αμερική το 100 % της διαθέσιμης ενέργειας, που διατίθεται στις οδούς, καταναλώνεται από τα φωτιστικά συστήματα σε αντίθεση με τον τομέα της βαριάς βιομηχανίας στον οποίο μόνο το 10 % της ενέργειας καταναλώνεται για τον φωτισμό. Ο παρακάτω πίνακας, ο οποίος παρατίθεται στην βιβλιογραφία [55], μας δείχνει την σχέση της ενέργειας που καταναλώνεται για φωτισμό με την ενέργεια που καταναλώνεται στις υπόλοιπες διαδικασίες διαφόρων τομέων.



Εικόνα 4.12.1.1: Ποσοστό Ενεργειακής Κατανάλωσης Φωτισμού Ανά Τομέα [55]

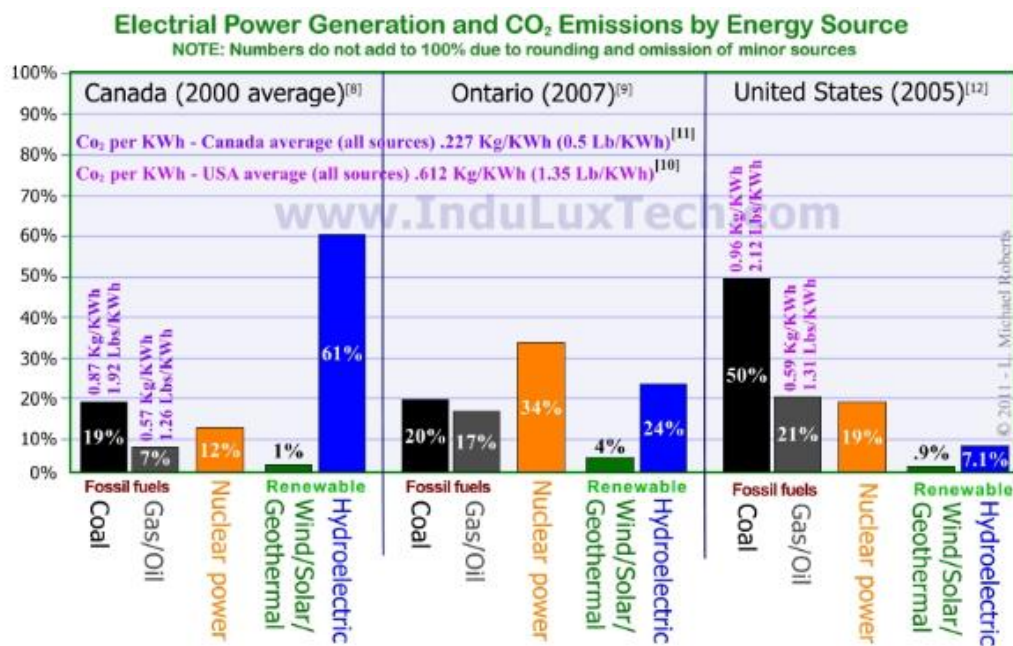
Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συντελεί, σε ένα μεγάλο ποσοστό, στην αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Αυτό συμβαίνει διότι, η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται, γίνεται από την χρήση κυρίως άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου. Αυτό συνεπάγεται, μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα με προφανή επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Στην παρακάτω εικόνα, που παρατίθεται στην βιβλιογραφία [56], φαίνεται ένα

ραβδοειδές διάγραμμα με την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα, από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε διάφορες χώρες.



Εικόνα 4.12.1.2: Εκπομπές CO₂ Για Την Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Σε Διάφορες Χώρες [56]

Στην παρακάτω εικόνα, φαίνονται, μέσω της βιβλιογραφίας [55], οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την παραγωγή ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής σε σύγκριση με αυτές του Καναδά σε διαφορετικές βέβαια χρονολογικές περιόδους.



Εικόνα 4.12.1.3: Ποσοστό Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας Σε σχέση Με Τις Εκπομπές CO₂ Ανά Τομέα [55]

Βλέπουμε λοιπόν πως η μείωση της ενέργειας για τον φωτισμό, έμμεσα, συμβάλει αρκετά στην μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, άρα και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Πρακτικά, λιγότερη ενέργεια σημαίνει και λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ιδιαίτερα για τον οδικό φωτισμό, τα φωτιστικά συστήματα απαιτούν μεγάλες ποσότητες ισχύος για την παραγωγή της απαιτούμενης φωτεινής ροής, όπως είδαμε και στα προηγούμενα κεφάλαια. Για την σύγκριση των συστημάτων φωτισμού που εξετάζουμε στο κεφάλαιο αυτό, πρέπει, ουσιαστικά, να εξετάσουμε την ενέργεια που καταναλώνουν. Προφανώς λοιπόν, μας ενδιαφέρουν, ο συντελεστής «S/P», η ένταση φωτεινής ροής, ο συντελεστής VEL, η συνολική κατανάλωση ενέργειας και όλα όσα εκτενώς αναλύθηκαν συγκρίνοντας τα φωτιστικά συστήματα LED με τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής στα προηγούμενα κεφάλαια της διπλωματικής εργασίας. Ένας, ενδιαφέρον, συγκριτικός πίνακας ενός λαμπτήρα δίχως ηλεκτρόδια με ένα λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων, βρέθηκε στην βιβλιογραφία [55] και παρατίθεται παρακάτω. Στον πίνακα αυτό, το κόστος λειτουργίας, που αναφέρεται στην όγδοη στήλη του, έχει υποστεί επεξεργασία καθώς οι τιμές που δίνονται μετατράπηκαν σε ευρώ σύμφωνα με το τρέχων συνάλλαγμα την στιγμή που γράφεται αυτή η διπλωματική εργασία.

Comparison of Energy Consumption, Light Output and CO₂ Emissions		
Fixture Type:	Metal Halide	120W Induction
Lamp Type:	M250 ^[6]	120R ^[7]
Total actual wattage (Ballast included):	275 W ^[6]	122.4 W ^[7]
Conversion efficiency (Lumens/Watt):	61.8 L/W ^[6]	80 L/W ^[7]
S/P Ratio (from table):	1.49	2.22
Output corrected for VEL (Lumens):	23,020 L	21,600 L
Energy savings (Watts - %):	0W - 0%	152.6W - 55.5%
Energy cost for 100 hours operation (at \$0.125/KwHr \$):	€ 2.54	€ 1.13
CO₂ emitted per 100 hours operation [#]	11.83 Kg - 26.13 Lbs	5.26 Kg - 11.63 Lbs
CO₂ emitted by one year of 24/7 operation [#]	1,035.9 Kg - 2,288.6 Lbs	461.1 Kg - 1,018.6 Lbs
Note: # CO₂ Emissions based on 0.43 Kg/KWh (0.95 Lbs/KWh)		

Εικόνα 4.12.1.4: Σύγκριση Εκπομπών CO₂ Λαμπτήρα Μεταλλικών Αλογονιδίων Με Λαμπτήρα Μαγνητικής Επαγωγής [47]

Προφανώς οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, αφού καταναλώνουν πολύ λιγότερη ενέργεια και με σαφώς ανώτερους συντελεστές, προκαλούν έμμεσα πολύ λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, με τα φωτιστικά συστήματα LED να ακολουθούν. Οι δίοδοι εκπομπής φωτός έχουν διαφορές ανάλογα με την κατασκευή τους, όπως είδαμε, ως προς την κατανάλωση ενέργειας λόγω της διαφορετικής τους απόδοσης. Όπως όμως, αναφέρθηκε, στην σημερινή εποχή τα συστήματα φωτισμού LED είναι σχεδόν εξίσου αποδοτικά με τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, οπότε καταναλώνουν και ίδιες περίπου ποσότητες ενέργειας για την λειτουργία τους. Με την απόδοση τους λοιπόν ελαφρώς χειρότερη από αυτή των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής, οι δίοδοι εκπομπής φωτός παράγουν, έμμεσα, πολύ μικρές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, ελαφρώς όμως περισσότερες από αυτές των λαμπτήρων δίχως ηλεκτρόδια.

4.12.2 Χρήση Υδραργύρου

Τα περισσότερα φωτιστικά συστήματα, στις μέρες μας χρησιμοποιούν υδράργυρο. Ο υδράργυρος είναι μια τοξική ουσία η οποία χρίζει ιδιαίτερης προσοχής από τον άνθρωπο. Τα συστήματα φωτισμού LED δεν χρησιμοποιούν υδράργυρο για την λειτουργία τους, οπότε, δεν έχουν καμία επίδραση στο περιβάλλον στον τομέα αυτόν. Σε αντίθεση με τις διόδους εκπομπής φωτός, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, ως λαμπτήρες φθορισμού λειτουργούν με την χρήση υδραργύρου. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [1], οι λαμπτήρες φθορισμού περιέχουν υδράργυρο σε υγρή μορφή, ο οποίος είναι και ο πιο επικίνδυνος για το περιβάλλον. Αν ο σωλήνας του λαμπτήρα φθορισμού σπάσει, θα μολύνει τοξικά τον χώρο στον οποίο βρίσκεται σε τέτοιο σημείο που ίσως χρειαστεί και εκκένωση του χώρου αυτού. Ειδικά για τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής που χρησιμοποιούνται για οδικό φωτισμό, δεν μπορούμε να περιορίσουμε, προφανώς τον χώρο σε περίπτωση θραύσης του. Όμως οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής περιέχουν υδράργυρο σε στερεά μορφή με αποτέλεσμα να μην είναι τόσο επιζήμιοι για το περιβάλλον. Ένας συγκριτικός πίνακας που μας δίνει την χρήση του υδραργύρου από τους εμπορικά διαθέσιμους λαμπτήρες παρατέθηκε στην βιβλιογραφία [55] και φαίνεται παρακάτω.

Comparison of Mercury Utilization for Typical Commercial Light Sources					
Lamp Mercury	Low Pressure Sodium (SOX)	High Pressure Sodium (HPS)	Metal Halide	48" Fluorescent Tube	Induction Lamps
Average Mercury (Hg) Content (in Micrograms [mg]*)	GE LPS: 6~8 Phillips LPS: 12~16	Osram HPS: 13~20 Sylvania HPS: 12~15	GE : 11~30 Phillips: 12~15	Sylvania: 40~43 Phillips low Hg: 10~12	6.4 mg
Mercury use per 20,000 hours [#]	12.4 mg Hg	14.3 mg Hg	37.8 mg Hg	27.6 mg Hg	1.3 mg Hg

Εικόνα 4.12.2.1: Σύγκριση Χρήσης Υδραργύρου Λαμπτήρων [47]

Ο παραπάνω πίνακας μας δείχνει, σαφώς, πως οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής χρησιμοποιούν ελάχιστη ποσότητα υδραργύρου σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα φωτισμού. Επίσης έχουν χαμηλότερη χρήση υδραργύρου ανά ώρα λειτουργίας τους. Αυτά τα δύο γεγονότα τους καθιστούν τους φιλικότερους προς το περιβάλλον λαμπτήρες, επί του θέματος της χρήσης υδραργύρου. Όπως αναφέρθηκε, οι λαμπτήρες δίχως ηλεκτρόδια, χρησιμοποιούν υδράργυρο σε στερεά μορφή αναμεμιγμένο με διάφορα μεταλλικά στοιχεία, δημιουργώντας το αμάγαλμα. Ειδικά για τους λαμπτήρες οδικού φωτισμού, σε περίπτωση θραύσης τους, αφού ο υδράργυρος βρίσκεται σε στερεά μορφή, με την χρήση ειδικών γαντιών γίνεται να απομακρυνθεί από το σημείο που βρίσκεται με ελάχιστες επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Στον συγκεκριμένο τομέα, προφανώς, δεν υπάρχει θέμα σύγκρισης των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής με τα συστήματα φωτισμού LED. Τέλος, όπως είναι γνωστό, οι δίοδοι εκπομπής φωτός χρησιμοποιούν μόλυβδο και αρσενικό κατά την κατασκευή τους. Οι ποσότητες των στοιχείων αυτών, όμως, είναι τόσο μικρές που δεν επιδρούν ουσιαστικά καθόλου στο περιβάλλον, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [1].

4.12.3 Ανακύκλωση

Πολλά από τα υλικά των φωτιστικών συστημάτων, όπως το γυαλί και τα μέταλλα μπορούν να ανακυκλωθούν. Όσο περισσότερα υλικά λοιπόν γίνεται να ανακυκλωθούν από ένα φωτιστικό σύστημα, τόσο πιο φιλικό είναι αυτό προς το περιβάλλον. Στους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, αφαιρείται το αμάγαλμα όταν αυτοί αχρηστευθούν και εύκολα ανακυκλώνονται τα υπόλοιπα υλικά τους, καθώς

αποτελούνται κυρίως από γυαλί και μέταλλο. Μειονέκτημα εδώ παρουσιάζουν τα φωτιστικά συστήματα LED τα οποία κατασκευάζονται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από πλαστικό το οποίο δύσκολα ανακυκλώνεται.

Προφανώς, επίσης, οι λαμπτήρες με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής είναι φιλικότεροι προς το περιβάλλον, αφού χρειάζονται λιγότερες αντικαταστάσεις σε μεγάλη χρονική περίοδο, άρα έχουν και την απαίτηση λιγότερων πρώτων υλών. Στον τομέα αυτό, σύμφωνα με τα προηγούμενα κεφάλαια της διπλωματικής εργασίας, υπερτερούν οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής καθώς, ακόμα και στις μέρες μας, έχουν, ελάχιστα, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Στο θέμα λοιπόν της ανακύκλωσης, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής εμφανίζουν μεγάλο πλεονέκτημα σε σύγκριση με τις διόδους εκπομπής φωτός. Το πλεονέκτημα αυτό δεν έγκειται τόσο στο θέμα του χρόνου ζωής, καθώς όπως είδαμε, στις μέρες μας οι δυο αυτοί τύποι λαμπτήρων συναγωνίζονται σ' αυτόν τον τομέα. Η διαφορά τους είναι στην ανακύκλωση των υλικών, αφού ελάχιστο ποσοστό των συστημάτων LED ανακυκλώνεται σε αντίθεση με τους λαμπτήρες δίχως ηλεκτρόδια με το μεγαλύτερο μέρος της κατασκευής τους να αποτελείται από ανακυκλώσιμα υλικά.

4.13 Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα δεδομένα που αναλύθηκαν σ' αυτή την διπλωματική εργασία, καθίσταται σαφές ότι, η αξιολόγηση και η επιλογή ενός τύπου λαμπτήρα, εξαρτάται άμεσα από διάφορες παραμέτρους οι οποίες απορρέουν από τον χώρο ο οποίος εξετάζεται. Ειδικά για τον οδικό φωτισμό, με βάση τα γενικά χαρακτηριστικά τους, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής και τα συστήματα φωτισμού LED υπερτερούν έναντι των υπολοίπων τύπων λαμπτήρων.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής έναντι των φωτιστικών συστημάτων LED είναι το κόστος τους. Τα δυο αυτά συστήματα φωτισμού παρουσιάζουν, διαφορές ως προς το συνολικό κόστος φωτισμού το οποίο προσφέρουν, διαφορές οι οποίες υπόκεινται σε συνεχή μεταβολές καθώς και οι δυο τεχνολογίες εξελίσσονται διαρκώς και οι τιμές και οι αποδόσεις τους είναι τομείς διαρκούς βελτίωσης. Το σημείο στο οποίο υπερτερούν, στο θέμα του κόστους φωτισμού, τα φωτιστικά συστήματα LED, έναντι των λαμπτήρων

μαγνητικής επαγωγής είναι σε συνθήκες πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Στις συνθήκες αυτές, τα φωτιστικά συστήματα LED έχουν άριστες επιδόσεις, μόνο όμως με την απουσία του πάγου, πράγμα σχεδόν αδύνατο σε περιβαλλοντικές συνθήκες με τόσο χαμηλή θερμοκρασία. Σε κανονικές και υψηλές θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής τη δεδομένη χρονική στιγμή πλεονεκτούν, καθώς τα συστήματα φωτισμού LED έχουν ιδιαίτερο πρόβλημα με την εσωτερική τους θερμοκρασία, που μειώνει την απόδοσή τους.

Σύμφωνα με τους κατασκευαστές, ο χρόνος ζωής των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής, είναι μεγαλύτερος από αυτόν των συστημάτων LED, με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας.

Όσον αφορά τον οδικό φωτισμό η επιλογή των φωτιστικών συστημάτων, γίνεται βάση του συνολικού κόστους φωτισμού, της ποιότητας αποδιδόμενου χρώματος, της ενεργειακής απόδοσης του για την εξοικονόμηση ενέργειας και άρα όλων των συντελεστών που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο αυτό. Δεδομένου ότι, οι δίοδοι εκπομπής φως αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα σε θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος και η απόδοση και ο χρόνος ζωής τους μειώνονται αισθητά σε σχέση με τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, ανεβαίνει και το κόστος συντήρησής τους. Ο βασικός παράγοντας όμως που ανεβάζει το κόστος συντήρησης των LED είναι η κατασκευή τους. Σε περίπτωση, όπως είδαμε, που καεί έστω και μια λυχνία στο σύστημά τους, πρέπει αυτό να αντικατασταθεί εν μέρει ή, σε παλιότερου τύπου λαμπτήρες, ολόκληρο. Μειώνεται, έτσι ο χρόνο ζωής τους και ταυτόχρονα το κόστος τους, λόγω συχνότερων αντικαταστάσεων.

Συμπερασματικά, τη δεδομένη χρονική στιγμή, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής εμφανίζουν συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση τα φωτιστικά συστήματα LED λόγω, κυρίως, της υψηλής διάρκειας ζωής τους, της άριστης ποιότητας φωτισμού που παρέχουν, της χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης η οποία προκύπτει από την απόδοσή τους, τον συντελεστή ισχύος τους και της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης που παρουσιάζουν και κατά συνέπεια του χαμηλού κόστους φωτισμού τον οποίο προσφέρουν. Επίσης, θεωρούνται φιλικότεροι προς το περιβάλλον, με σχεδόν όλα τα υλικά τους να είναι ανακυκλώσιμα. Αν και στο εσωτερικό τους περιέχουν υδράργυρο, αυτός είπαμε είναι σε στερεά μορφή και

μαζεύεται εύκολα, σε περίπτωση θραύσης. Η τεχνολογία των συστημάτων φωτισμού LED, εργαστηριακά, συναγωνίζεται αυτή των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής σε όλα τα σημεία, με τρομερά βελτιωμένες αποδόσεις στις μέρες μας. Όμως, προς το παρόν, μόνο σε περιπτώσεις χαμηλών θερμοκρασιών αποκτούν συγκριτικό πλεονέκτημα έναντί τους, με εξαίρεση τις περιπτώσεις που ευνοείται ο σχηματισμός πάγου.

5

Βιβλιογραφία

- [1] Econolux Industries, «*Econolux Induction Lights Vs. Led Lights*», Hong Kong, 2012
- [2] X.H. Cao, «*Design Orientated Model and Application of Electronic Ballasts for Two Toroidal Ferrite Coupled Electrodeless Lamps*», Applied Power Electronics Conference and Exposition Twentieth Annual IEEE, vol.3, pp. 1764 – 1769, 2005
- [3] M. F. da Silva, N. B. Chagas, J. Fraytag, R. N. Marchesan, F. E. Bisogno, R. A. Pinto, R. N. do Prad, «*Model for Electrical Characteristics of Electrodeless Fluorescent Lamps*», Electrica, Brazil, 2005
- [4] Saito W., Domon T., Omura, I., Nitta T., Kakiuchi Y, Tsuda K., Yamaguchi M., «*Demonstration of Resonant Inverter Circuit for Electrodeless Fluorescent Lamps Using High Voltage GaN-HEMT*», Power Electronics Specialists Conference, IEEE, pp 3324-3329, 2008
- [5] Hoon Kim, Xian-Chao Ma, Hai Xu, Hee-Jun Kim, «*A Dimmable Electronic Ballast for Wired or Wireless Remote Control of Electrodeless Fluorescent Lamp Group Lighting Systems*», Electrical Machines and Systems International Conference, IEEE, pp. 2108-2112, Wuhan, 2008
- [6] Nerone, L.R, «*A novel ballast for electrodeless fluorescent lamps*», Industry Applications Conference 2000, IEEE, vol. 5, pp. 3330 – 3337, Rome, 2000
- [7] Kido H., Makimura S., Masumoto S., «*A study of electronic ballast for electrodeless fluorescent lamps with dimming capabilities*», Industry Applications Conference 2001 Thirty-Sixth IAS Annual Meeting, IEEE, vol. 2, pp. 889-894, Chicago IL USA, 2001
- [8] Da Silva M.F, Schlittler M.E., Fraytag J., Chagas N.B, «*Analysis of losses in the core of an electrodeless fluorescent lamp*», Industry Applications Society Annual Meeting, IEEE, pp. 1-5, Lake Buena Vista, FL, 2013

- [9] Tae-Eun Jang, Hee-Jun Kim, Hoon Kim «*Dimming Control Characteristics of Electrodeless Fluorescent Lamps*», Industrial Electronics, IEEE, vol. 56, pp. 93-100, 2009
- [10] Da Silva M.F, Chagas N.B., Schlittler M.E., Fraytag J., «*Electric Equivalent Model for Induction Electrodeless Fluorescent Lamps*», Power Electronics, IEEE, vol. 20, pp. 3603-3613, 2013
- [11] Chagas, N.B da Silva, M.F., Schlittler M.E, Fraytag J., «*Electrodeless fluorescent lamps model operated at high frequency*», Industrial Electronics (ISIE) 2011 IEEE International Symposium, IEEE, pp. 245 – 250, Gdansk, 2011
- [12] Chang-Shien Lin, «*Low power 60 kHz electrodeless fluorescent lamp for indoor use*», IPEC 2010 Conference Proceedings, IEEE, pp. 682-686, Singapore, 2010
- [13] Nerone L.R, Qureshi A.H., «*Mathematical modeling and optimization of the electrodeless, low-pressure, discharge system*», Power Electronics Specialists Conference 24th Annual, IEEE, pp. 509-514, Seattle WA, 1993
- [14] Da Silva M.F, Fraytag J., Chagas N.B, Schlittler M.E, «*Single-stage high-power-factor dimmable lighting system for electrodeless fluorescent lamp*», Industrial Electronics (ISIE) International Symposium, IEEE, pp. 390-395, Gdansk, 2011
- [15] Miyazaki H., Shoji H., Namura Y., «*High-frequency class-D converter driving with feedback capacitors for electrodeless fluorescent lamps*», Industry Applications, IEEE, vol. 36, pp. 1033-1038, 2002
- [16] Oleg A. Popov, Robert Chandler, «*Ferrite-free high power electrodeless fluorescent lamp operated at a frequency of 160-1000 kHz*», Plasma Sources Science and Technology, IOP Science, vol. 11, num. 2, 2002
- [17] Eugen Statnic, Valentin Tanach, «*A new approach to the evaluation of the discharge parameters of the electrodeless fluorescent lamps*», Plasma Sources Science and Technology , IOP Science, vol. 13, num. 3, 2004
- [18] Yong-Ann Ang., Stone D., Bingham C., Foster M., «*Rapid Analysis & Design Methodologies of High-Frequency LCLC Resonant Inverter as Electrodeless*

Fluorescent Lamp Ballast», Power Electronics and Drive Systems PEDS '07 7th International Conference, IEEE, pp. 139-144, Bangkok, 2007

[19] Eugen Statnic, Valentin Tanach, «*Investigation of the electrical discharge parameters in electrodeless inductive lamps with a re-entrant coupler and magnetic core*», Plasma Sources Science and Technology, IOP Science, vol. 15, num. 3, 2006

[20] J.P.S. Haarsma, G.J. de Jong, J. Agterdenbos, «*The preparation and operation of electrodeless discharge lamps—a critical review*», Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, Science Direct, Elsevier, vol. 29, num. 1, Holland, 1973

[21] Ben-Yaakov S., Shvartsas M., Lester J., «*A behavioral SPICE compatible model of an electrodeless fluorescent lamp*», Applied Power Electronics Conference and Exposition APEC 2002 Seventeenth Annual, IEEE, vol. 2, pp. 948-954, Dallas TX, 2002

[22] Aníbal De Almeida, Bruno Santos, Bertoldi Paolo, Michel Quicheron, «*Solid state lighting review – Potential and challenges in Europe*», Renewable and Sustainable Energy Reviews, Science Direct, Elsevier, vol. 34, pp. 30-48, 2014

[23] Ahemen I., Dilip K. De, Amah A. N., «*A Review of Solid State White Light Emitting Diode and Its Potentials for Replacing Conventional Lighting Technologies in Developing Countries*» Applied Physics Research, vol. 6, num. 2, 2014

[24] Muhammad Ikram Mohd Rashid, Aim Izzuddin Hakimi Mohamad Bekri, Suliana Ab Ghani, Mudathir Funsho Akorede, Mohd Herwan Sulaiman, «*Development of Low Power LED Driver Using LTSpice Software*», David Publishing Journal of Electrical Engineering 1, pp. 16-24, 2013

[25] Moon-Hwan Chang, Diganta Das, P.V. Varde, Michael Pecht, «*Light emitting diodes reliability review*», Microelectronics Reliability, Reliability of High-Power LED Packaging and Assembly, Science Direct, Elsevier, vol. 52, num. 5, pp. 762-782, 2012

[26] Bin-Juine Huang, Chun-Wei Chen, Po-Chien Hsu, Wei-Min Tseng, Min-Sheng Wu, «*Direct battery-driven solar LED lighting using constant-power control*», Solar Energy, Science Direct, Elsevier, vol. 86, num. 11, pp. 3250-3259, 2012

- [27] M. Fathi, A. Chikouche, M. Abderrazak, «*Design and realization of LED Driver for solar street lighting applications*», Energy Procedia, Science Direct, Elsevier, vol. 6, pp. 160-165, 2011
- [28] ShuboZhi, Quanming Luo, Can Zou, Luowei Zhou, «*Analysis and design of a multi-channel constant current LED driver based on high frequency AC bus*», Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC) 7th International, IEEE, vol. 1, pp. 210-214, Harbin, China, 2012
- [29] Arias, M, Lamar D.G., Linera F.F., Balocco D., «*Design of a Soft-Switching Asymmetrical Half-Bridge Converter as Second Stage of an LED Driver for Street Lighting Application*», Power Electronics, IEEE, vol. 27, num. 3, pp. 1608-1621, 2012
- [30] Gacio D., Alonso J.M., Garcia J., Campa L., «*PWM Series Dimming for Slow-Dynamics HPF LED Drivers: the High-Frequency Approach*», Industrial Electronics, IEEE, vol. 59, num. 4, pp. 1717-1727, 2012
- [31] Yinong Liu, Jibing Chen, Wei Guo, Wenfei Zhang, «*Research on thermal shock test for the optical and electrical properties of white LEDs*», Electronic Packaging Technology and High Density Packaging (ICEPT-HDP) 13th International Conference, IEEE, pp. 1526-1529, Guilin, 2012
- [32] Dongjing Liu, Yang D.G., Rongbin Ren, Fengze Hou, «*Reliability study on high power LED with chip onboard*», Electronic Packaging Technology and High Density Packaging (ICEPT-HDP) 12th International Conference, IEEE, pp. 1-4, Shanghai, China, 2011
- [33] Mahrous Elsamman, M. K. Metwally, «*Modeling, Control and Simulation of a Power Conditioning System for Solar Street LED Light*», International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS, vol. 13, num. 5, 2013
- [34] C. W. Chow, C. H. Yeh, Y. Liu, Y. F. Liu, «*Digital Signal Processing for Light Emitting Diode Based Visible Light Communication*», Research Highlights, IEEE PHOTONICS SOCIETY NEWSLETTER, 2012

- [35] M. B. Kostic, A. M. Kostic, M. M. Kremic, L. S. Djokic, «*Light-emitting diodes in street and roadway lighting – a case study involving mesopic effects*», Lighting Research & Technology, Sage Journals, 2012
- [36] A. Kostic, L. Djokic, «*Subjective impressions under LED and metal halide lighting*», Lighting Research & Technology, Sage Journals, 2013
- [37] L. Kuhn, M. Johansson, T. Laike, T. Govén, «*Residents' perceptions following retrofitting of residential area outdoor lighting with LEDs*», Lighting Research & Technology, Sage Journals, 2012
- [38] Frank Cathell, «*A Constant Current Adjustable 0.7 A to 1.5 A, Up to 55 Vdc Single Stage Power Factor Corrected LED Power Supply*», ON Semiconductor (<http://onsemi.com>), Semiconductor Component Industries LLC, vol. 2, 2010
- [39] Yi-Chien Lo, Jhih-You Cai, Ming-ShiouTasi, Zheng-Yu Tasi, Ching-Cherng Sun, «*Side-illuminating LED luminaires with accurate projection in high uniformity and high optical utilization factor for large-area field illumination*», Optics InfoBase, Energy Express, vol. 22, num. 2, pp. 365-375, 2014
- [40] Xuan-Hao Lee, Ivan Moreno, Ching-Cherng Sun, «*High-performance LED street lighting using microlens arrays*», Optics InfoBase, Optics Express, , vol. 21, num. 9, pp. 10612-10621, 2013
- [41] Hsi-Chao Chen, Jun-Yu Lin, Hsuan-Yi Chiu, «*Rectangular illumination using a secondary optics with cylindrical lens for LED streetlight*», Optics InfoBase, Optics Express, vol. 21, num. 3, pp. 3201-3212, 2013
- [42] Eugene Hong, Nadarajah Narendran «*A Method for Projecting Useful Life of LED Lighting Systems*», Third International Conference on Solid State Lighting, SPIE Digital Library, vol. 5187, San Diego, California, 2004
- [43] Makoto Bessho, Keiichi Shimizu, «*Latest Trends in LED Lighting*», Electronics and Communications in Japan, Wiley Online Library, vol. 95, num. 1, pp. 1-7, 2012

- [44] Hua-Shuang Kong, James Ibbetson, John Edmond «*Status of GaN/SiC-based LEDs and their application in solid state lighting*», Materials Science, Solid State Physics, physica status solidi (c), Wiley Online Library, vol. 11,num. 3-4, pp. 621-623, 2014
- [45] P. Vitta, L. Dabasinskas, A. Tuzikas, A. Petruelis, D. Meskauskas, A. Zukauskas, «*Concept of Intelligent Solid-State Street Lighting Technology*», Elektronika IR Elektrotechnika, KTU research journal, vol. 18, num. 10, 2012
- [46] MB Kostic, LS Djokic, «*A modified CIE mesopic table and the effectiveness of white light sources*», Lighting Research & Technology, Sage Journals, 2012
- [47] Da Silva M.F, De P Lopes J., Chagas N.B., Seidel A.R., «*High power factor dimmable lighting system for electrodeless fluorescent lamp*», Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion (SPEEDAM) International Symposium, IEEE, pp. 379-384, Pisa, 2010
- [48] Michael Roberts, «*How Magnetic Induction Lamps Work*», Indulux Technologies Inc., 2014
- [49] Michael Roberts, «*The Science Behind Adattsi Magnetic Induction Lighting*», Adattsi Sustainable Energy Products And Solutions, 2012
- [50] Δημήτριος Νικολάου, «*Η Εφαρμογή Των Led Στον Φωτισμό Δρόμων Και Οι Προοπτικές Εξοικονόμησης Ενέργειας*», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (artemis.cslab.ntua.gr), 2014
- [51]Pinto R.A, Cosetin M.R., Roncalio J.G., Melo M, «*High-Power-Factor Street Lighting System to Supply LEDs without Energy Consumption during the Peak Load Time*», IECON 2011 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, IEEE, pp. 2947-2952, Melbourne VIC, Australia, 2011
- [52] ηλεκτρονικό, «<http://www.allledlighting.com>»
- [53] Cole M., Martin K., Walton M., Throckmorton M., «*Lighting in extreme temperature environments: The highs and the lows*», PCIC Europe 2010 Conference Record, IEEE, pp. 1-8, Oslo, 2010

[54] N. Khan, N. Abas, «*Comparative study of energy saving light sources*»
Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, pp. 296–309, 2011

[55] L. M. Roberts, «*Environmental Aspects of Magnetic Induction Lamps*», Indulux
Technologies Inc., 2014

[56] ηλεκτρονικό, «<http://www.wind-energy-the-facts.org>»

[57] ηλεκτρονικό, «<http://en.wikipedia.org/wiki>»

[58] Τσανακτσίδης Δημήτριος, Τσίτουλας Δημήτριος, «*Ηλεκτροφωτισμός Οδών*»